

Capitolo 3

Protezioni delle linee

Le protezioni delle linee costituiscono la parte essenziale di un impianto elettrico sia per garantirne il regolare funzionamento sia per evitare danni alle persone ed alle cose. Le Norme CEI 64-8 impongono la realizzazione delle seguenti protezioni:

- contro i sovraccarichi;
- contro i cortocircuiti;
- contro i contatti indiretti.

Qui vengono considerate le prime due, mentre le protezioni contro i contatti indiretti vengono trattate nel prossimo capitolo.

(3.1) Protezione da sovraccarico

La norma CEI 64-8/3 prescrive che i circuiti di un impianto (salvo eccezioni) debbano essere provvisti di dispositivi di protezione adatti ad interrompere correnti di sovraccarico prima che esse possano provocare un riscaldamento eccessivo ed il conseguente danneggiamento dell'isolante del cavo del circuito.

Per garantire tale protezione è quindi necessario che vengano rispettate le seguenti regole:

$$\text{Regola 1) } I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (3.1)$$

$$\text{Regola 2) } I_f \leq 1,45 I_Z \quad (3.2)$$

dove:

I_B = Corrente di impiego del circuito

I_n = Corrente nominale dell'interruttore

I_Z = Portata a regime permanente del cavo

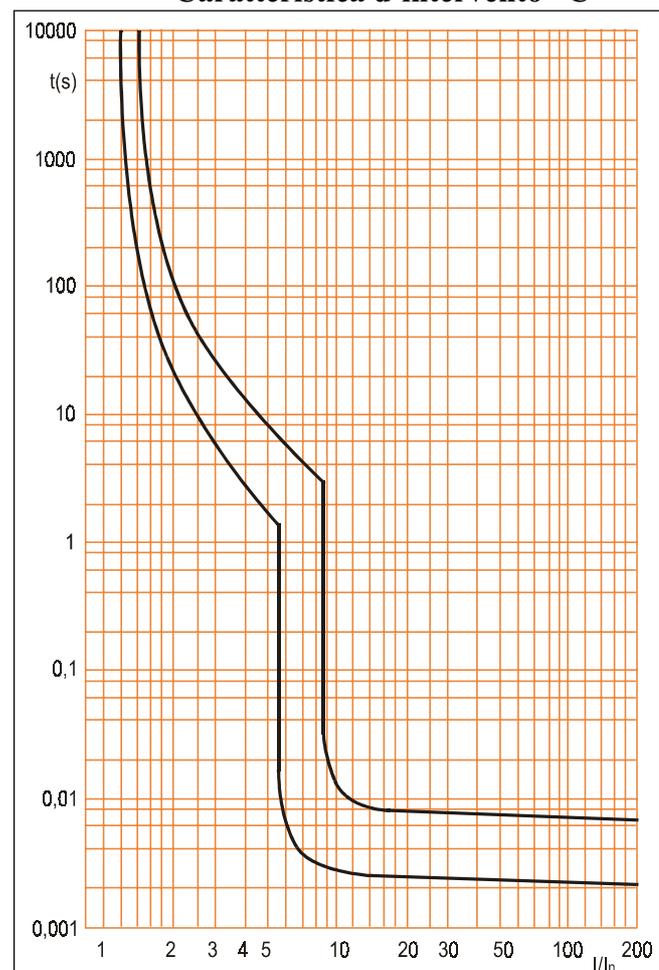
I_f = Corrente di sicuro funzionamento dell'interruttore automatico

La prima regola soddisfa le condizioni generali di protezione dal sovraccarico.

La regola 2, impiegando per la protezione dal sovraccarico un interruttore automatico, è sempre verificata, poiché la corrente di sicuro funzionamento I non è mai superiore a $1,45 I_n$ ($1,3 I_n$ secondo CEI EN 60947-2; $1,45 I_n$ secondo CEI EN 60898) (nella figura accanto è riportata la caratteristica degli sganciatori magnetotermici della BTicino Btdin ® 40/45/60/100/250 - caratteristica "C").

Essa deve essere invece verificata nel caso in cui il dispositivo di protezione sia un fusibile.

Fig. 3.1 – Btdin® 40/45/60/100
Caratteristica d'intervento "C"



Temperature di riferimento per Btdin: 30°C. Caratteristiche rilevate con partenza da freddo alla temperatura di riferimento
I = Corrente effettiva
 I_n = Corrente nominale

Analizzando la regola generale di protezione $I_B \leq I_n \leq I_Z$ risulta evidente che si possono realizzare due condizioni di protezione distinte: una condizione di massima protezione, realizzabile scegliendo un interruttore con una corrente nominale prossima o uguale alla corrente di impiego I_B , ed una condizione di minima protezione scegliendolo con una corrente nominale prossima o uguale alla massima portata del cavo.

E' chiaro che scegliendo la condizione di massima protezione si potrebbero verificare delle situazioni tali da pregiudicare la continuità di servizio, perché sarebbe garantito l'intervento dell'interruttore anche in caso di anomalie sopportabili.

Per contro la scelta di un interruttore con una corrente regolata uguale alla portata del cavo porterebbe alla massima continuità di servizio a discapito del massimo sfruttamento del rame installato.

(3.2) Protezione da cortocircuito

Le condizioni richieste per la protezione dal cortocircuito sono sostanzialmente le seguenti:

a) l'apparecchio non deve avere corrente nominale inferiore alla corrente d'impiego (questa condizione è imposta anche per la protezione da sovraccarico)

c) l'apparecchio di protezione deve avere potere di interruzione non inferiore alla corrente presunta di cortocircuito nel punto ove l'apparecchio stesso è installato;

d) l'apparecchio deve intervenire, in caso di cortocircuito che si verifichi in *qualsiasi* punto della linea protetta, con la necessaria tempestività al fine di evitare che gli isolanti assumano temperature eccessive.

(3.2.1) Calcolo della corrente di cortocircuito

La corrente presunta di cortocircuito in un punto di un impianto utilizzatore è la corrente che si avrebbe nel circuito se nel punto considerato si realizzasse un collegamento di resistenza trascurabile fra i conduttori in tensione.

L'entità di questa corrente è un valore presunto perché rappresenta la peggiore condizione possibile (impedenza di guasto nulla, tempo d'intervento talmente lungo da consentire che la corrente raggiunga i valori massimi teorici). In realtà il cortocircuito si manifesterà sempre con valori di corrente effettiva notevolmente minori.

Per gli impianti utilizzatori in BT per corrente presunta di cortocircuito si deve considerare la componente simmetrica. Poiché le prove del potere d'interruzione degli interruttori automatici sono basate sulla componente simmetrica non è corretto ai fini della protezione da cortocircuito in BT tener conto del valore di picco della corrente di cortocircuito.

L'intensità della corrente presunta di cortocircuito dipende essenzialmente dai seguenti fattori :

- potenza del trasformatore di cabina, nel senso che maggiore è la potenza maggiore è la corrente;
- lunghezza della linea a monte del guasto, nel senso che maggiore è la lunghezza minore è la corrente;

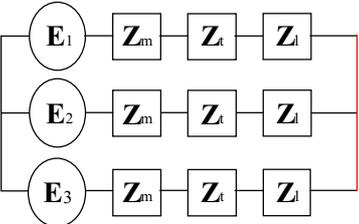
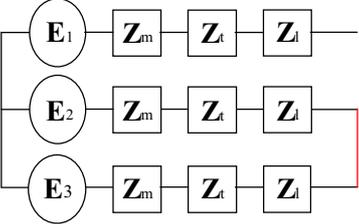
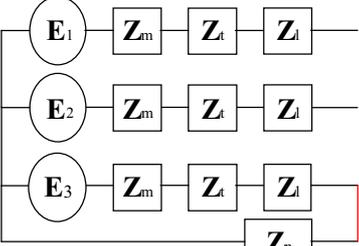
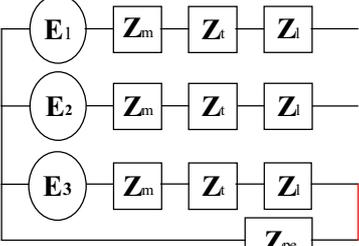
Nei circuiti trifase con neutro e conduttore di protezione si possono avere quattro diverse possibilità di cortocircuito:

- fase - fase
- fase - neutro
- fase - conduttore di protezione

- trifase equilibrato

Nella tabella 3.1 sono riportate le formule per il calcolo delle correnti di cortocircuito nel caso di un sistema trifase TN-S. Da tali formule si vede che le correnti di cortocircuito dipendono da Z_m (impedenza delle rete di alimentazione riportata al secondario del trasformatore) Z_t (impedenza del trasformatore) e Z_l (impedenza della linea).

Tab. 3.1 – Correnti di cortocircuito in un sistema TN-S

	$I_{cc\ tr} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_t + R_l)^2 + (X_m + X_t + X_l)^2}}$
	$I_{cc\ f-f} = \frac{V_n}{2 \cdot \sqrt{(R_t + R_l)^2 + (X_m + X_t + X_l)^2}}$
	$I_{cc\ f-n} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_t + R_l + R_n)^2 + (X_m + X_t + X_l + X_n)^2}}$
	$I_{cc\ f-pe} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_t + R_l + R_{pe})^2 + (X_m + X_t + X_l + X_{pe})^2}}$

L'impedenza Z_m la si può considerare prevalentemente reattiva senza commettere errori apprezzabili. Per il calcolo di X_m si può usare la formula:

$$X_m = \frac{V_n^2}{A_{cc}} \quad (3.3)$$

dove: V_n = tensione concatenata nominale lato B.T.

A_{cc} = potenza di corto circuito nel punto di consegna dell'energia (tale valore è fornito dall'ente erogatrice di energia)

L'impedenza del trasformatore Z_t si ricava attraverso le formule:

$$Z_t = \frac{V_{cc} \% V_n^2}{100 A_n} \quad (3.4)$$

$$R_t = \frac{P_{cu} \cdot V_n^2}{A_n^2} \quad (3.5)$$

$$X_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2} \quad (3.6)$$

dove: A_n = potenza nominale del trasformatore

$V_{cc} \%$ = tensione percentuale di corto circuito del trasformatore

P_{cu} = perdite negli avvolgimenti del trasformatore.

Le tabelle 3.2 e 3.3 riportano i valori tipici di $V_{cc} \%$ e P_{cu} per trasformatori trifasi in olio e in resina di diversa potenza ($V_n = 400 \text{ V}$) :

Tab.3.2 - Trasformatori a trifase in olio

A_n	Trasformatori a perdite normali		Trasformatori a Perdite ridotte	
	$V_{cc} \%$	P_{cu}	$V_{cc} \%$	P_{cu}
50	4%	1100	4%	850
100	4%	1750	4%	1400
160	4%	2350	4%	1850
250	4%	3250	4%	2550
315	4%	3850	4%	3100
400	4%	4600	4%	3650
500	4%	5450	4%	4350
630	4% o 6%	6500	4% o 6%	5200
800	6%	8300	6%	7200
1000	6%	10500	6%	9000
1250	6%	13100	6%	12000
1600	6%	17000	6%	16000

Tab.3.3 - Trasformatori a trifase in resina

A_n	Trasformatori Classe 17,5 kW		Trasformatori Classe 24 kW	
	$V_{cc} \%$	P_{cu}	$V_{cc} \%$	P_{cu}
50	4%	1400	4%	1400
100	4% o 6%	1700	4%	1700
160	4% o 6%	2400	4%	2400
250	4% o 6%	3200	4%	3300
315	4% o 6%	3900	4% o 6%	4000
400	4% o 6%	4500	4% o 6%	4700
500	6%	5200	6%	5700
630	6%	6600	4% o 6%	6900
800	6%	7800	6%	8400
1000	6%	9600	6%	9800
1250	6%	10800	6%	11200
1600	6%	13500	6%	13600

Per l'impedenza di linea Z_l avremo $Z_l = l(r+jx)$, dove l è la lunghezza della linea ed r (resistenza al metro) e x (reattanza al metro) sono i valori indicati nella tabella 1.5.

(3.2.2) Scelta del dispositivo di protezione

I dispositivi idonei alla protezione contro i corto circuiti devono rispondere alle seguenti condizioni [64-8 art. 434.2]:

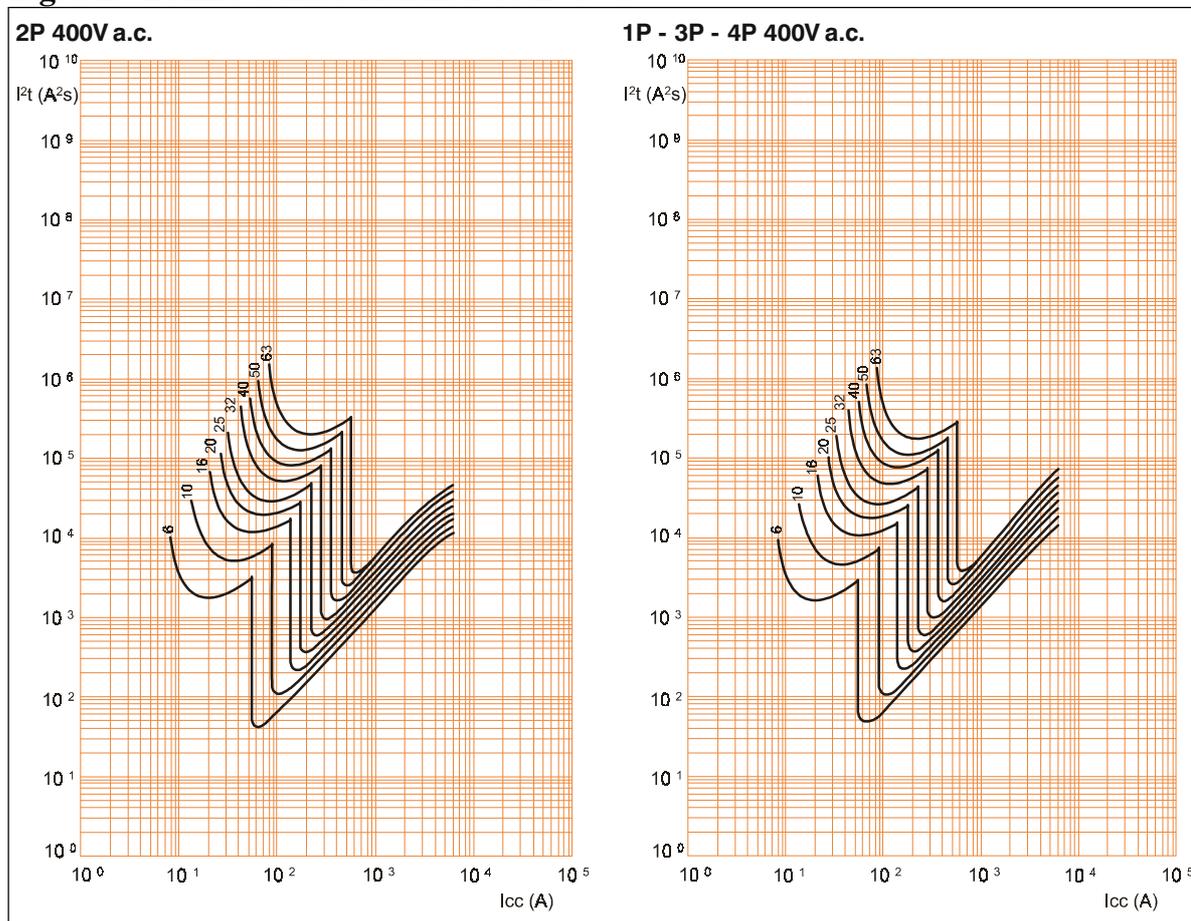
- avere un potere di interruzione (P_i) non inferiore alla corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione ($I_{cc \max}$) (tranne quando si effettua la protezione serie);
- intervenire in modo tale che tutte le correnti provocate da un corto circuito che si presenti in un punto qualsiasi del circuito siano interrotte in un tempo non superiore a quello che porta i conduttori alla temperatura massima ammissibile. Al fine di verificare tale condizione è necessario che, per ogni valore possibile di corto, l'energia specifica passante dal dispositivo d'interruzione ($\int_0^t [i(t)]^2 dt$) sia inferiore all'energia specifica di cortocircuito sopportabile dai cavi (Ess).

L'energia specifica è una grandezza introdotta dalle Norme per valutare l'entità dell'energia termica specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione durante il corto circuito. Dimensionalmente non è una grandezza fisicamente indicativa (A^2s) ma lo diventa quando è moltiplicata per la resistenza dell'elemento interessato, determinando così l'energia sviluppata dalla corrente di corto circuito all'interno di esso.

L'energia specifica passante è facilmente calcolabile se il tempo di apertura dell'interruttore è superiore a 0,1 s. In questo caso $\int_0^t [i(t)]^2 dt = I^2 t$ dove I è il valore efficace della corrente di cortocircuito e t è il tempo di intervento del dispositivo. Per durate molto brevi ($< 0.1 \text{ s}$) e per

i dispositivi di protezione limitatori di corrente, il valore di energia specifica passante devono essere indicati dal costruttore del dispositivo di protezione (nella figura 3.2 sono riportati le energie specifiche passanti degli interruttori Bticino BTdin 60, curva C).

Fig. 3.2 - Btdin® Caratteristiche I^2t curva "C"



Intervento termico con partenza da caldo $\Theta_0 = 70^\circ\text{C}$

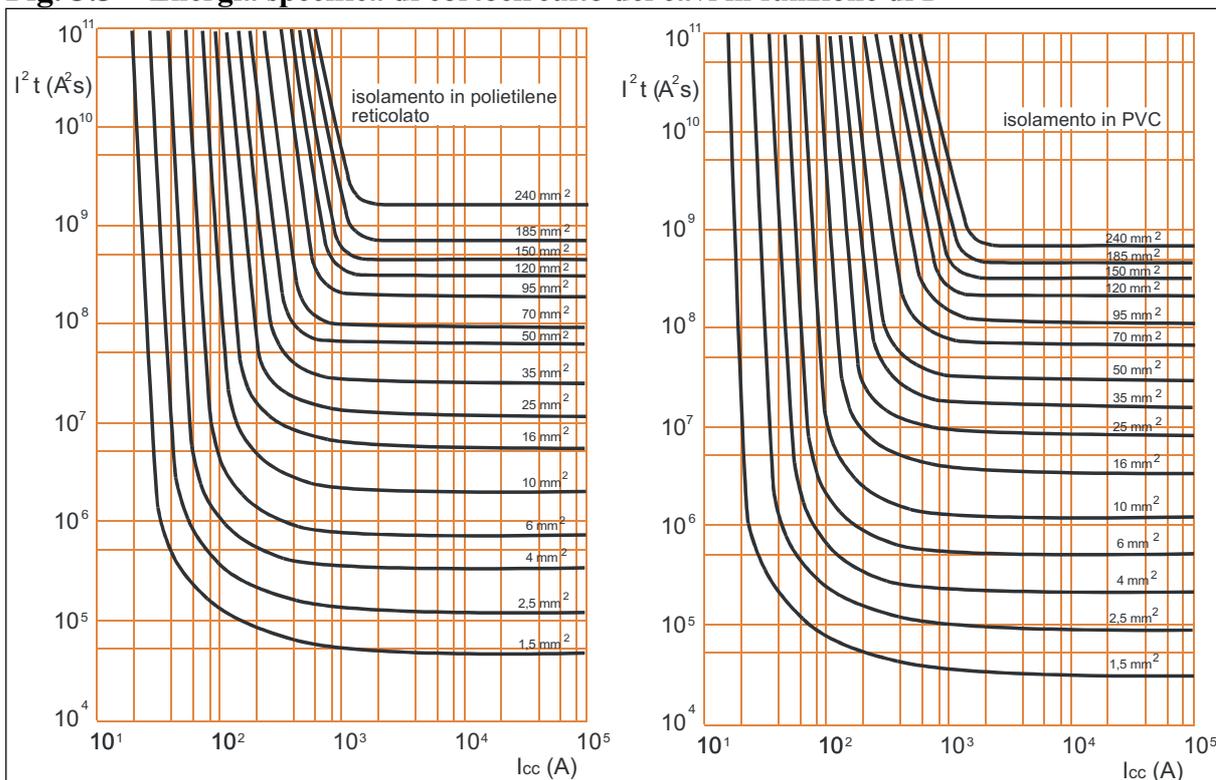
I_{cc} = corrente simmetrica presunta di cortocircuito
 I^2t = energia specifica passante

L'energia specifica di cortocircuito sopportabile da un cavo è facilmente calcolabile per valori di correnti di cortocircuito alti ($> 1000\text{A}$). In questo caso, supponendo un funzionamento adiabatico del cavo, avremo $E_{ss} = K^2 S^2$, dove S è la sezione in mm^2 e K è indicato dalla norma 64/8 e vale 115 o 143 per cavi in rame isolati rispettivamente con PVC o EPR. Per correnti di cortocircuito minori di 1000A i valori di energia specifica sopportabile dai cavi sono, approssimativamente, quelli riportati nei diagrammi in figura 3.3.

Se la protezione viene fatta con un interruttore magnetotermico che protegge la conduttura da sovraccarico si possono avere due casi (figura 3.4).

Caso A). Conduttura completamente protetta per correnti di cortocircuito inferiori a I_a . In questo caso è necessario effettuare la sola verifica $I_{cc\text{ max}} \leq I_a$, in quanto per qualsiasi corrente di corto circuito per guasto all'estremità della linea, di valore tale da non provocare l'intervento del relè magnetico, la linea è comunque protetta dal relè termico. Vale la pena notare che in questo caso la linea è protetta anche per cortocircuiti non franchi.

Fig. 3.3 – Energia specifica di cortocircuito dei cavi in funzione di I

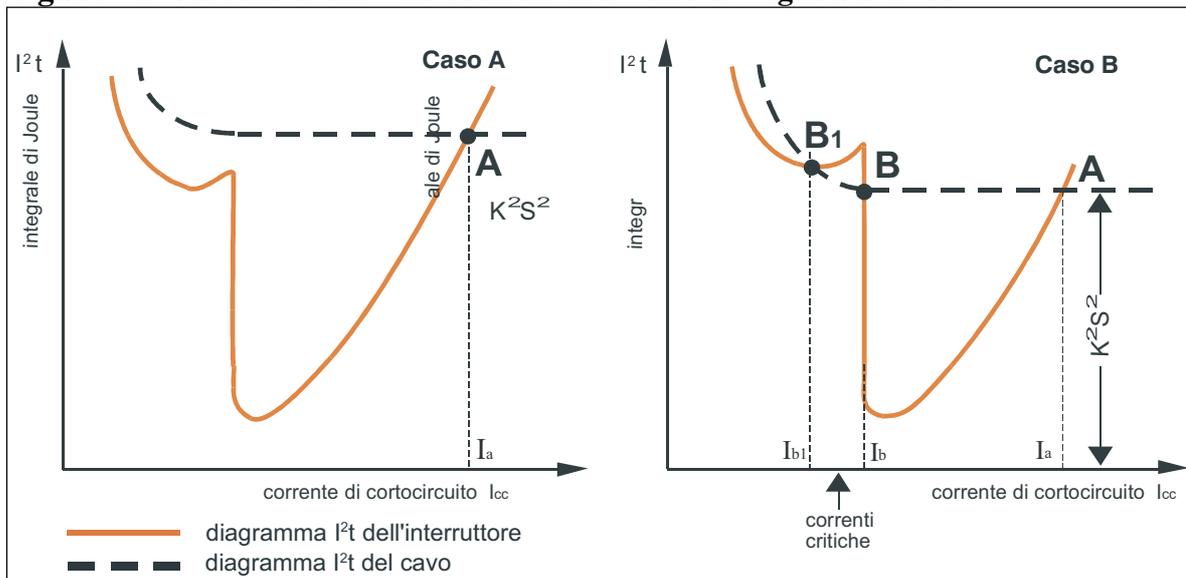


Caso B). Conduttura protetta per correnti I tali che $I_b \leq I \leq I_a$ e per correnti $I \leq I_{b1}$. Al fine di avere una protezione totale dai corto circuiti è perciò necessario che risulti:

$$I_{cc \min} \geq I \qquad I_{cc \max} \leq I_a$$

essendo $I_{cc \min}$ e $I_{cc \max}$ rispettivamente la minima e la massima corrente di corto circuito presunta al termine e all'inizio della conduttura.

Fig.3.4 – Protezione di una linea con un interruttore magnetotermico



(3.3) Selettività

Per selettività si intende il coordinamento dei dispositivi di protezione in modo tale che il guasto che si verifichi in un punto qualsiasi della rete possa essere eliminato dall'apparecchio di protezione immediatamente a monte del guasto, e solamente da esso.

Considerando due apparecchi in serie, la selettività è totale se realizzata per ogni valore di sovracorrente, oppure parziale quando si accetta che l'intervento del solo dispositivo di protezione a valle si verifichi fino ad un determinato valore della sovracorrente, mentre per valori superiori si ammette l'intervento di entrambi le protezioni.

La selettività in caso di sovraccarico è facile da realizzare. E' normalmente sufficiente che l'interruttore a monte abbia una corrente nominale almeno doppia di quella dell'interruttore a valle.

Nel caso di corto circuito la selettività si presenta senz'altro più problematica del caso del sovraccarico. Infatti per interrompere elevate correnti di corto circuito lo sganciatore magnetico interviene in un tempo estremamente breve: da ciò deriva che tutti gli interruttori posti a monte del punto di guasto e perciò attraversati dalla corrente di corto circuito, possono intervenire se tale corrente supera quella di intervento dei relè magnetici.

Per ottenere un'ottima selettività è possibile aggiungere appositi ritardi ai tempi di intervento dei relè degli interruttori a monte. Questa soluzione non è molto usata perché un ritardo di apertura produce un incremento notevole dell'energia specifica passante.

Si ottiene una buona selettività distanziando opportunamente le correnti d'intervento e degli sganciatori magnetici e le correnti nominali degli apparecchi, sfruttando cioè la naturale diminuzione delle correnti di corto circuito verso valle e il fatto che le masse inerziali degli sganciatori sono differenti con la conseguenza che l'interruttore a valle, più piccolo e spesso più veloce, interviene anticipando l'apertura rispetto all'interruttore a monte che rimane chiuso.