

1. Rischio elettrico:

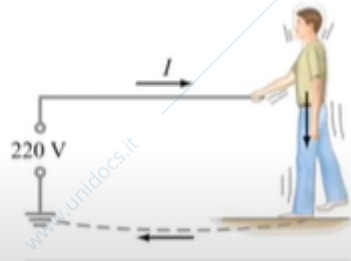
Rischi legati all'elettricità

Sovraccarico, surriscaldamento

- elevate temperature, incendio, esplosione
 - ustioni
 - proiezione di frammenti
 - avvelenamento da fumi

Passaggio della corrente attraverso il corpo

- folgorazione



La folgorazione

La folgorazione (scossa) è il passaggio di una forte corrente elettrica attraverso il corpo

- effetto joule
 - riscaldamento dei tessuti
- stimolazione di muscoli e nervi il cui funzionamento è di natura elettrica (scossa)
 - tetano muscolare
- passaggio della corrente attraverso organi vitali
 - cuore
 - cervello
- infortuni collegati (ad esempio una caduta in seguito alla folgorazione)



Effetto joule → passaggio della corrente attraverso un carico resistivo, introduce un riscaldamento → ustioni; ma visto che il funzionamento dei muscoli è di natura elettrica, la scossa provoca contrazioni muscolari, cioè il cosiddetto tetano muscolare.

Se la corrente passa attraverso cuore o cervello, questi effetti possono avere anche conseguenze mortali.

Fattori che influenzano la pericolosità - 1

► Intensità della corrente

- Dipende dalla tensione e dalla resistenza offerta al passaggio di corrente

$$I = \frac{V}{R}$$

- i tessuti interni hanno bassa resistenza al passaggio di elettricità

La resistenza del corpo umano dipende: dalla tensione, dalla frequenza, dal sesso e varia da persona a persona.

Per tensioni di 230V a 50Hz è generalmente compresa tra 1000Ω e 2000Ω per un contatto mano-mano o mano-piede.

La corrente può quindi raggiungere

$$I = \frac{220V}{1000\Omega} = 220mA$$

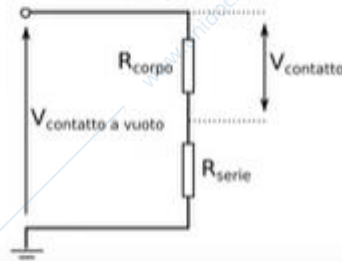
Il corpo umano essendo costituito principalmente di acqua e ricco di elettroliti, fa sì che i tessuti interni abbiano una bassa resistenza al passaggio di elettricità.

220 milliampere è una corrente estremamente pericolosa.

Fattori che influenzano la pericolosità - 2

- **protezione della pelle se asciutta**
 - è estremamente pericoloso toccare un elettrodomestico o uno strumento con mani bagnate
- protezione offerta da scarpe, guanti, pavimento isolante
 - estremamente pericoloso toccare un apparecchiatura con i piedi scalzi

Si ha un effetto protettivo perchè si forma un partitore di tensione tra la resistenza del corpo e quella in serie data ad esempio dalle scarpe isolanti o dai guanti



Con scarpe isolanti, pavimento isolante e guanti, la resistenza totale può salire fino a $10^4 \Omega - 10^6 \Omega$

- Necessarie invece protezioni aggiuntive in presenza di acqua (es. nelle piscine)

Necessarie grandi precauzioni e protezioni nelle applicazioni elettromedicali dove spesso viene meno la protezione della pelle

Noi abbiamo la tensione a cui possiamo venire a contatto di 230 V (a vuoto) e poi abbiamo una serie tra resistenza del corpo e quella delle scarpe, del pavimento, etc..

Fattori che influenzano la pericolosità - 2

► Durata del contatto

- per basse tensioni/correnti il contatto diventa dannoso e pericoloso all'aumentare della durata (un breve contatto può essere sopportabile mentre uno lungo no)
- per correnti elevate il contatto è pericoloso indipendentemente dalla durata

► Caratteristiche della sorgente

- corrente continua
- corrente alternata
 - la forma più pericolosa è quella delle frequenze normali di distribuzione industriale e domestica (50 Hz – 60 Hz)
- capacità della sorgente di erogare corrente
 - resistenza interna, capacità

► Organi coinvolti

Soglie di pericolosità - 1

Tensioni sinusoidali a 50 Hz

- Soglia di percezione ~ 0.5 mA
- Correnti superiori a 1 mA possono essere avvertite e causare dolore
 - la persona è in grado di staccarsi dal contatto
- Correnti superiori a 10 mA interferiscono con la trasmissione nervosa e provocano gravi contrazioni muscolari (tetanizzazione dei muscoli)
 - la persona colpita può non riuscire a staccarsi dal contatto
 - sopra 20 mA – 30 mA può intervenire una paralisi respiratoria
 - una volta interrotta la corrente può essere necessaria la respirazione artificiale

Soglie di pericolosità - 2

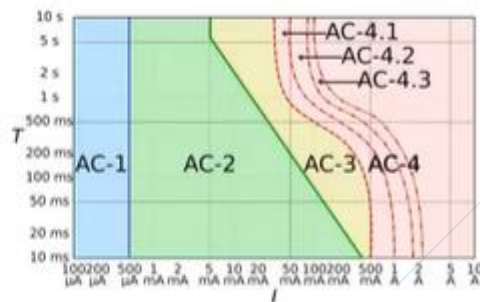
- Correnti superiori a 30 mA – 80 mA possono convogliare al cuore una corrente sufficiente a causare la fibrillazione
 - fibrillazione: contrazioni irregolari dei muscoli cardiaci che impediscono il pompaggio del sangue
 - il ritmo cardiaco è sensibile al passaggio di elettricità durante la fase critica tra sistole e diastole con una probabilità che dipende dalla corrente
 - se non ci si riesce a staccare dopo pochi passaggi attraverso la fase critica entra in fibrillazione
 - il cuore non riesce a riprendersi autonomamente dalla fibrillazione anche dopo l'interruzione della corrente
 - necessario massaggio cardiaco e defibrillatore
 - una corrente continua può essere meno pericolosa perchè causa un arresto cardiaco dal quale il cuore a volte può riprendersi

Particolarmente problematici sono i percorsi della corrente più comuni perchè attraversano il tronco, ad esempio mano-piedi

- Non toccare altri oggetti mentre si fa uso di apparecchi elettrici
- Usare calzature con soles di gomma
- Non toccare apparecchi elettrici con mani o piedi bagnati

Soglie di pericolosità - 3

AC-1: imperceptible
 AC-2: perceptible but no muscle reaction
 AC-3: muscle contraction with reversible effects
 AC-4: possible irreversible effects
 AC-4.1: up to 5% probability of ventricular fibrillation
 AC-4.2: 5-50% probability of fibrillation
 AC-4.3: over 50% probability of fibrillation
 Da wikipedia



- Pochi mA/mm² di corrente possono portare a gravi ustioni nelle parti interessate
 - la pelle è il tessuto più esposto perchè ha elevata resistenza: $P = R I^2$

In applicazioni elettromedicali correnti anche molto piccole, minori di 1 mA, possono causare una fibrillazione se raggiungono il cuore. Sono necessari livelli di protezione molto elevati quando elettrodi vengono applicati ad un paziente.

Soglie di pericolosità in funzione dei tempi di contatto.

Oltre a questi effetti ci sono anche quelli di riscaldamento (effetto joule). La pelle fornisce protezione, per I^2 la pelle fornisce protezione per la sua elevata resistenza ma al tempo stesso subisce ustioni per lo stesso motivo, perchè buona parte della potenza viene dissipata nel tessuto + resistente.

Soglie di pericolosità - 4

Non è la tensione che uccide... è la corrente.

Si classifica tuttavia il rischio sulla base della tensione in quanto questa determina il passaggio di corrente

condizioni ordinarie	50 V CA	120 V CC
condizioni particolari	25 V CA	60 V CC

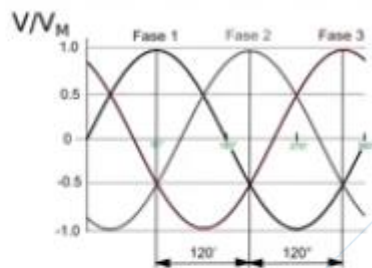
- Per condizioni ordinarie si intende un ambiente al chiuso privo di umidità
- Per condizioni particolare si intende un ambiente all'aperto oppure al chiuso in presenza di umidità

2. Contatti diretti e indiretti:

La trasmissione di energia elettrica

Solitamente viene prodotta e trasmessa una tensione alternata trifase

- La somma delle tre tensioni è zero in ogni istante
 - quando su un filo arriva corrente, negli altri c'è un ritorno di corrente
 - i ruoli si interscambiano continuamente
- Sono necessari solo tre fili anziché sei per la trasmissione (un'andata e un ritorno per ogni filo)

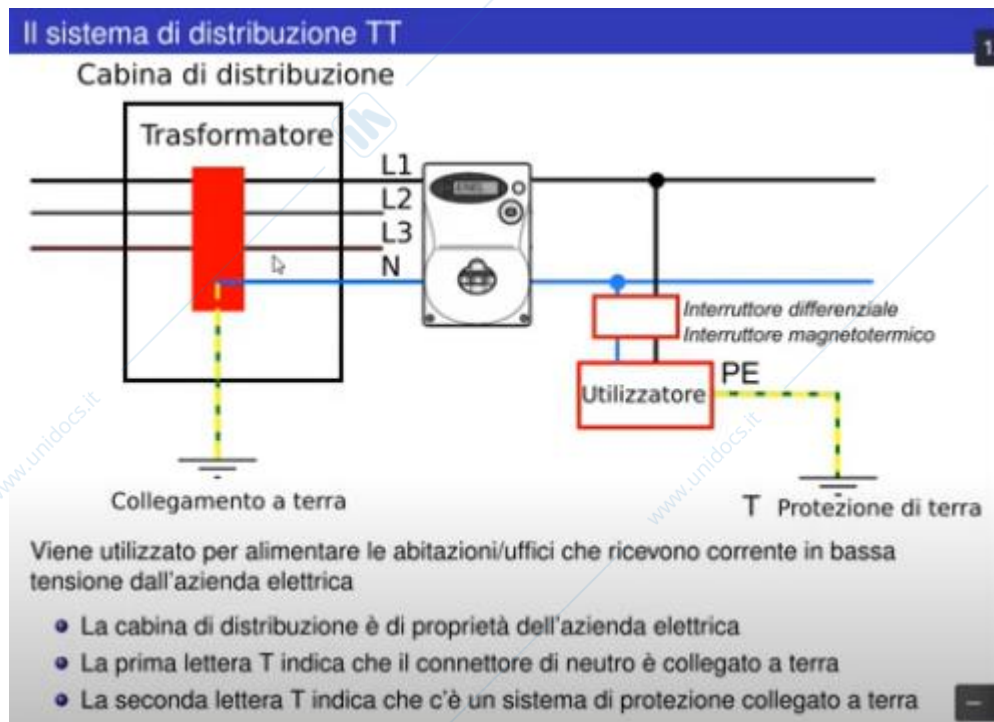


Nelle linee di trasmissione si vedono sempre gruppi di tre conduttori

Trifase perché vengono considerati tre conduttori con una tensione sinusoidale alternata e sfasata in un conduttore rispetto all'altra; viene sfasata di $1/3$ di angolo giro in modo tale che la somma delle 3 tensioni sia 0 in ogni istante.

Quando in un filo viene erogato corrente negli altri c'è un ritorno e questi ruoli si scambiano continuamente.

Quindi sono necessari solo 3 fili per la distribuzione della corrente elettrica.



La tensione viene portata da alta trasmissione a bassa tensione nella cabina di distribuzione dove c'è un trasformatore che abbassa la tensione e la porta a 230 V.

Solitamente nelle abitazioni non arriva la tensione trifase, ma di solito viene alimentata con una fase sola e un conduttore per il ritorno (neutro).

Questo sistema viene detto TT, perché la prima T indica che questo conduttore di neutro per ritorno della corrente viene collegato a terra a livello del centro di distribuzione (alta tensione), poi alle prese non arrivano solo 2 conduttori ma un terzo che è la protezione di terra dai contatti accidentali in prossimità di ogni edificio che viene alimentato.

Protezione dal sovraccarico e dal cortocircuito



Sovraccarico → una potenza utilizzata dall'impianto superiore alle capacità dell'impianto di sostenerla.

Cortocircuito → è una corrente che improvvisamente raggiunge valori elevatissimi con un collegamento tra conduttore di fase e conduttore neutro con pochissima resistenza.

La protezione si realizza con un dispositivo passivo (fusibili) di una sottile lamina metallica che si fonde quando attraversato e impedendo il contatto o dall'interruttore magnetotermico → la parte magnetica protegge dal cortocircuito mentre la parte termica protegge dal sovraccarico.

Contatto diretto e indiretto

- Contatto diretto: con conduttori che sono normalmente in tensione
 - intervento errato, rimozione delle protezioni, mancata disattivazione dell'apparecchiatura
- Contatto indiretto: con parti che normalmente non dovrebbero essere in tensione
 - guasto o difetto nell'isolamento, problemi nell'impianto elettrico

Protezione dai contatti diretti

Si cerca di impedire che una persona possa involontariamente entrare in contatto con conduttori elettricamente attivi

- Isolamento delle parti attive
 - isolamento dei cavi elettrici, sospensione in aria a distanza dal suolo, interrimento e protezione
 - installazione corretta
- Involucri e barriere
 - barriere che impediscono di avvicinarsi alle installazioni, cartelli, avvisi
 - involucro che può essere aperto solo con attrezzi da parte di personale specializzato
 - protezione contro il contatto con le dita
 - protezione contro inserimento di corpi estranei
 - protezione dal contatto con liquidi
- Equipaggiamento isolato per gli elettricisti

Se questo non funziona possono entrare in azione gli strumenti per la protezione dai contatti indiretti **come ultima risorsa**

La presenza di protezioni non solleva dalla responsabilità di un uso attento, corretto e responsabile

Protezione dai contatti indiretti

Si vuole evitare che una persona entri a contatto con parti che si trovano in tensione in seguito ad un guasto

Mentre ci si può difendere dal contatto diretto, mantenendosi a distanza dal pericolo visibile, nel contatto indiretto, essendo un pericolo invisibile, ci si può difendere solo con un adeguato sistema di protezione

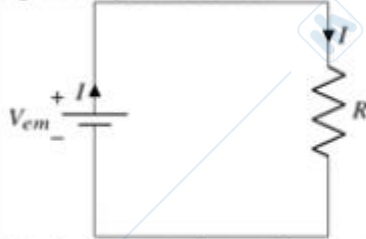
Le misure di protezione sono orientate a:

- interrompere il circuito nel quale si manifesta un guasto di isolamento
- impedire il determinarsi di un guasto verso una parte metallica accessibile

3. Interruttore differenziale protezione di terra:

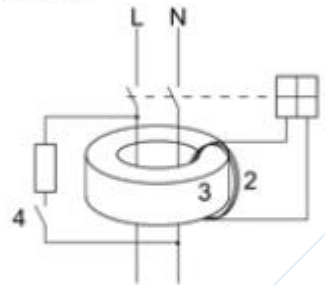
L'interruttore differenziale - 1

Si può considerare il circuito da proteggere come un singolo nodo per cui, se non ci sono dispersioni, la corrente entrante deve essere uguale a quella uscente.



Un circuito controlla continuamente se c'è una minima differenza tra le due correnti ed interviene ad interrompere rapidamente il contatto in caso di dispersione
Il tempo di reazione deve essere dell'ordine di 25ms - 40ms

Schema di funzionamento di un interruttore differenziale in corrente alternata



1: Electromagnet with help electronics
2: Current transformer secondary winding
3: Transformer core
4: Test push-button
L: Line conductor
N: Neutral conductor

Il circuito reagisce in un tempo estremamente piccolo.

L'interruttore differenziale - 2

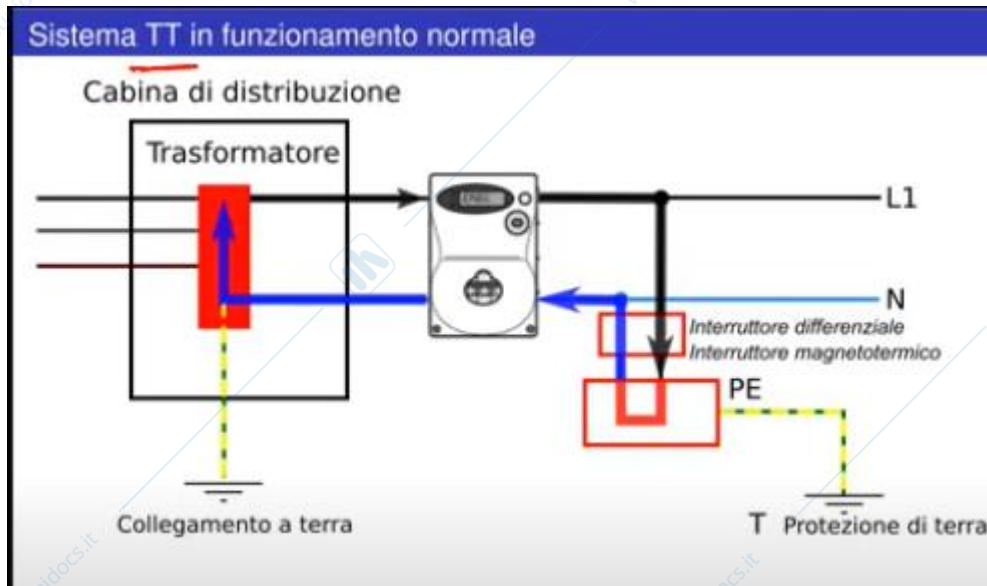
Sull'interruttore troviamo

- l'indicazione che funziona in corrente alternata
- uno schema elettrico dove si può notare
 - il trasformatore
 - il circuito che interviene sul magnetotermico a sinistra
 - il circuito di test
- l'indicazione della sensibilità dell'interruttore differenziale
- il pulsante di test
- l'indicazione a ripetere il test una volta al mese per verificare che la protezione sia funzionante

In alcune situazioni particolari ci può essere una folgorazione senza dispersione e quindi il differenziale non scatta.



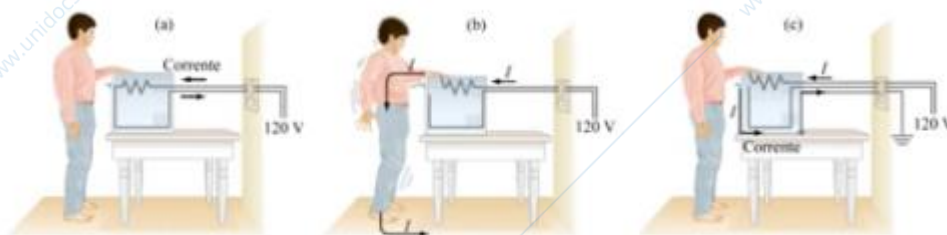
Interruttore differenziale



Abbiamo la corrente che arriva dalla cabina di distribuzione, passa attraverso il contatore sul filo di fase, passa attraverso l'interruttore differenziale magnetotermico. Poi lo preleviamo per utilizzarlo nella nostra apparecchiatura, che è dotata di due connettori (uno per la fase, uno per il neutro e uno di terra).

La corrente prosegue sul filo neutro e ritorna alla cabina di distribuzione dell'azienda elettrica, dove il trasformatore è anche dotato di un collegamento a terra.

La protezione di terra - 1

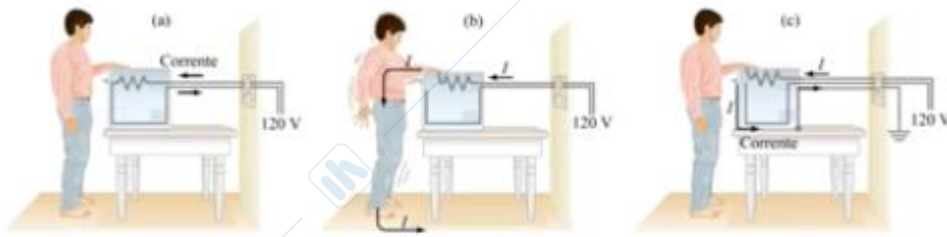


Un'apparecchiatura di Classe 1 collegata in modo scorretto (spina a due poli anziché tre) in modo tale che risulta sprovvista della necessaria messa a terra.

In questa figura l'apparecchiatura funziona normalmente.

Se l'apparecchiatura funziona normalmente, la corrente entra ed esce dall'apparecchiatura e non c'è nessun rischio per la persona che tocca questa apparecchiatura.

La protezione di terra - 2

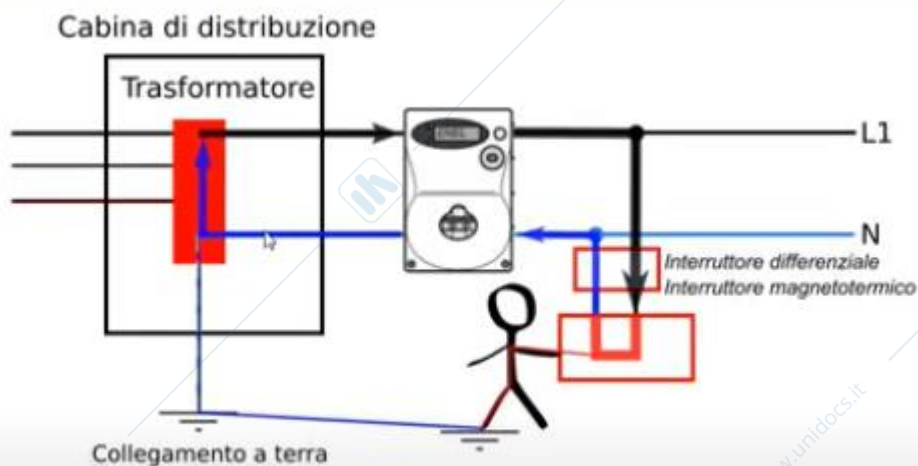


Un guasto (problema di isolamento) provoca un contatto elettrico tra l'alimentazione e l'involucro metallico dell'apparecchiatura

La persona (scalza) che tocca il metallo chiude il circuito ed subisce una folgorazione

- l'anomalia è rilevabile da un interruttore differenziale nel momento in cui la persona tocca l'involucro

Senza protezione di terra

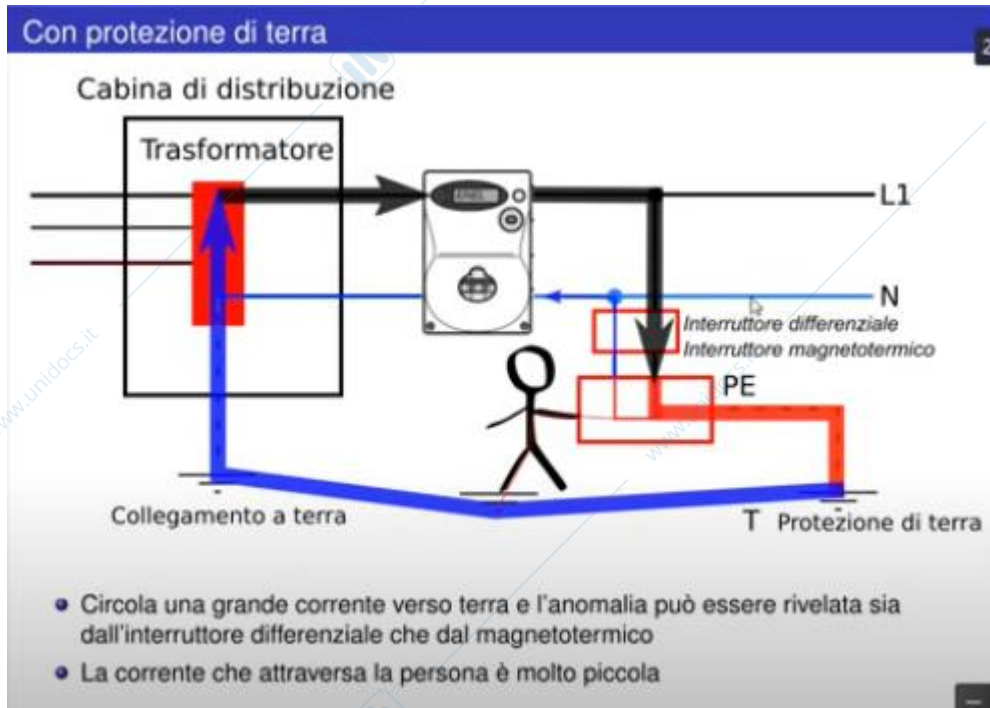


Una parte significativa della corrente attraversa la persona
Il guasto può essere rivelato dall'interruttore differenziale

Perché l'interruttore differenziale controlla continuamente se c'è uguaglianza tra la corrente che viene erogata dal contatore sulla linea di fase e quella di ritorno sulla linea del neutro.

Se avviene un guasto una parte di questa corrente attraversa la persona, viene portata a terra, attraversa la terra e ritorna alla cabina di distribuzione.

L'interruttore differenziale nota la corrente entrante ed uscente, nota che è diversa perché attraversa la persona e interrompe la trasmissione.



Attraverso il conduttore di protezione circola una grande corrente, un piccolissimo ritorno sul neutro e un piccolo passaggio attraverso la protezione.

Le classi di isolamento

Classe 0 hanno una protezione contro i contatti diretti ma sono sprovvisti di conduttore di protezione per la messa a terra. Non sono più costruiti e sono proibiti in Italia

Classe 1 vi appartengono apparecchiature che hanno un isolamento contro i contatti accidentali (isolamento principale) e una carcassa metallica dotata di un collegamento a terra che serve a proteggere dai guasti

Sono apparecchiature con involucro metallico come lavatrici, lavastoviglie, frigoriferi ecc.

Si riconoscono perché sono dotati di una spina a tre connettori.



La spina a tre poli

Fase o neutro



- I due connettori più esterni possono essere collegati alla fase o al neutro
- Su questi connettori può essere presente tensione e quindi la presa è protetta dal contatto accidentale con le dita durante l'inserimento o l'estrazione
- Il connettore centrale è per la messa a terra

Non rimuovere mai il collegamento di terra da una spina. Connettere solo ad una presa a tre poli in modo corretto (ad esempio non connettere una spina shuko ad una presa italiana perchè non verrebbe garantito il collegamento a terra, usare gli adattatori!).

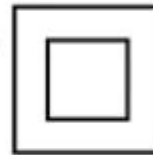
Le classi di isolamento

Classe 2 apparecchi dotati di doppio isolamento (ad esempio isolamento principale e carcassa isolante) o isolamento rinforzato

- Sono costruiti in modo tale che un singolo guasto non possa causare una folgorazione.
- Non è necessario che abbiano il collegamento alla protezione per la messa a terra
- Si riconoscono dal fatto che hanno una spina a due poli



Esempi di apparecchiature di questo tipo sono il televisore, l'asciugacapelli, le lampade da tavolo.



Simbolo di apparecchiatura con doppio isolamento. Deve essere stampato sull'involucro.

Le classi di isolamento

Classe 3 sono sistemi a bassissima tensione consentono di realizzare una protezione sia dai contatti diretti che indiretti

- hanno una tensione non superiore a 50 V AC che in condizioni ordinarie viene ritenuta sicura

N.B. Le condizioni di lavoro delle apparecchiature elettromedicali non sono condizioni ordinarie!



Riduzione del rischio elettrico

Riporto nelle slides seguenti alcune indicazioni del Servizio Prevenzione e Protezione
Siete invitati a:

- leggerle con attenzione
- collegare le indicazioni date con le motivazioni teoriche
- metterle in pratica nelle attività quotidiane