

eHealth

Innovazione e Tecnologia in Ospedale

68 mar/apr 2019

Health
Technology
Assessment

HTA

ISSN 2038 - 4238
Bimestrale - Anno XI - Poste Italiane S.p.A.
Sped. in Abb. Postale - D.L. 353/2003
(conv. in L. 27/02/2004 n. 46) Art. 1 Comma 1 - DCB Roma

imaging digitale



Quando la malattia
mentale si può
"vedere"

sistemi digitali



Identificazione
del paziente nell'era
HIS/RIS/PACS

sala operatoria



Nuovi sistemi
di navigazione
intraoperatoria

Il protagonista del mese
Fran cesco Musumeci,
Giuseppe Tarantini

Cardiologia interventistica

52 health technology assessment

L'intelligenza artificiale
nella diagnostica per immagini:
una nuova frontiera
anche per l'HTA

Ottavio Davini, Claudio Berzovini

58 diagnostica per immagini

Totem e portali web,
soluzioni al servizio
del cittadino

Iuri Dotta, Salvatore Giuffrida, Simone Criniti

62 Gli errori d'identificazione
del paziente nell'era
dei sistemi digitali HIS/RIS/PACS

Antonio Di Lascio

68 normativa

Tra letteratura
e linee guida

*Giampaolo Montesi,
Giovanni Mandoliti*

71 scenari

Effetti della corrente
attraverso il corpo umano

Armando Ferraioli

78 VETRINA

Segreteria commerciale

business solution

56 Modularità:
la parola chiave
nel mondo
dell'integrazione
KARL STORZ

Cristiano Athanassiadis



contatta la redazione

QR



Per accedere ai contenuti da QRcode, devi utilizzare un lettore QR. Inquadra il codice QR tramite la fotocamera digitale del tuo telefono. Il tuo cellulare aprirà l'indirizzo corrispondente. Se non hai un lettore QR installalo sul tuo cellulare o smartphone, puoi trovarne molti gratuiti nei negozi/store di applicazioni per il tuo cellulare (iTunes, App store, Android market, Blackberry Appworld, Ovi store, ecc.).





Armando Ferraioli

Bioingegnere - Studio di Ingegneria
Medica e Clinica - Cava De' Tirreni
(SA)

autore

Effetti della corrente attraverso il corpo umano

Il passaggio di corrente attraverso il corpo umano può determinare numerose alterazioni e lesioni, temporanee e permanenti. Per uno specifico percorso attraverso il corpo umano, il pericolo per le persone dipende principalmente dall'intensità e dalla durata della corrente. Numerosi studi hanno determinato gli effetti della corrente elettrica sul corpo umano e la Norma CEI 64 Fascicolo 4985R fornisce una guida sugli effetti della corrente attraverso il corpo umano, da utilizzare nella definizione dei requisiti per la sicurezza elettrica. La relazione tra corrente e tensione di contatto non è lineare in quanto, l'impedenza del corpo umano varia con la tensione di contatto. I

Il passaggio di corrente all'interno del corpo umano porta con sé una serie di effetti. Quali sono? E perché è importante conoscerne i dettagli? In questa attenta analisi l'ing. Armando Ferraioli entra nel merito di una questione tutt'altro che secondaria, ne sintetizza i termini descrivendone le caratteristiche e le possibilità applicate alla scienza medica. Vediamo di cosa si tratta

Impedenza totale del corpo umano Z_t

Tensione di contatto (V)	Valori dell'impedenza totale del corpo umano (Ω) che non sono oltrepassati del		
	5%	50% della popolazione	95%
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
valore asintotico	650	750	850

Tabella 1

Valori statistici dell'impedenza totale del corpo umano per esseri viventi, dovuti al percorso mano-mano o mano-piede, per tensioni di contatto fino a 5000 V

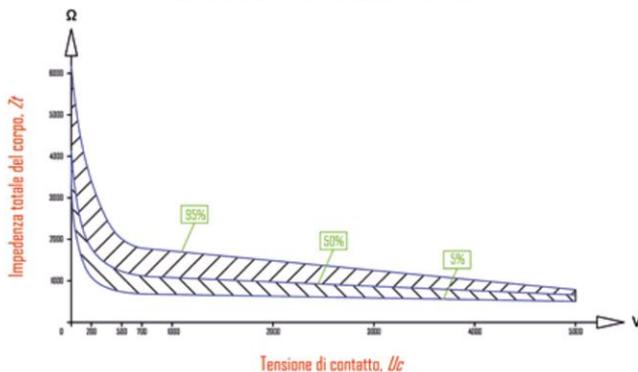


Figura 1

Valori statistici dell'impedenza totale del corpo umano per esseri viventi, dovuti al percorso mano-mano o mano-piede, per tensioni di contatto fino a 700 V

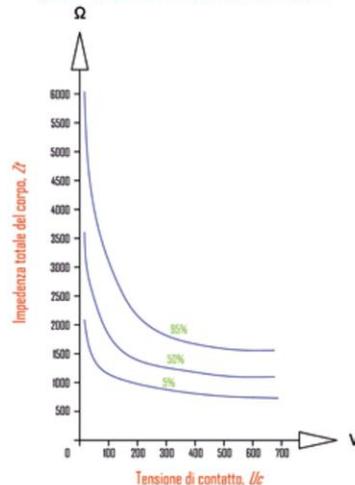


Figura 2

Soglia	Parte attraversata			
	Punto di contatto 1	Muscoli degli arti 2	Torace 3	Cuore 4
	Nessuno	Nessuno	Nessuno	Nessuno (*)
Percezione (>0,5 mA)	Formicolio	Nessuno	Nessuno	Nessuno (*)
	Scossa	Lievi contrazioni	Difficoltà respiratorie	Disturbi degli impulsi (*)
Rilascio (>10 mA)	Scossa dolorosa	Contrazioni paralisi reversibile	Paralisi dei muscoli pettorali	Disturbi degli impulsi (*)
			Arresto temporaneo della respirazione	Fibrillazione atriale (*)
			Asfissia	Arresto cardiaco reversibile
Fibrillazione (>30 mA)	Scossa molto dolorosa	Come sopra ma con maggiore gravità	Come sopra ma con maggiore gravità	Probabilità di fibrillazione ventricolare irreversibile (5%)
(>50 mA)	Come sopra ma con maggiore gravità	Come sopra ma con maggiore gravità	Come sopra ma con maggiore gravità	Possibilità di fibrillazione ventricolare irreversibile (50%)
(>80 mA)	Come sopra ma con maggiore gravità	Come sopra ma con maggiore gravità	Come sopra ma con maggiore gravità	Possibilità di fibrillazione ventricolare (>50%)
(>300 mA)	Ustioni lievi		Come sopra ma con maggiore gravità	Grande probabilità di fibrillazione ventricolare
(>2000 mA)	Ustioni gravi	Ustioni lievi		

Tabella 2

valori dell'impedenza dipendono da una serie di fattori, in particolare dal percorso della corrente, dalla tensione di contatto, dalla durata del passaggio della corrente, dall'area di contatto, dalla pressione, dalla temperatura e dall'umidità della pelle. L'impedenza totale del corpo umano consiste di una componente resistiva e una capacitiva.

I valori della tabella 1 e le figure 1 e 2 rappresentano i valori più attendibili dell'impedenza totale per adulti viventi.

La tabella 2 sintetizza gli effetti prodotti dalla corrente alternata sinusoidale a 50-60 Hz che sono le più utilizzate nelle installazioni elettriche.

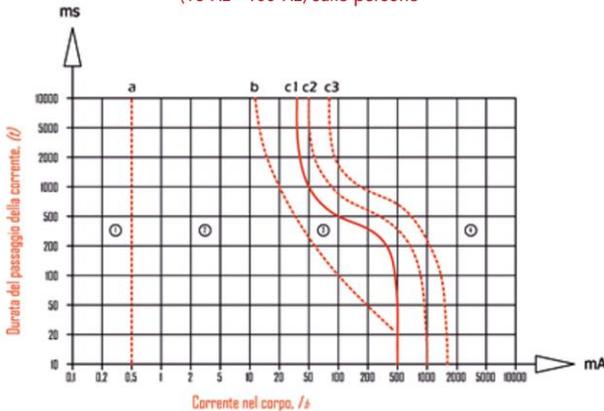
Gli effetti dannosi fondamentali sono la fibrillazione ventricolare, l'arresto respiratorio, le ustioni e la tetanizzazione. La fibrillazione ventricolare è considerata essere la principale causa di morte per contatto elettrico. Esistono inoltre anche casi di morte dovuti ad asfissia o ad

arresto cardiaco. Effetti patofisiologici come contrazioni muscolari, difficoltà di respirazione, aumento della pressione sanguigna, disturbi nella formazione e conduzione di impulsi nel cuore inclusi la fibrillazione atriale e l'arresto cardiaco provvisorio, possono presentarsi senza fibrillazione ventricolare. Tali effetti non sono letali ma abitualmente reversibili ed in taluni casi, possono anche risultare evidenti marchi elettrici laddove correnti di parecchi ampere, producono con tutta probabilità gravi ustioni con conseguenti seri danni e anche lamorte.

La figura 3 mostra gli effetti della c.a. (15-100 Hz) sulle persone in funzione delle zone tempo/corrente mentre la tabella descrive gli effetti fisiologici delle zone. La figura 4 mostra la collocazione del periodo vulnerabile dei ventricoli nel ciclo cardiaco che riguarda una parte relativamente piccola del ciclo cardiaco durante il quale, le fibre cardiache sono in uno stato non omogeneo di eccitabilità e la fibrillazione ventricolare avviene se esse sono eccitate da una corrente elettrica di sufficiente intensità.

Il periodo vulnerabile corrisponde alla prima parte dell'onda T dell'elettrocardiogramma e rappresenta il 10-20% del ciclo cardiaco. L'innesco della fibrillazione cardiaca nel periodo vulnerabile è mostrato nella figura 5.

Zone tempo/corrente relative agli effetti della corrente alternata (15 Hz - 100 Hz) sulle persone



Descrizione delle zone

Zone	Effetti fisiologici
Zona 1	Abitualmente nessuna reazione
Zona 2	Abitualmente nessun effetto fisiologicamente pericoloso
Zona 3	Abitualmente nessun danno organico. Probabilità di controindicazioni muscolari e difficoltà respiratorie; disturbi reversibili nella formazione e conduzione di impulsi nel cuore, inclusi fibrillazione atriale e arresto cardiaco provvisorio senza fibrillazione ventricolare, che aumentano con l'intensità della corrente e il tempo
Zona 4	In aggiunta agli effetti della zona 3, la probabilità di fibrillazione ventricolare aumenta fino a circa il 5% (curva c2), al 50% (curva c3), oltre il 50% al di là della curva c3. Effetti pato-fisiologici come arresto cardiaco, arresto respiratorio, gravi ustioni possono presentarsi con l'aumentare dell'intensità della corrente e del tempo

Figura 3

RESISTENZA DEL CORPO UMANO

La resistenza del corpo umano può essere fissata solo convenzionalmente perché varia da un individuo all'altro. Essa dipende infatti dal percorso della corrente nel corpo e diminuisce all'aumentare della tensione e dall'area di contatto ed è influenzata dalle condizioni ambientali. Bisogna pertanto stabilire un valore convenzionale di resistenza alla quale riferire la sicurezza delle persone. Le norme CEI fanno riferimento a valori convenzionali riferiti a un campione medio di popolazione poiché è possibile valutare la resistenza del corpo umano solo statisticamente. Il CEI ha fissato i valori di percorso F della corrente attraverso il

corpo; più elevato è il valore di F , maggiore è il pericolo. Prendendo come riferimento $F = 1$ ovvero il percorso mano piede di uno stesso lato del corpo (ad es. mano destra-piede destro) si hanno, per percorsi tipici in caso di elettrocuzione, i seguenti valori di F :

- mano sinistra – torace: $F = 1,5$;
- mano destra – torace: $F = 1,3$;
- mano sinistra – piede destro: $F = 1$;
- mano destra – piede sinistro: $F = 0,8$;
- mano sinistra – mano destra: $F = 0,4$.

Per quanto riguarda la fase del ciclo cardiaco nell'istante di contatto, è stato sperimentato che il momento meno favorevole si ha quando il fenomeno dell'elettrocuzione inizia tra la fine della contrazione cardiaca e l'inizio dell'espansione. È evidente che il valore della corrente che attraversa il corpo umano, venuto accidentalmente in contatto con una parte in tensione, dipende complessivamente dal valore della resistenza elettrica del singolo individuo. Questo valore è estremamente aleatorio e, anche per uno stesso individuo, varia più volte nel corso della giornata. Tuttavia, pur considerando un valore medio prudenziale di 3000 ohm si osserva che una tensione di soli 60 V (frequenza 50 Hz) provoca teoricamente la circolazione di una corrente di 20 mA, che rappresenta il limite della corrente di distacco (fenomeno della tetanizzazione) per la quasi totalità degli individui. La gravità delle conseguenze dell'elettrocuzione dipende dall'intensità della corrente che attraversa l'organismo, dalla durata di tale evento, dagli organi coinvolti nel percorso e dalle condizioni del soggetto. Il corpo umano è un conduttore che consente il passaggio della corrente offrendo, nel contempo, una certa resistenza a tale passaggio. Minore è la resistenza, maggiore risulta la quantità di corrente che lo attraversa. Detta resistenza non è quantificabile in quanto varia da soggetto a soggetto, anche in funzione delle differenti condizioni, in cui il medesimo soggetto si può trovare al momento del

Collocazione del periodo vulnerabile dei ventricoli nel ciclo cardiaco. I numeri caratterizzano i successivi stadi di propagazione dell'eccitazione

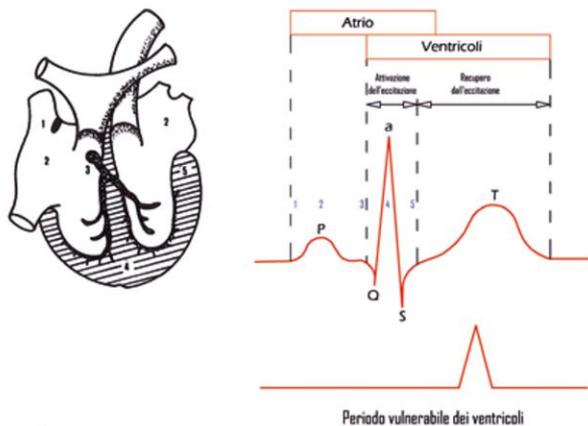


Figura 4

Innesco della fibrillazione ventricolare nel periodo vulnerabile. Effetti sull'elettrocardiogramma (ECG) e sulla pressione sanguigna

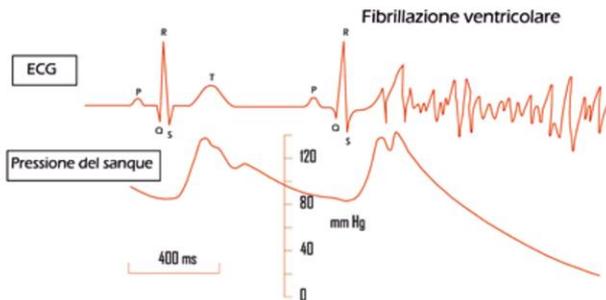


Figura 5

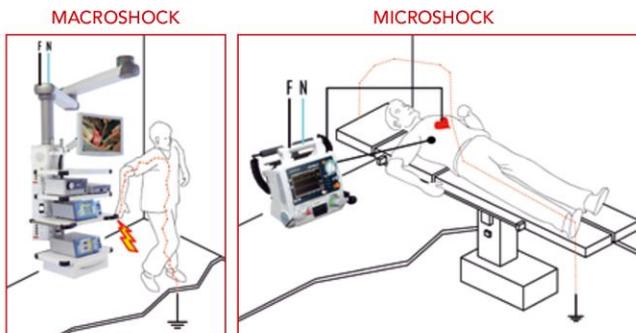


Figura 6

contatto. Molteplici sono i fattori che concorrono a definirla e che in sostanza non consentono di creare un parametro di riferimento comune che risulti attendibile. Tra essi vi è il sesso, l'età, le condizioni in cui si trova la pelle (la resistenza è offerta quasi totalmente da essa), la sudorazione, le condizioni ambientali, gli indumenti interposti, la resistenza interna che varia da persona a persona, le condizioni fisiche del momento, il tessuto e gli organi incontrati nel percorso dalla corrente, dal punto di entrata al punto di uscita. La IEC (International Electrotechnical Commission) riporta i valori della tabella 1 per l'impedenza corporea, per un circuito da una mano all'altra per individui con pelle asciutta, con grandi superfici di contatto con correnti a.c. a 50 Hz. La tabella riporta la distribuzione dell'impedenza in una percentuale di popolazione; per es. a 100 V il 50% della popolazione ha una impedenza di 1875 ohm o meno. I grafici delle figure 1/2 rappresentano l'impedenza del corpo umano in funzione della tensione applicata. I grafici si riferiscono al contatto mano-mano o mano-piede, fra due elettrodi con area di 50-100 cm², in condizioni di pelle asciutta, relativo a tre gruppi di individui che presentano tre diversi livelli di probabilità, (riferiti alle stesse percentuali di persone riportate in tabella), di superare i valori indicati. Ad esempio, con riferimento alla curva relativa

Macroshock e Microshock

Le seguenti figure evidenziano il confronto tra gli eventi Macroshock e Microshock dal punto di vista dei valori limite convenzionali di pericolosità della corrente

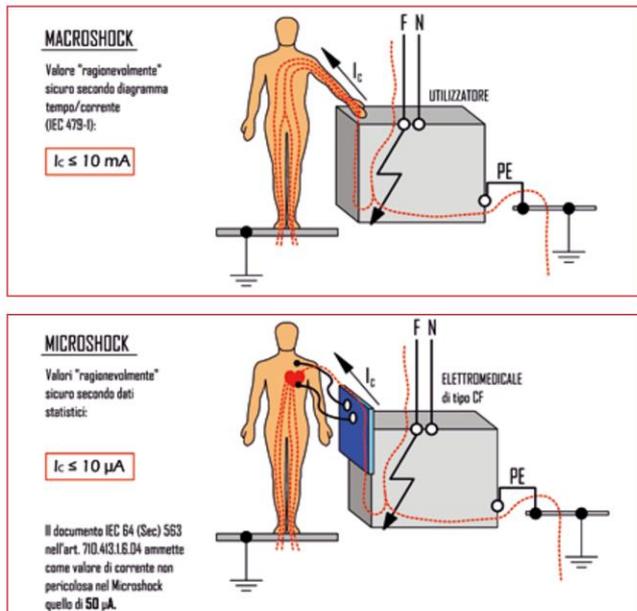


Figura 7

al 5% degli individui, si può notare che per tensioni intorno ai 50 V la resistenza risulta di 1500 ohm, mentre per tensioni di 230 V risulta essere di 1000 ohm. La caratteristica tensione-corrente della pelle non è lineare e dipende da molti fattori quali intensità, durata e frequenza dello stimolo elettrico. L'attività delle ghiandole sudorifere, la temperatura e le variabili individuali anch'esse influenzano tali caratteristiche. Inoltre, la non linearità è anche dovuta all'asimmetria dell'impedenza della pelle e alle sue proprietà che sono variabili nel tempo. Queste proprietà potrebbero essere modellate con accuratezza ragionevole però le misure della resistenza effettuate a bassa tensione utilizzando ohmetri standard, non rappresentano l'impedenza della pelle umana in un vasto range di condizioni. Infatti, per una stimolazione elettrica sinusoidale minore di 10 V, la caratteristica tensione-corrente è quasi lineare. Nel tempo, le caratteristiche elettriche possono diventare non lineari in funzione dello stimolo elettrico, della posizione dell'elettrodo e delle caratteristiche individuali. Tra 10 e circa 30 V, la pelle mostra delle caratteristiche elettriche non lineari ma simmetriche. Sopra i 20 V le caratteristiche elettriche non sono né lineari né simmetriche. Si può comunque asserire che la letalità dello shock elettrico è dipendente dalle seguenti variabili:

- corrente: più elevata è la corrente, più elevata è la letalità. Siccome la corrente è proporzionale alla tensione, quando la resistenza è fissata dalla legge di ohm, una tensione più elevata è un rischio indiretto per la produzione di correnti più elevate;
- durata: maggiore è la durata, maggiore è il rischio;
- percorso: se la corrente fluisce attraverso il muscolo cardiaco, il rischio è statisticamente maggiore;
- tensioni elevate: oltre a una maggiore corrente, le tensioni più elevate causano la rottura dielettrica della pelle, abbassando così la sua resistenza, causando un aumentato flus-

- so di corrente;
- impianti elettromedicali: pacemakers o defibrillatori impiantabili sono sensibili a correnti bassissime;
- condizioni mediche preesistenti;
- età e sesso;
- frequenza: può causare arresti car-

diaci o spasmi muscolari. Correnti elettriche a frequenze alte causano ustioni (anche se non penetrano nel corpo umano) a distanze tali da causare arresti cardiaci;

- percorso della corrente: se la corrente passa attraverso il torace o la testa, aumentano le probabilità di morte per arresto cardiaco.

MACROSHOCK E MICROSHOCK

Nella figura 6 è evidenziato il percorso della corrente elettrica attraverso il corpo umano.

Qualora la corrente attraversi la barriera cutanea, ovvero il contatto avvenga tra una parte accidentalmente in tensione e una parte di superficie esterna del corpo umano, si è in presenza di macroshock. In questo caso, poiché la corrente fluisce attraverso un'ampia sezione del corpo e soltanto una piccola parte può interessare direttamente il cuore, si ha una bassa densità di corrente nel muscolo cardiaco. Gli effetti definiti 'macroshock' normalmente non si manifestano per correnti con intensità inferiore a 1 mA. Qualora la corrente penetri direttamente nell'organismo senza attraversare la cute, si parla di microshock. In questo caso la corrente fluisce tutta o in massima parte attraverso il cuore, che viene, quindi, interessato da un'alta densità di corrente. In questo caso già per correnti dell'ordine di 10µA si può avere fibrillazione ventricolare. Il rischio di microshock è una condizione che si verifica esclusivamente in ambito medico ed è caratterizzata dal collegamento elettrico mediante conduttori (ad esempio catetere cardiaco, elettrodo di cardiostimolazione, applicazione di sonde

ecc.) direttamente dal cuore.

In queste condizioni la tensione ritenuta sicura scende a 10 mV, valore assolutamente inusuale per l'elettrotecnica.

I valori numerici della corrente ritenuta ragionevolmente sicura (ma non assolutamente sicura) per un contatto protratto per un tempo indefinito sono:

$$\begin{array}{l} \text{MACROSHOCK} \\ I_{\max} = 10 \text{ mA} \qquad V_{\max} = 24 \text{ V} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{MICROSHOCK} \\ I_{\max} = 10 \text{ }\mu\text{A} \qquad V_{\max} = 10 \text{ mV} \end{array}$$

Il microshock è il massimo rischio elettrico che può verificarsi nei locali più critici di una struttura sanitaria quali le sale di emodinamica dove si effettuano cateterizzazioni cardiache, le unità coronariche, le sale operatorie e annessi locali di anestesia, le terapie intensive. In questi ambienti vengono utilizzati apparecchi elettromedicali

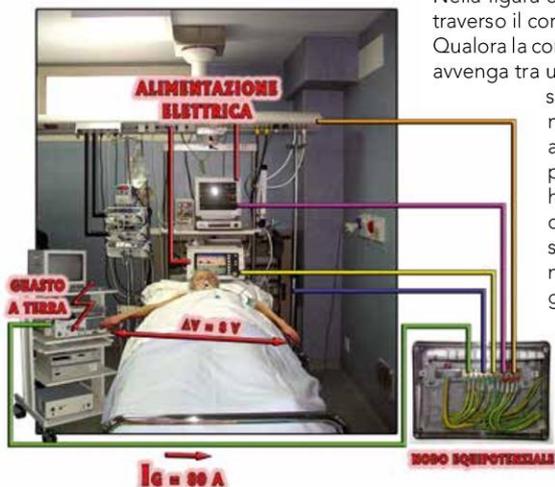


Figura 8

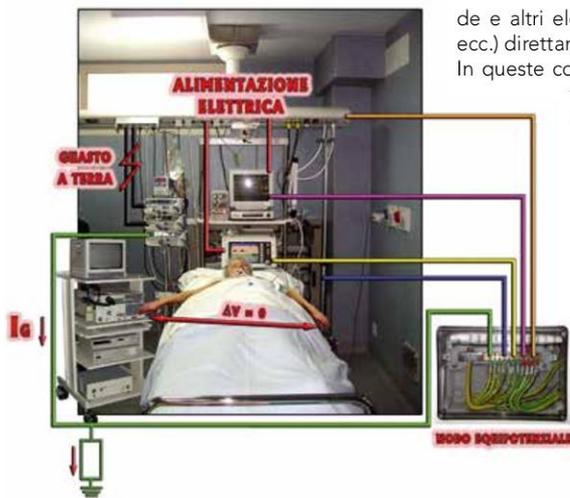


Figura 9

che utilizzano elettrodi e/o cateteri che mettono il cuore del paziente in collegamento elettrico direttamente con l'esterno del corpo. In queste condizioni il paziente è più vulnerabile perché la corrente attraversa il muscolo cardiaco e confluisce all'interno del cuore, dove è posizionato il catetere, sollecitando la massa del cuore stesso (figura 7). Pertanto, in un paziente cateterizzato, la corrente attraversa il muscolo cardiaco, richiudendosi nell'elettrodo o nel catetere intracardiaco, sollecitando in questo modo l'intera massa cardiaca per cui, la probabilità di una fibrillazione aumenta notevolmente. Si parla quindi di microshock, quando la corrente penetra direttamente nell'organismo senza attraversare la cute per cui, la corrente fluisce tutta o in massima parte attraverso il cuore, che viene quindi interessato da un'alta densità di corrente. Da questo ne deriva che correnti piccolissime intorno ai 10-20 μA che attraversano l'endocardio ventricolare, possono provocare una fibrillazione ventricolare che può risultare fatale: l'effetto di queste correnti sono la causa del microshock. Ovviamente tale situazione occorre in situazioni con pazienti aventi cateteri cardiaci con elettrodi incorporati, cateteri riempiti con mezzi conduttivi o con soluzioni saline, cavetti di collegamento del pacemaker. In questi casi una condizione di guasto potrebbe far salire il potenziale del catetere o del dispositivo collegato al di sopra dello zero, per cui un eventuale collegamento a terra del paziente, potrebbe essere disastroso. Un esempio esplicativo potrebbe essere il caso di un paziente cateterizzato che viene collegato ad un sistema di pompe a siringa motorizzato (figura 8).

Se il motore non è perfettamente isolato (caso in cui si può avere una dispersione elettrica) e la connessione a terra del dispositivo è interrotta, in caso di paziente monitorizzato con un monitor cardiaco non isolato, la corrente di dispersione fluisce attraverso il catetere cardiaco e quindi attraverso il cuore del paziente e l'elettrodo del monitor collegato a terra, riuscendo a superare largamente il valore dei 50 μA , valore già ampiamente dimostrato quale causa di fibrillazione ventricolare. Se si ha una corrente di guasto a terra di 80 A (realistica nel caso di sistema TT) e la resistenza del conduttore di protezione fino al nodo è di 0,1 Ω , si ha una tensione di 8 V tra l'apparecchio guasto e il nodo. Essendo il paziente cateterizzato, se la sua resistenza è di 1.000 Ω (valore molto probabile), esso è attraversato da una corrente di 8 mA. Pertanto, per prevenire un eventuale microshock, correnti di dispersione al di sopra dei 10-20 μA non devono mai confluire direttamente nella massa cardiaca, imponendo pertanto un isolamento assoluto da terra o l'utilizzo di apparecchi alimentati a batteria. I conduttori di collegamento dei pacemakers o dei cateteri endocardiaci devono essere maneggiati solo con guanti di gomma e l'operatore non deve mai tenere in mano il cavetto di collegamento mentre utilizza un monitor o qualunque apparecchio elettromedicale con l'altra mano. Non deve assolutamente sorprendere che, se correnti di alcuni mA sono ritenute del tutto normali per apparecchiature elettriche e pertanto impercettibili per il soggetto comune, possono invece risultare mortali per il paziente critico. Anche un'apparecchiatura elettrica con isolamento perfetto ma senza collegamento a terra, innocuo per persone normali, può risultare mortale per il paziente, a causa delle normali correnti di dispersione. Anche un apparecchio regolarmente collega-

to a terra può risultare pericoloso per il paziente. Esempio tipico è il caso di un paziente collegato con due diverse apparecchiature alimentate da prese diverse. Se uno dei due apparecchi alimentati da montanti elettriche diverse disperde, tra i due apparecchi si può stabilire una tensione tale che, in funzione della resistenza corporea del paziente, può dar luogo ad una corrente di dispersione interessante il cuore, di valore nettamente superiore al limite di non pericolosità. Nei locali dove ci può essere il rischio di microshock, deve essere conseguita pertanto la massima equipotenzialità tra tutte le masse e le masse estranee. Ne deriva che non bisogna mai superare una tensione limite di sicurezza di 10 mV, indipendentemente dal tempo di intervento della protezione. Infatti, considerando pericolose correnti superiori ai 10-20 μA , assumendo come resistenza del corpo umano un valore che oscilla normalmente tra i 500 e i 1000 Ω , ne deriva il valore di 10 mV. Pertanto i valori numerici della corrente ritenuta ragionevolmente sicura (ma non assolutamente sicura) per un contatto protratto per un tempo definito è:

$$I_{\text{max}} = 10 \mu\text{A} \quad V_{\text{max}} = 10 \text{mV}$$

Come è ben noto, l'equipotenzialità viene conseguita collegando le masse e le masse estranee localmente in un unico punto (ovvero al nodo equipotenziale) in modo che un eventuale guasto d'isolamento in un apparecchio esterno all'insieme equipotenziale, non possa avere alcuna conseguenza. Nella figura 9 gli apparecchi accessibili al paziente sono connessi al nodo equipotenziale: in questo caso essi assumono lo stesso potenziale a seguito di un guasto a terra in un apparecchio esterno alla zona paziente. ■

BIBLIOGRAFIA

Armando Ferraioli – Impianti elettrici nelle strutture sanitarie - Nozioni fondamentali ed esempi progettuali Dario Flaccovio Editore (PA) - 2016