



Enrico Biagi

PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI

17 September 2004

Per la protezione dai contatti indiretti occorre coordinare l'intervento dell'interruttore con l'impianto di terra o con la conduttanza a seconda del sistema di distribuzione adottato per l'impianto.

a) Sistema TT

Deve essere verificata la condizione:

$$R_A \cdot I_a \leq 50$$

dove:

- R_A = resistenza del dispersore di terra e dei conduttori di protezione delle masse[W]
- I_a = corrente che provoca l' apertura automatica del dispositivo di protezione [A]

La corrente I_a rappresenta:

- La corrente che provoca l' intervento dell'interruttore automatico in 5 secondi.
- La corrente nominale differenziale per gli interruttori differenziali.

Se la condizione precedente non è verificata bisogna intervenire - nel caso di interruttore magnetotermico - sull'impianto di terra diminuendo R_A , oppure - nel caso di interruttore differenziale - sull'interruttore stesso adottandone uno con corrente differenziale nominale più bassa.

b) Sistema TN

Deve essere verificata la condizione:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

dove:

- Z_s = Impedenza del circuito (anello) di guasto, che comprende la sorgente (generalmente il trasformatore), il conduttore attivo fino al punto di guasto e il conduttore di protezione tra il punto di guasto e la sorgente [W]
- I_a = corrente che provoca l'intervento dell'interruttore automatico entro un tempo definito, che dipende dal tipo di circuito (di distribuzione o terminale) e dalla tensione nominale del sistema verso terra [A].

Nel caso dei circuiti di distribuzione la I_a è la corrente che provoca l'intervento dell'interruttore in un tempo di 5 s.

Nel caso di circuiti terminali la I_a è la corrente che provoca l'intervento dell'interruttore nei tempi riportati nella seguente tabella:

Tensione di fase del sistema U_0 (V)	Tempo d'intervento massimo dell'interruttore (s)
120	0,8
230	0,4
400	0,2
> 400	0,1

Nel caso in cui di interruttore differenziale, la I_a è la sua corrente differenziale nominale [A].

- U_0 = tensione nominale del sistema verso terra (tensione fra fase e terra) [V]

Perché la protezione dai contatti indiretti sia garantita occorre che la corrente per guasto a massa I_g sia superiore alla soglia d'intervento I_m dello sganciatore magnetico dell'interruttore:

$$I_g \geq I_m$$

In questo modo la corrente di guasto viene ad assumere le caratteristiche di una corrente di corto circuito fra conduttore di fase e conduttore di protezione e l'interruttore interviene in tempi inferiori a quelli riportati nella precedente tabella (intervento istantaneo dovuto allo sganciatore magnetico).

La corrente di guasto può essere calcolata con la stessa formula già usata per il calcolo della corrente di corto circuito minima:

$$I_g = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S_F}{1,5 \cdot \rho \cdot L_c} \cdot \frac{1}{1 + m} \cdot K_x$$

dove:

- 0,8 = coefficiente che tiene conto del presumibile abbassamento della tensione per effetto del corto circuito
- U_0 = tensione del circuito di guasto = tensione di fase (tensione fra conduttore di fase e conduttore di protezione) [V]
- S_F = sezione del conduttore di fase [mm²]
- 1,5 = fattore che tiene conto dell'incremento della resistività del cavo dovuto all'aumento di temperatura durante il corto circuito
- r = resistività del conduttore a 20°C [per il rame 0,0178 W mm²/m]
- L_c = lunghezza della conduttura [m]
- $m = S_F/S_{PE}$ = rapporto fra le sezioni del conduttore di fase e del conduttore di protezione

Rispetto alla sezione del conduttore di fase, la sezione del conduttore di protezione può essere scelta nel modo indicato nella seguente tabella:

Sezione del conduttore di fase S_F (mm ²)	Sezione del conduttore di protezione S_{PE} (mm ²)
$S_F = 16$	$S_{PE} = S_F$
$16 < S_F \leq 35$	$S_{PE} = 16$
$S_F > 35$	$S_{PE} = S_F/2$

- K_x = coefficiente che tiene conto della reattanza del cavo e che, a seconda della sezione del conduttore di fase, assume i valori riportati nella seguente tabella:

Sezione (mm ²)	= 95	120	150	185	240
K_x	1	0,90	0,85	0,80	0,75

E quindi:

$$\frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S_F}{1,5 \cdot \rho \cdot L_c} \cdot \frac{1}{1+m} \cdot K_x \geq I_m$$

Dalla relazione precedente si può ricavare la lunghezza massima della conduttura L_{MAX} che assicura la protezione dai contatti indiretti:

$$L_{MAX} = L_c \leq \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S_F}{1,5 \cdot \rho \cdot I_m} \cdot \frac{1}{1+m} \cdot K_x$$

Se la condizione non è verificata si può agire in diverse direzioni:

- intervenendo sull'interruttore diminuendo la soglia d'intervento I_m dello sganciatore magnetico;
- intervenendo sulla conduttura aumentando la sezione dei cavi: prima quella S_{PE} del conduttore di protezione (se inferiore a S_F), quindi quella S_F dei conduttori di fase;
- se i provvedimenti precedenti non permettono di assicurare la protezione dai contatti indiretti, bisogna ricorrere ad un interruttore differenziale: è, in genere, sufficiente adottarne uno a bassa sensibilità con $I_{DN} = (1..3) A$. Questa soluzione è particolarmente indicata per quei circuiti terminali che sono suscettibili di frequenti modifiche o che alimentano prese di corrente alle quali sono collegati cavi flessibili di cui non si conosce né la sezione, né la lunghezza.

c) Sistema IT

Per primo guasto a terra deve essere verificata la seguente condizione:

$$R_T \cdot I_d \leq 50$$

dove:

- R_T = resistenza dell'impianto di terra [W].
- I_d = corrente di guasto fra un conduttore di fase ed una massa [A].

Nel caso di secondo guasto a terra bisogna distinguere fra masse collegate a terra singolarmente e masse collegate a terra collettivamente mediante lo stesso impianto di terra.

Nel primo caso (masse collegate a terra singolarmente), il sistema si trasforma in TT e vale la stessa condizione vista a proposito di tale sistema.

Nel secondo caso (masse collegate allo stesso impianto di terra), il sistema si trasforma in TN e devono essere soddisfatte le seguenti condizioni:

1) neutro non distribuito:

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \cdot I_a}$$

2) neutro distribuito (condizione sconsigliata dalle Norme CEI):

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a}$$

dove:

- Z_s = Impedenza dell'anello di guasto, costituito dal conduttore di fase e da quello di protezione [W].
- Z'_s = Impedenza dell'anello di guasto, costituito dal conduttore di neutro e da quello di protezione [W].
- U = Tensione nominale del sistema tra fase e fase (tensione concatenata)[V].
- U_0 = Tensione nominale del sistema tra fase e terra (tensione di fase)[V].
- I_a = Corrente d'intervento dell'interruttore automatico entro un tempo determinato, che per i circuiti di distribuzione vale 5 s, mentre per i circuiti terminali dipende dalla tensione nominale dell'impianto e assume i valori riportati nella seguente tabella:

Tensione nominale dell'impianto U_0 / U (V)	Tempo d'interruzione (s)	
	Neutro non distribuito	Neutro distribuito
120/240	0,8	5
230/400	0,4	0,8
400/690	0,2	0,4
580/1000	0,1	0,2

Anche in questo caso (come già per i sistemi TN, sistema in cui si trasforma il sistema IT con le masse collegate allo stesso impianto di terra in caso di secondo guasto a terra), perché la protezione dai contatti indiretti sia garantita occorre che la corrente per guasto a massa I_g sia superiore alla soglia d'intervento I_m dello sganciatore magnetico dell'interruttore:

$$I_g \geq I_m$$

Tale condizione assicura l'intervento dell'interruttore in tempi inferiori a quelli riportati nella precedente tabella.

Le correnti di guasto e le lunghezze massime delle condutture per le quali è assicurata la protezione possono essere calcolate con le seguenti relazioni:

1) Neutro non distribuito:

$$I_g = \frac{0,8 \cdot U \cdot S_F}{1,5 \cdot \rho \cdot L_c} \cdot \frac{1}{1+m} \cdot K_x$$

$$L_{MAX} = L_c \leq \frac{0,8 \cdot U \cdot S_F}{1,5 \cdot \rho \cdot I_m} \cdot \frac{1}{1+m} \cdot K_x$$

dove, oltre ai termini già noti, è:

- U = tensione fase-fase (tensione concatenata) [V]
- S_F = sezione del conduttore di fase (mm²)
- m = S_F/S_{PE} = rapporto fra le sezioni del conduttore di fase e del conduttore di protezione

Se la condizione I_g = I_m non è verificata, si può intervenire nelle seguenti direzioni:

- sull'interruttore diminuendo la soglia d'intervento I_m dello sganciatore magnetico;
- sulla conduttura aumentando prima la sezione S_{PE} del conduttore di protezione (se inferiore a S_F), quindi quella S_F dei conduttori di fase;
- se i provvedimenti precedenti non permettono di assicurare la protezione dai contatti indiretti, bisogna ricorrere ad un interruttore differenziale: è, in genere, sufficiente adottarne uno a bassa sensibilità con I_{DN} = (1..3) A.

2) neutro distribuito (condizione sconsigliata dalle Norme CEI):

$$I_g = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S_N}{1,5 \cdot \rho \cdot L_c} \cdot \frac{1}{1+m} \cdot K_x$$

$$L_{MAX} = L_c \leq \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S_N}{1,5 \cdot \rho \cdot I_m} \cdot \frac{1}{1+m} \cdot K_x$$

dove, oltre ai termini già noti, è:

- U₀ = tensione fase-conduttore di protezione (tensione di fase) [V]
- S_N = sezione del conduttore neutro (mm²)
- m = S_N/S_{PE} = rapporto fra le sezioni del conduttore neutro e del conduttore di protezione

Se la condizione $I_g = I_m$ non è verificata, si può intervenire nelle seguenti direzioni:

- sull'interruttore diminuendo la soglia d'intervento I_m dello sganciatore magnetico;
- sulla conduttura aumentando prima la sezione S_{PE} del conduttore di protezione (se inferiore a S_F), quindi quella S_N dei conduttori neutro (se inferiore a S_F), infine quella S_F dei conduttori di fase;
- se i provvedimenti precedenti non permettono di assicurare la protezione dai contatti indiretti, bisogna ricorrere ad un interruttore differenziale: è, in genere, sufficiente adottarne uno a bassa sensibilità con $I_{DN} = (1..3) A$.