

“ L’infortunio è il sopraggiungere dell’imprevisto sull’impreparato”



RICONOSCERE IL PERICOLO PER FRONTEGGIARLO

# IL RISCHIO ELETTRICO



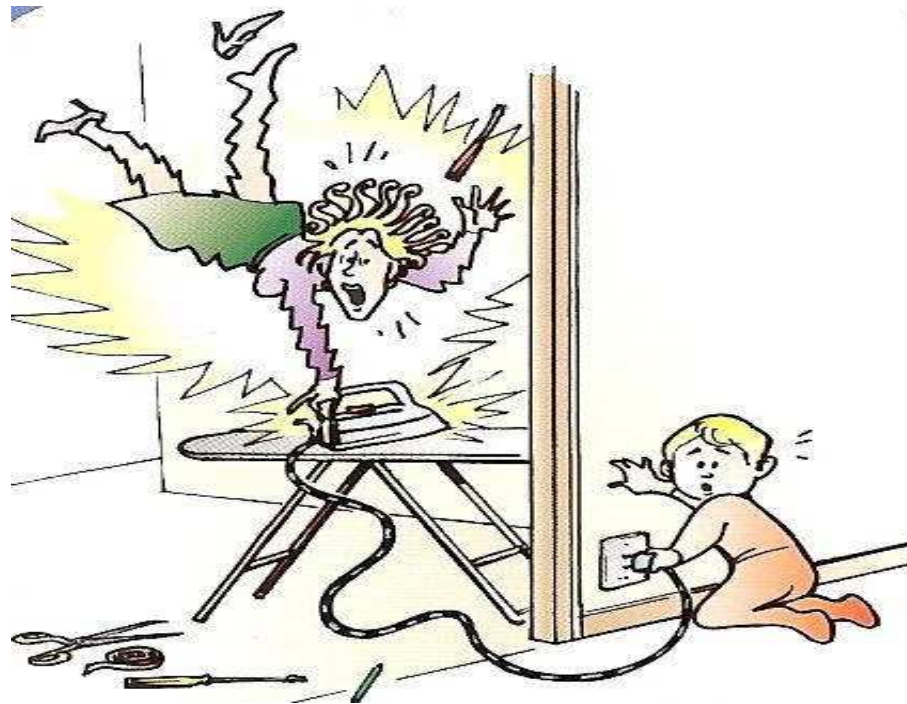
RELATORE:

Dott. G. Giusti

RSPP – ASL n. 5 - Spezzino

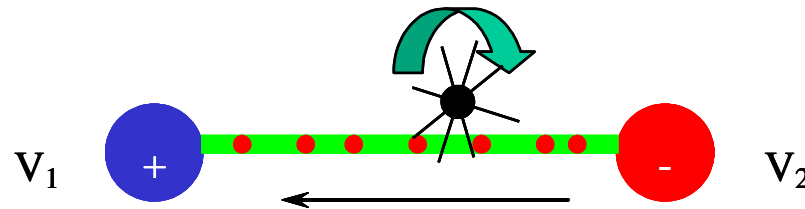
# IL RISCHIO ELETTRICO

Per rischio elettrico si intende la probabilità che si verifichi un evento dannoso a causa di contatto fisico con elementi sotto **TENSIONE**.



# LA CORRENTE e LA TENSIONE

- La CORRENTE ELETTRICA (Ampère) è un movimento ordinato di cariche elettriche\* che si muovono tra due punti di un corpo conduttore.
- La TENSIONE o differenza di potenziale tra due punti (Volt) è la quantità di energia necessaria a portare una carica elettrica unitaria da un punto all'altro dei due punti assegnati.



\*proprietà fondamentale della materia che è all'origine di tutti i fenomeni elettrici e magnetici

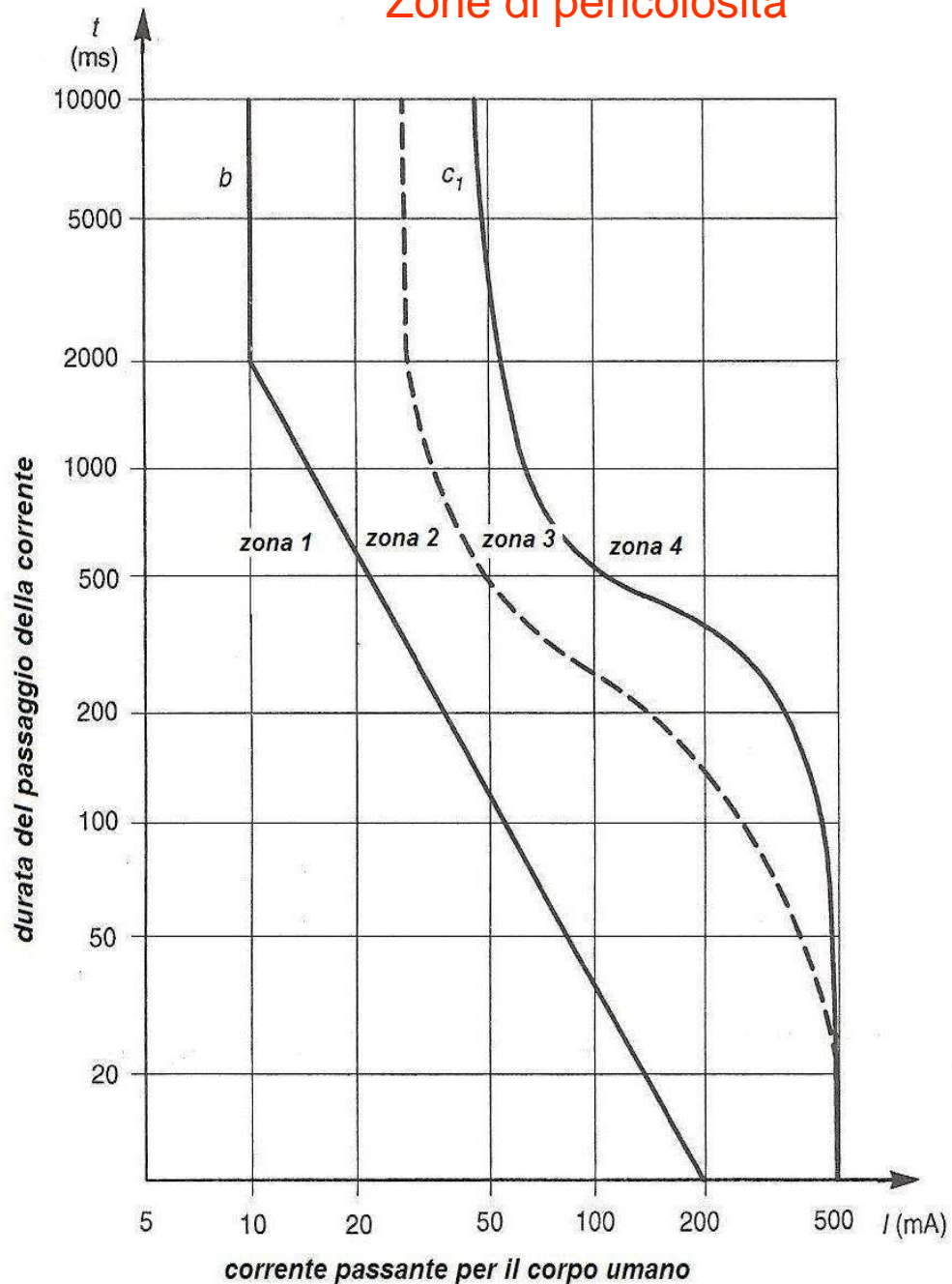
# EFFETTI CAUSATI DALLA CORRENTE SUL CORPO UMANO

- **Ustioni:** effetti termici provocati dal passaggio di corrente nei tessuti o da archi provocati da scariche elettriche, le cui conseguenze sono la distruzione dei tessuti superficiali e profondi con possibile danneggiamento di arti (braccia, spalle, arti inferiori ecc.), rotture delle arterie con conseguenti emorragie, distruzione dei centri nervosi ecc.
- **Tetanizzazione:** blocco della muscolatura.
- **Arresto respiratorio:** contrazione dei muscoli addetti alla respirazione o dalla lesione del centro nervoso che presiede a tale funzione.
- **Alterazioni cardiache:** fibrillazione ventricolare che è la principale causa di morte in quanto la corrente elettrica altera la normale attività del muscolo cardiaco, le sue fibre si contraggono disordinatamente e indipendentemente l'una dall'altra cessando di svolgere le proprie funzioni di pompa sanguigna.  
Altre conseguenze sono: la fibrillazione atriale (dispnea, cardiopalmo, ansietà); l'insufficienza coronarica acuta e l'infarto del miocardio; forme di tachicardia e sindromi ipertensive.

# La curva di sicurezza

- È la curva che individua il tempo per il quale è sopportabile un generico valore di tensione.
- Per ricavare la curva di sicurezza tensione-tempo bisogna stabilire il tempo per cui la corrente può fluire attraverso il corpo umano, senza determinare effetti patofisiologici inaccettabili.

## Zone di pericolosità



Il diagramma riporta in orizzontale i valori della corrente espressi in mA (millesimi di ampère), in verticale il tempo di circolazione della corrente in ms (millesimi di secondo).

A ciascun punto del diagramma corrisponde un valore di corrente e un tempo di circolazione della stessa.

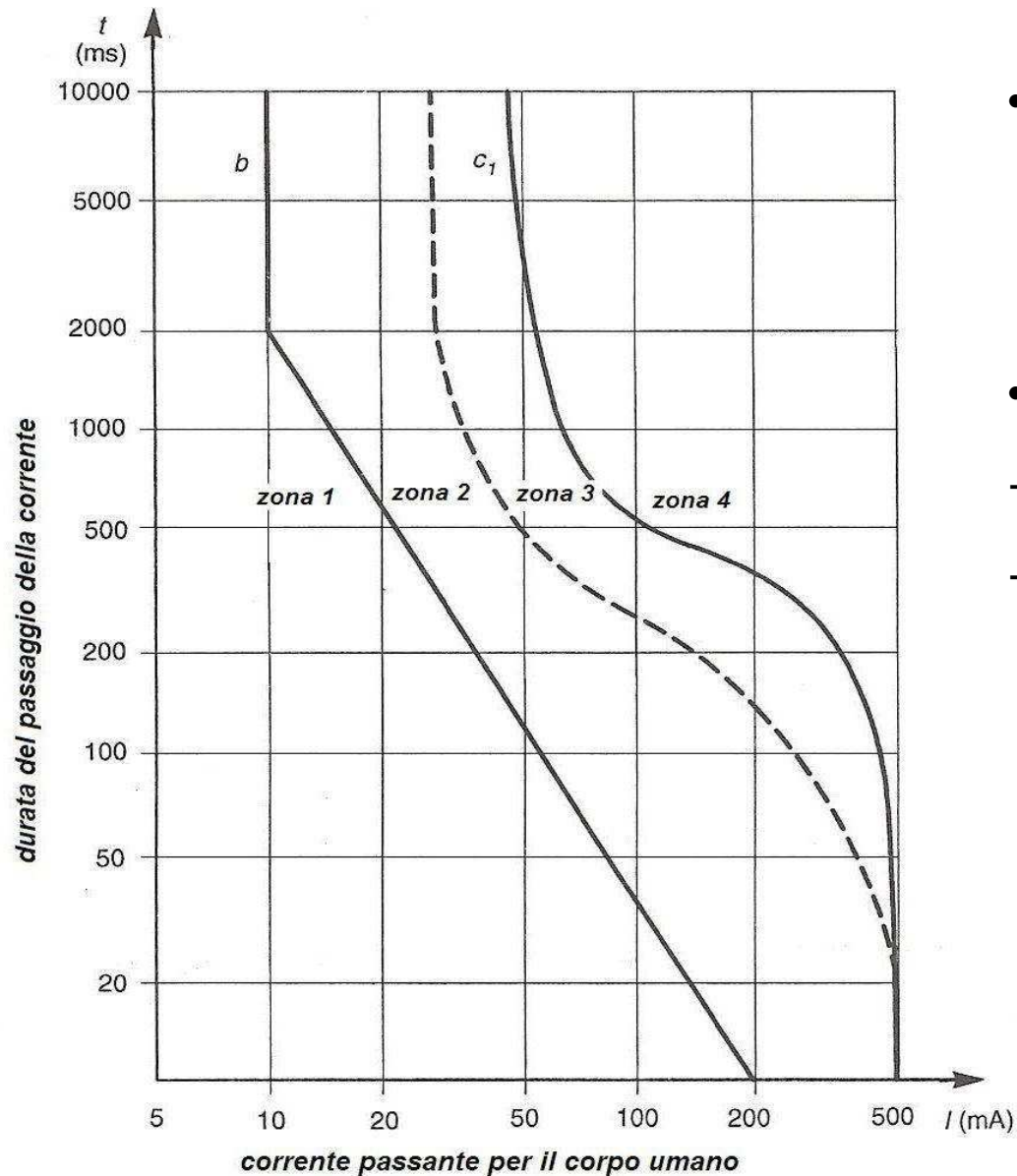
Tutti i punti che ricadono nella zona 1 rappresentano situazioni in cui i valori della corrente e i tempi di circolazione non producono normalmente nessun effetto fisiologico.

Analogamente i punti che ricadono nella zona 2 rappresentano situazioni in cui non si verificano effetti fisiologici mortali.

I punti ricadenti nella zona 3 rappresentano condizioni in cui è possibile la tetanizzazione ma non la fibrillazione ventricolare.

I punti appartenenti alla zona 4 rappresentano invece situazioni che possono provocare la fibrillazione ventricolare.

## Zone di pericolosità della corrente elettrica:



- La curva tratteggiata indica la curva di sicurezza corrente-tempo assunta in sede normativa internazionale ai fini della protezione contro i contatti indiretti per interruzione automatica dell'alimentazione.
- La curva di sicurezza è intermedia tra le curve b e c<sub>1</sub>:
  - al di sopra della curva b si ha lo shock elettrico;
  - La curva c<sub>1</sub> individua i limiti della fibrillazione ventricolare.

**UNA CORRENTE DEL VALORE DI 500 mA (è la corrente assorbita da una lampadina da 100 W) CIRCOLANTE ATTRAVERSO IL CORPO UMANO PER 50 ms O PIU', POSSA PROVOCARE LA FIBRILLAZIONE VENTRICOLARE ( si ricade infatti nella zona 4).**



# Pericolosità della corrente elettrica

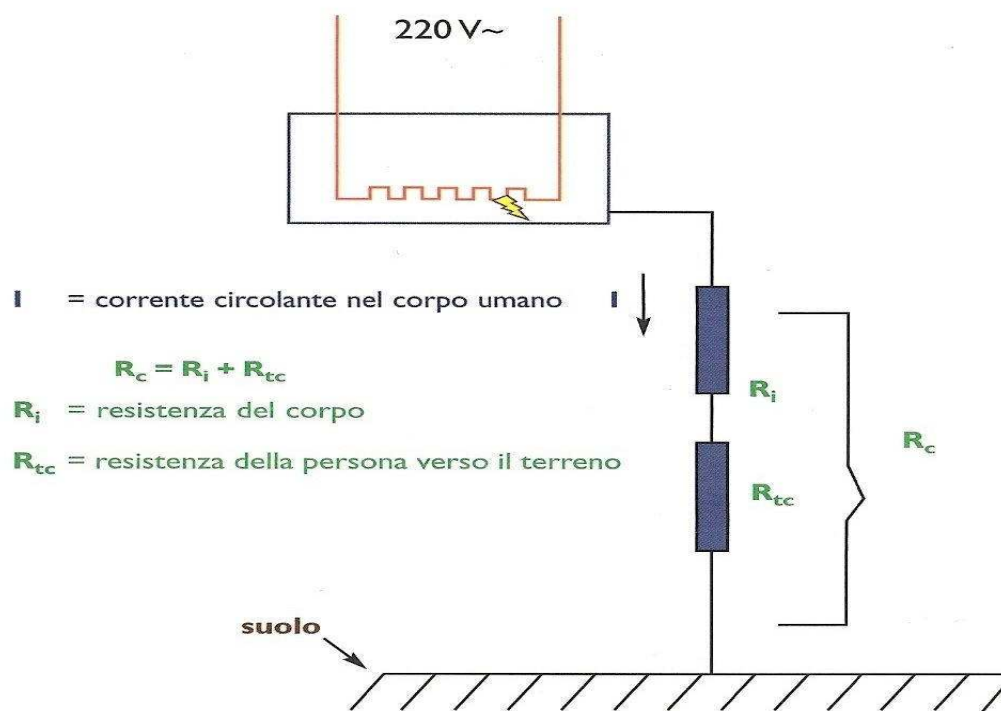
Per valutare la pericolosità della corrente occorre considerare i seguenti fattori:

1. valore della corrente che attraversa il corpo umano;
2. tempo per il quale il corpo umano è percorso da corrente;
3. Istante in cui ha inizio il fenomeno di elettrocuzione rispetto alla fase cardiaca (possibilità di fibrillazione del cuore, pulsazioni disordinata e con frequenza molto elevata).

Gli effetti del passaggio di corrente elettrica nel corpo umano possono essere spiegati considerando che il corpo umano si comporta, quando è attraversato dalla corrente, come una resistenza elettrica.

La figura seguente fornisce una schematizzazione del corpo umano.

In particolare essa rappresenta una persona che viene in contatto con la carcassa di un utilizzatore durante un guasto. La corrente  $I$  attraversa la persona e fluisce verso il suolo incontrando una resistenza  $R_c$  pari alla somma della resistenza del corpo  $R_i$  e della resistenza della persona verso il terreno  $R_{tc}$ .



La resistenza  $R_j$  è caratteristica del singolo individuo, dipende dall'età, dal sesso, dalle condizioni fisiologiche, dalle condizioni ambientali, ecc.

La resistenza elettrica della pelle di una persona aumenta:

- Durante un'intensa concentrazione mentale;
- In presenza di parti indurite (ad es. calli).

La resistenza elettrica della pelle diminuisce:

- Se è umida o sudata;
- Se il contatto avviene in un punto in cui la pelle è tagliata o ferita.

Gli apparecchi utensili portatili, che normalmente sono saldamente sorretti dall'operatore durante l'uso, possono esporre con maggiore probabilità al pericolo di elettrocuzione, in quanto la resistenza elettrica della pelle diminuisce con l'aumentare della superficie di contatto, della forza con cui l'apparecchio viene impugnato (pressione di contatto) e dalla durata del contatto.

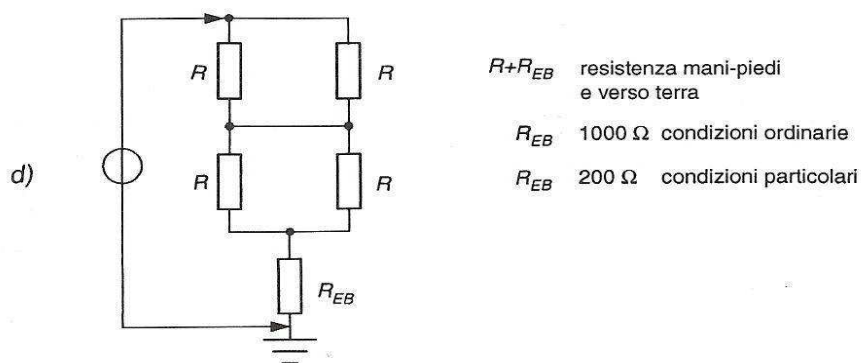
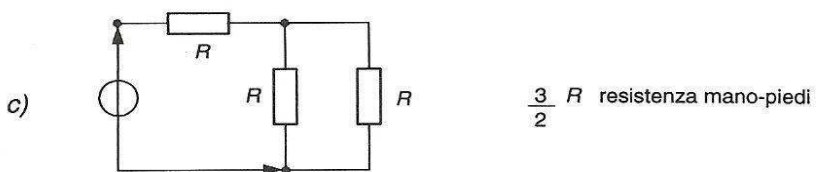
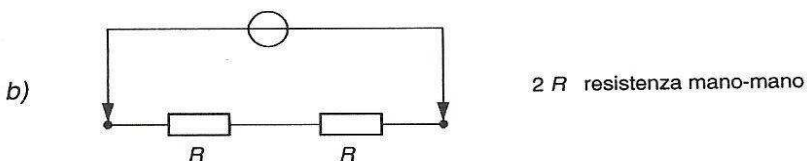
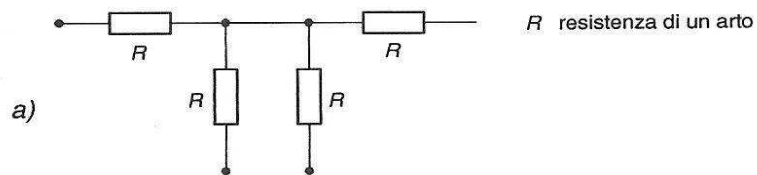
Per una tensione di 220 V, il 95% della popolazione presenta una resistenza  $R_j$ , superiore a 500 Ohm (percorso mani-piedi, in condizioni asciutte).

La resistenza  $R_{tc}$  dipende fundamentalmente dalle caratteristiche di conducibilità elettrica del suolo.

Per un contatto due mani-piedi, la resistenza  $R_{tc}$  vale circa 1000 Ohm in condizioni ordinarie (all'interno di edifici) e circa 200 Ohm in condizioni particolari (all'aperto).

# I percorsi più pericolosi

- La pericolosità della corrente elettrica dipende anche dal percorso che la stessa segue nell'attraversare il corpo umano, in quanto a ciascun percorso corrisponde una diversa resistenza del corpo. Alcuni percorsi più comuni sono:
- **Mano/mani-piedi**, cioè la corrente entra nel corpo attraverso la/le mani e fluisce nel terreno attraverso i piedi (percorso più comune).
- **Mano-torace**: implica che il torace sia a contatto con un conduttore che è collegato a terra o che presenta una tensione diversa dal conduttore con cui è venuta a contatto la mano.
- **Mano sx-mano dx**: è il percorso che si instaura quando la persona ha i piedi isolati da terra e viene in contatto attraverso le mani con parti a tensione diversa.



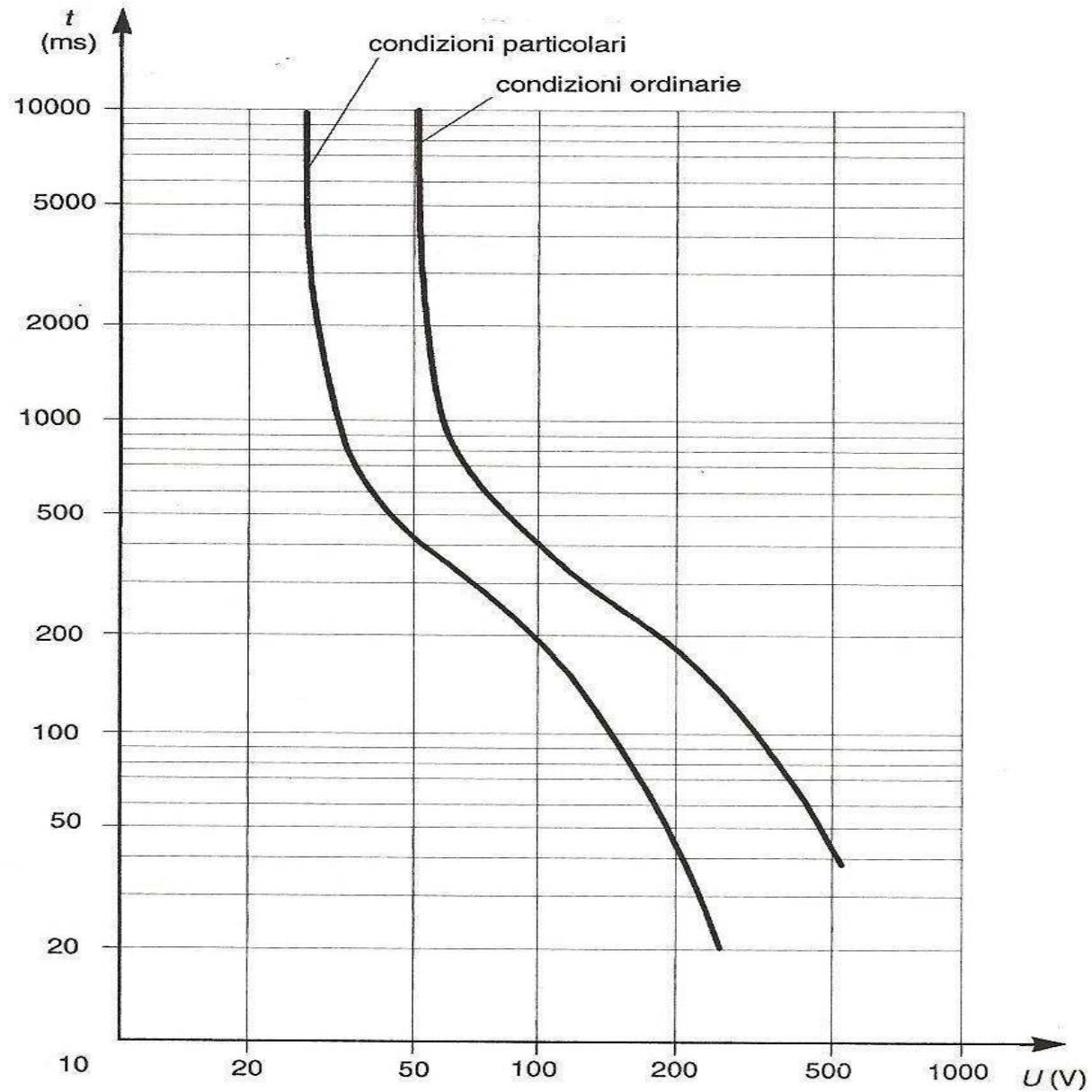
## RESISTENZA DEL CORPO UMANO:

- a) Circuito elettrico equivalente al corpo umano
- b) Resistenza del percorso mano-mano
- c) Resistenza del percorso mano-piedi
- d) Resistenza del percorso mani-piedi, con in serie la resistenza verso terra  $R_{EB}$

# Valori della resistenza del corpo umano al variare della tensione

<i>Tensione di contatto</i> (V)	<i>Valori di <math>R_B</math> che non sono sorpassati dal 5% della popolazione (percorso mani-piedi)</i> ( $\Omega$ )
25	875
50	725
75	625
100	600
125	562
220	500
700	375
1000	350
valore asintotico	325

# Curve di sicurezza tensione-tempo





# Leggi e Normative

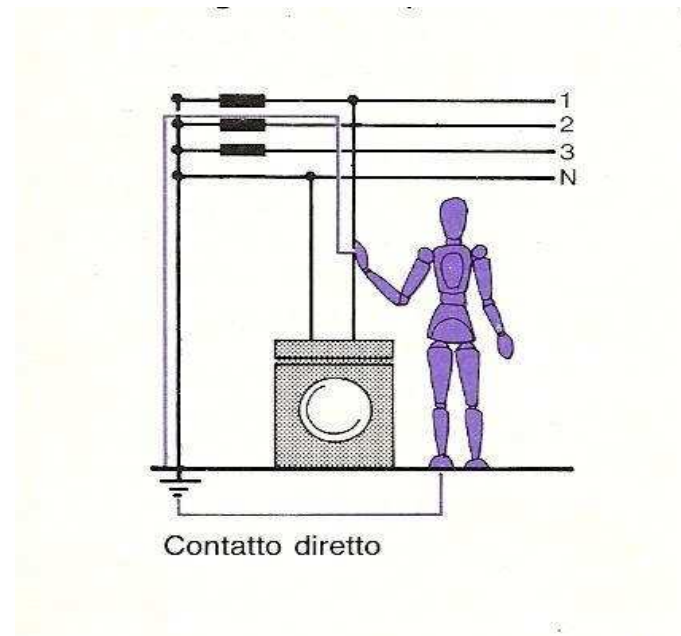
- D. Lgs. 81/08 (Nuovo Testo Unico sulla sicurezza e la salute nei luoghi di lavoro)
- Legge 186/68 (impianti a regola d'arte)
- D.M. 37/08 (sicurezza degli impianti)
  
- Norme CEI (Italia)
- Norme CENELEC (Europa)
- Norme IEC (Ente normatore extraeuropeo)

# Elettrocuzione

- E' la corrente che attraversa una persona a seguito di :
- CONTATTO DIRETTO
- CONTATTO INDIRETTO

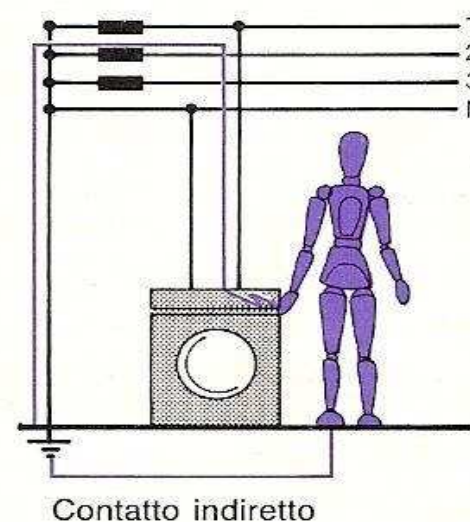
# CONTATTO DIRETTO

- Il contatto diretto avviene quando la persona entra in contatto con parti conduttrici dell'impianto ordinariamente sotto tensione.



# CONTATTO INDIRECTO

- Il contatto indiretto si verifica quando la persona entra in contatto con parti dell'impianto o di apparecchiature elettriche (masse), che vanno in tensione a causa di guasto dell'isolamento.



# Protezione contro i contatti diretti

- Le misure di protezione contro i contatti diretti hanno lo scopo di proteggere le persone dai pericoli derivanti da contatto con parti attive, normalmente in tensione:
  - (es.: - contatto accidentale con la parte metallica del portalampane in occasione della sostituzione di una lampadina;
  - riparazione di una apparecchiatura elettrica senza aver prima disalimentato l'impianto).

# Sistemi di protezione previsti

- Isolamento;
- Involucri e barriere;
- Ostacoli e distanziamenti;
- Protezione aggiuntiva mediante l'uso di interruttori differenziali.

# Isolamento

In questo caso le parti attive sono convenientemente isolate. L'isolamento **deve poter essere rimosso solo mediante distruzione** e deve presentare sufficienti caratteristiche di resistenza alle sollecitazioni meccaniche, agli agenti chimici, termici, elettrici e atmosferici. Un tipico esempio è rappresentato dall' **isolamento dei cavi elettrici** in cui il conduttore è rivestito da un materiale isolante e in alcuni casi da una successiva guaina di protezione.

# Involucri e barriere

Gli involucri assicurano la protezione contro determinati agenti esterni e in ogni direzione contro i contatti diretti;

le barriere assicurano la protezione contro i contatti diretti solo nella direzione abituale di accesso.

Involucri e barriere, a differenza dell'isolamento, **possono essere rimossi senza distruzione**. Un esempio di **involucro** è la carcassa di un elettrodomestico, di una stampante ecc. Un esempio di **barriera** è la rete metallica in corrispondenza dei cavalcavia ferroviari delle linee elettrificate.

Gli involucri o le barriere devono presentare un grado di protezione antinfortunistico tale da impedire l'accesso con un dito. Le superfici superiori degli involucri e delle barriere orizzontali a portata di mano devono presentare un grado di protezione antinfortunistico tale da impedire l'accesso con un filo impugnato.



# Ostacoli e distanziamenti

Questo tipo di protezione si realizza solo nei locali accessibili a persone addestrate (**cabine, officine elettriche**, ecc.); consiste nel predisporre ostacoli o distanziamenti atti a prevenire il contatto diretto involontario.

Il contatto diretto intenzionale è possibile.

# Protezione addizionale mediante l'uso di interruttori differenziali

L'adozione di interruttori differenziali ad alta sensibilità, aventi cioè una corrente nominale differenziale

$$I_{dn} \leq 30 \text{ mA}$$

costituisce una misura addizionale di protezione contro i contatti diretti.

# Protezione contro i contatti indiretti

- Le misure di protezione contro i contatti indiretti hanno lo scopo di proteggere le persone dai pericoli derivanti dal contatto con parti conduttrici facenti parte dell'impianto elettrico o di utilizzatori elettrici (**masse**) normalmente isolate, ma che potrebbero andare in tensione a causa di guasti (**cedimento dell'isolamento**).

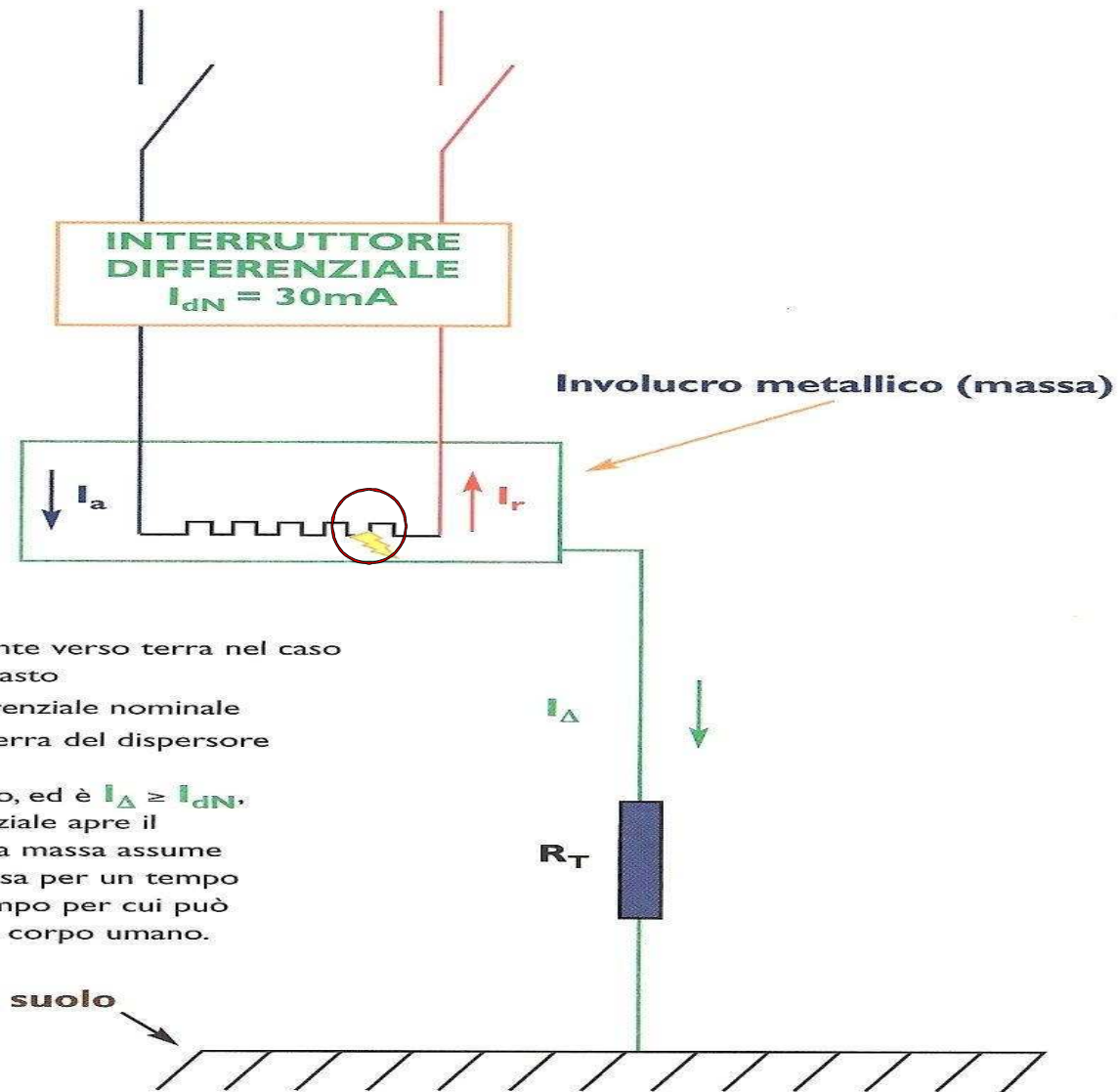
# Protezione con interruzione automatica del circuito

Nel caso in cui l'impianto elettrico è protetto da un interruttore differenziale coordinato con l'impianto di terra, il circuito viene automaticamente aperto prima del raggiungimento di situazioni pericolose.

Supponiamo di avere un utilizzatore elettrico avente un involucro metallico, regolarmente collegato a terra. A causa di un guasto l'involucro (massa), normalmente a tensione  $V = 0$ , assume verso terra una tensione potenzialmente pericolosa in conseguenza della corrente dispersa verso terra  $I \Delta$  pari alla differenza tra la corrente entrante nel circuito  $I_a$  e quella uscente  $I_r$ .

Se la corrente  $I \Delta = I_a - I_r$  è maggiore o uguale alla corrente differenziale nominale dell'interruttore differenziale  $I_{dn}$ , l'interruttore apre il circuito in tempi brevissimi, in quanto esso è progettato in maniera tale da far sì che non si verifichino condizioni di funzionamento che vadano oltre la zona 2 della curva di sicurezza. In tal modo l'involucro metallico (massa) può assumere una tensione pericolosa ma solo per un tempo minore rispetto a quello per cui può essere sopportata senza conseguenze dal corpo umano.

220 V~



$I_a - I_r = I_{\Delta}$  = corrente verso terra nel caso in cui si verifica un guasto

$I_{dN}$  = corrente differenziale nominale

$R_T$  = resistenza di terra del dispersore

Se si verifica un guasto, ed è  $I_{\Delta} \geq I_{dN}$ , l'interruttore differenziale apre il circuito. In tal modo la massa assume una tensione pericolosa per un tempo minore rispetto al tempo per cui può essere sopportata dal corpo umano.

Nei sistemi alimentati in bassa tensione (TT), la protezione si realizza attraverso una corretta scelta dell'interruttore differenziale e un corretto dimensionamento dell'impianto di terra. Tali condizioni (coordinamento dell'interruttore differenziale e l'impianto di terra), si verificano se è soddisfatta la seguente relazione:

$$R_A = 50/I_{dn}$$

dove:

- $R_A$  è la somma della resistenza di terra ( $R_T$ ) del dispersore e dei conduttori di protezione collegati alle masse.
- $I_{dn}$  è la corrente differenziale nominale dell'interruttore.
- 50 V è la tensione che in condizioni ordinarie può essere sopportata senza conseguenze.

Se è verificata la relazione  $R_A = 50/I_{dn}$ , la tensione massima a cui una persona può essere sottoposta per un tempo indefinito, è pari a 50 V; valori più alti di tensione persistono per un tempo minore rispetto al tempo di sopportabilità.

La seguente tabella consente di confrontare i valori massimi accettabili della resistenza di terra a seconda che la protezione venga realizzata mediante interruttori automatici o differenziali.

Interruttori automatici	$I_n$ (A)	10	16	20	25	32
	$R_A$ ( $\Omega$ )	1	0,6	0,5	0,4	0,3
Interruttori differenziali	$I_{dn}$ (A)	0,01	0,03	0,1	0,5	1
	$R_A$ ( $\Omega$ )	5000	1660	500	100	1

$I_n$  (A) è la corrente nominale dell'interruttore, cioè la corrente che l'interruttore può sopportare per un tempo indefinito continuando a funzionare regolarmente.

Si nota come adottando un interruttore differenziale, invece di un interruttore automatico, è possibile avere un impianto con resistenza di terra  $R_A$  ( $\Omega$ ) relativamente alta, che è più facile da realizzare e ha costi impiantistici inferiori.

E' importante precisare che negli ambienti in cui il rischio per le persone può essere maggiore (es. nei locali ad uso medico), è necessario soddisfare condizioni diverse di sicurezza.

# Protezione senza interruzione automatica del circuito

Un metodo per la protezione contro i contatti indiretti (ad es. in caso di cedimento dell'isolamento degli utilizzatori o dei componenti dell'impianto), consiste nell'impiegare componenti a doppio isolamento, detti anche componenti di **classe II** o a isolamento equivalente.

Questo tipo di protezione, diversamente dalla protezione realizzata con interruzione automatica del guasto, è una protezione di tipo passivo e consiste sostanzialmente nel dotare i componenti e gli apparecchi elettrici di un isolamento supplementare rispetto a quello normalmente previsto.

Per i sistemi alimentati a bassa tensione (I<sup>a</sup> categoria), le norme consentono, infatti, di ottenere la protezione contro i contatti indiretti mediante l'impiego di componenti in **classe II**.

I componenti aventi tali caratteristiche non devono essere collegati all'impianto di terra.

Tali componenti (utensili portatili, asciugacapelli, piccoli utilizzatori elettrici, corpi illuminanti ecc.) devono portare il seguente contrassegno:

