

Zeno Martini (admin)

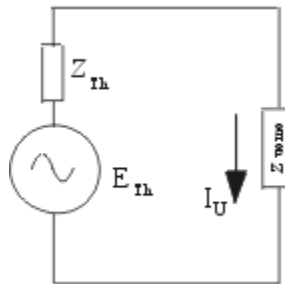
Criteri di sicurezza

1 March 2004

Il pericolo è rappresentato dal valore e dalla durata dell'intensità di corrente che attraversa il corpo umano.

L'intensità è data dal rapporto tra la tensione applicata tra due punti del corpo e la resistenza del percorso.

Il suo valore si può calcolare ricorrendo al generatore equivalente di tensione (Thevenin) visto dai due punti di contatto della persona con il sistema.



$$I_u = \frac{E_{Th}}{Z_{Th} + Z_u}$$

L'impedenza **Z_U** dipende dal percorso attraverso il corpo e dalle impedenze di contatto.

Le caratteristiche del generatore di Thevenin, **E_{Th}** e **Z_{Th}**, dipendono dal tipo di contatto e dal tipo di sistema elettrico.

Il valore di corrente pericolosa si ricava dalla [curva di pericolosità](#) della corrente. Per averne un'idea, si può ricordare che in c.a. una corrente di valore efficace ***I_U*=50 mA**, non può essere sopportata senza pericolo per più di ***1 secondo***. Facendo ipotesi semplificative sulla resistenza del corpo umano e sulle impedenze di contatto, ci si può riferire alla [curva di sicurezza](#) ed osservare che in c.a. una tensione maggiore di **50V** (25V in particolari condizioni) indicata con **U_L** (tensione limite) non può essere tollerata per più di 5 secondi.

I contatti possono essere [diretti](#) ed [indiretti](#).

Nel caso di contatti diretti, assumendo come riferimento all'interno del corpo il percorso mano-piede, la tensione E_{th} corrisponde alla tensione nominale verso terra del sistema (la tensione stellata: in BT a 380V si ha $E=220V$) mentre Z_{th} dipende essenzialmente dallo stato del neutro. Nei sistemi [TT](#) e [TN](#) il neutro è messo a terra e la resistenza di messa a terra è generalmente molto bassa (qualche ohm o frazioni di ohm). Z_{Th} è assolutamente trascurabile rispetto a Z_U . Assumendo per Z_U il valore di 3000 ohm , $I_U = 70$ mA: l'unica protezione possibile, in caso di contatto, è l'interruzione del circuito. Ciò si ottiene solo con l'impiego di [interruttori differenziali ad alta sensibilità](#).

Nei sistemi [IT](#) il neutro è isolato e Z_{th} è molto più elevata essendo dovuta alla capacità di esercizio dei cavi. Si può ritenere che la reattanza d'esercizio sia dell'ordine di 500 ohm per 1 MW di potenza installata e si deve tener presente che la capacità aumenta proporzionalmente alla potenza installata, cioè la reattanza è ad essa inversamente proporzionale. Ciò fa capire che non è sufficiente per limitare I_U a valori non pericolosi essendo ancora inferiore a Z_U . La protezione può essere assicurata unicamente dall'interruttore differenziale ad alta sensibilità.

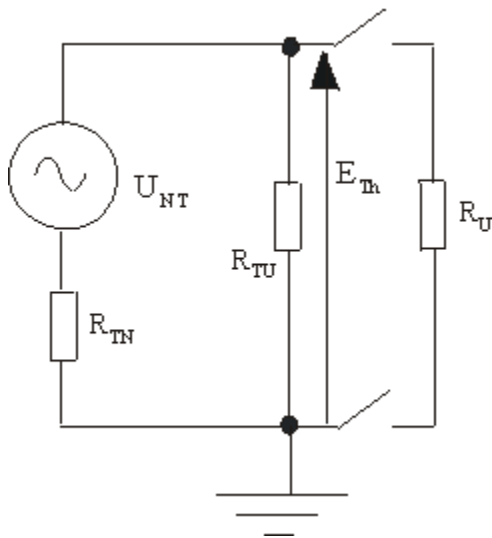
Più articolato è il caso dei contatti indiretti.

Se, sostanzialmente, per Z_{Th} si può ripetere quanto detto per i contatti diretti per cui, in generale, è sempre trascurabile rispetto a Z_U , diverso è il discorso per E_{Th} che corrisponde alla tensione assunta dalle masse rispetto al terreno a potenziale zero.

SISTEMI TT

[Clicca qui per approfondimenti](#)

E_{Th} è data dalla ripartizione della tensione nominale verso terra determinata dal rapporto tra la resistenza di messa a terra delle masse e da quella di messa a terra del neutro.



U_{NT} : tensione nominale verso terra

R_{TN} : resistenza di messa a terra del neutro

R_{TU} : resistenza di messa a terra delle masse dell'impianto utilizzatore

R_U : resistenza dell'uomo (comprensiva delle resistenze di contatto)

E_{Th} : tensione di contatto a vuoto

Per fare in modo che questa tensione sia inferiore ad U_L occorre, in un sistema a tensione nominale 380V (220 verso terra) una resistenza di messa a terra delle masse pari ad un terzo di quella del neutro. Ciò costringe in pratica a ricorrere all'interruzione del circuito coordinando il valore della resistenza di messa a terra delle masse con le caratteristiche di intervento dei dispositivi di interruzione del circuito. L'impiego dei dispositivi di massima corrente quali fusibili ed interruttori magnetotermici è praticamente impossibile poiché si dovrebbe realizzare un impianto di terra di resistenza molto bassa ed inoltre tanto più bassa quanto maggiore è la potenza installata. (Vedere in proposito la pagina relativa ai [dispositivi magnetotermici](#)).

In pratica si deve far ricorso agli interruttori differenziali, stavolta però non necessariamente ad alta sensibilità.

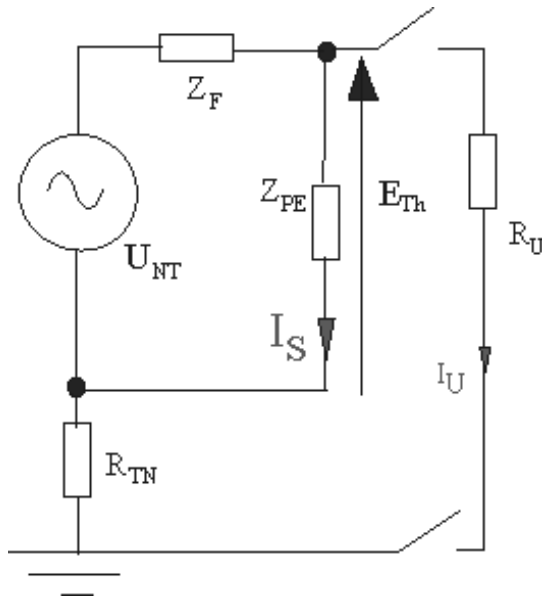
Indicando con $I_{\Delta n}$ la corrente nominale di intervento del differenziale, la resistenza dell'impianto di terra dell'utilizzatore deve soddisfare la relazione:

$$R_T \times I_{\Delta n} \leq U_L$$

SISTEMI TN

[Clicca qui per approfondimenti](#)

E_{Th} dipende dal rapporto tra l'impedenza del conduttore di protezione e quella dei conduttori di fase.



U_{NT} : tensione nominale verso terra

Z_C : Impedenza capacitiva d'esercizio

R_{TU} : resistenza di messa a terra delle masse dell'impianto utilizzatore

R_U : resistenza dell'uomo (comprensiva delle resistenze di contatto)

E_{Th} : tensione di contatto a vuoto

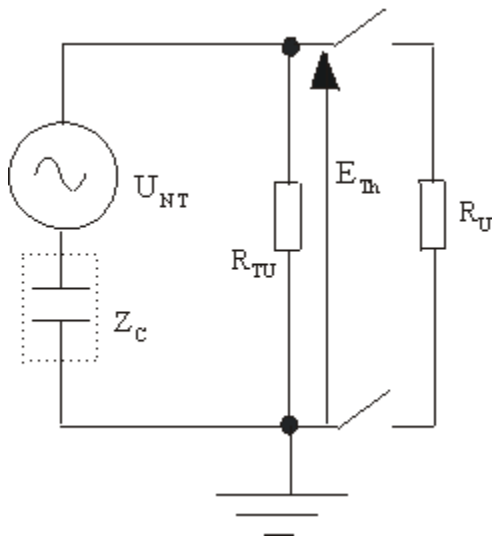
Anche in questo caso è praticamente impossibile che questa tensione sia inferiore ad U_L (la sezione del conduttore di protezione dovrebbe essere il triplo di quella del conduttore di fase) per cui è necessario ricorrere all'interruzione del circuito. Questa può essere attuata da dispositivi di massima corrente in quanto il guasto corrisponde ad un cortocircuito. Se però la corrente di guasto dovesse essere troppo piccola e, quindi, richiedere un tempo eccessivo di intervento, si può ricorrere a interruttori con dispositivo differenziale a bassa sensibilità a soglia di intervento regolabile. La norma CEI prescrive che il prodotto tra l'impedenza dell'anello di guasto (Z_S) e la corrente (I_a) che provoca l'interruzione automatica del circuito in un tempo stabilito secondo una tabella (che è tanto più piccolo quanto più elevata è la tensione) sia inferiore alla tensione nominale verso terra del sistema (U_0). Nel caso di sistemi a $U_{NT}=U_0=230V$ nominali verso terra il tempo di intervento deve essere al massimo di 0,4 secondi.

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

SISTEMI IT

[Clicca qui per approfondimenti](#)

E_{Th} è determinata dal rapporto tra la resistenza di messa a terra delle masse e dall'impedenza capacitiva di esercizio.



U_{NT} : tensione nominale verso terra

Z_C : Impedenza capacitiva d'esercizio

R_{TU} : resistenza di messa a terra delle masse dell'impianto utilizzatore

R_U : resistenza dell'uomo (comprensiva delle resistenze di contatto)

E_{Th} : tensione di contatto a vuoto

E' facile in questo caso mantenere la tensione pericolosa al di sotto del valore limite essendo la capacità di esercizio dell'ordine di qualche centinaio di Ohm per cui è sufficiente una resistenza di messa a terra delle masse di qualche decina di ohm, facile da realizzare. Non è dunque necessario interrompere il circuito al primo guasto a terra. I problemi nascono in seguito ad un secondo guasto a terra e alle sovratensioni che assumono le fasi sane rispetto a terra (da 220V fino a 380V nei sistemi a 380V) dovute al fatto che il neutro può arrivare ad assumere una tensione rispetto a terra pari alla tensione stellata.

$$R_T \times I_g \leq U_L$$

DOPPIO ISOLAMENTO

-DOPPIO ISOLAMENTO

Gli apparecchi in doppio isolamento hanno caratteristiche tali che in caso di cedimento dell'isolamento principale, un secondo isolamento impedisce il contatto delle parti attive con le masse, quindi mantiene

elevatissimo il valore di Z_{Th} limitando a valori non pericolosi la corrente IU.

-SEPARAZIONE ELETTRICA (Trasformatore di isolamento)

Si alimenta l'impianto mediante un trasformatore a rapporto unitario con requisiti costruttivi tali da impedire il guasto tra l'avvolgimento primario e quello secondario. L'impianto deve essere poco esteso in modo da limitare le correnti capacitive al secondario del trasformatore. In questo modo la Z_{Th} rimane elevata limitando a valori non pericolosi la IU. Bisogna osservare che le masse vanno comunque interconnesse in modo da evitare che due masse di circuiti diversi possano per cedimenti dell'isolamento entrare in contatto con parti attive e presentare tra esse una tensione pericolosa per la persona che le tocca entrambe. Il collegamento equipotenziale trasforma il doppio guasto in un cortocircuito permettendo l'intervento dei dispositivi di massima corrente. Le masse non devono essere collegate a terra in quanto guasti su altri apparecchi alimentati direttamente dalla rete potrebbero introdurre potenziali pericolosi.