

11. Sezionamento e comando

11.1 Sezionamento

11.1.1 Generalità

Ogni impianto deve essere sezionabile in quanto l'operatore può essere chiamato ad interrompere un circuito sia per ragioni di sicurezza sia per ragioni funzionali. Il sezionamento deve assicurare la messa fuori tensione di tutto o di una parte dell'impianto separandolo in modo sicuro da qualsiasi alimentazione elettrica e garantendo in tal modo la sicurezza delle persone che eseguono lavori. Il sezionatore deve essere sicuramente aperto e non deve essere possibile la sua richiusura finché si eseguono lavori sull'impianto. A tal proposito il sezionatore, il quadro, o il locale contenente il quadro dovranno essere chiusi a chiave a meno che non sia assolutamente possibile che persone estranee ai lavori di manutenzione possano incidentalmente richiudere il dispositivo (ad esempio in un appartamento si ritiene che chi seziona l'impianto sia sufficientemente informato dei rischi e quindi non si richiede la chiusura a chiave del centralino).

11.1.2 Il sezionatore

Il sezionatore è un apparecchio di manovra che, per ragioni di sicurezza, garantisce nella posizione di aperto una distanza di sezionamento tra i contatti. Sezionare, infatti, significa aprire un circuito per garantire la sicurezza delle persone che lavorano su o nelle vicinanze di parti attive (Norme CEI 64-8 art. 28.1). In genere è adatto per aprire o chiudere circuiti in cui circolano piccole correnti. I sezionatori devono possibilmente avere i contatti visibili nella posizione di aperto oppure un dispositivo indicatore connesso in modo certo ai contatti mobili. Negli interruttori estraibili è la posizione stessa dell'interruttore ad indicare la posizione di aperto o di chiuso. La manovra sotto carico di un sezionatore potrebbe risultare pericolosa quindi è necessario che non sia a portata di mano di persone non esperte oppure dotato di blocco o interblocco con altro dispositivo manovrabile sotto carico. Nei piccoli impianti, come ad esempio in un appartamento, si dà per scontato che l'interruttore generale sia sotto il controllo di chi lavora. Un cartello di segnalazione "Lavori in corso non effettuare manovre" può essere sufficiente nelle officine elettriche dove hanno accesso solo persone addestrate consapevoli dei rischi che si corrono contravvenendo all'avvertimento del messaggio. In BT al posto dei sezionatori si utilizzano spesso dispositivi destinati anche ad altre funzioni come ad esempio i normali interruttori automatici (interruttori magnetotermici rispondenti alle Norme CEI 23-3 o interruttori differenziali rispondenti alle Norme CEI 23-42 e 23-44; gli interruttori automatici per uso industriale rispondenti alle Norme CEI 17-5 sono idonei solo se dichiarati tali dal costruttore). Il sezionamento deve essere effettuato con dispositivi onnipolari che aprano in una sola operazione tutti i poli (potrebbero essere utilizzati anche dispositivi unipolari, purché disposti affiancati sulla stessa parte del quadro, anche se sarebbero da preferire dispositivi onnipolari). Il dispositivo deve essere installato in modo che non sia possibile una chiusura accidentale e quindi in posizione tale che, un movimento dovuto alla gravità, possa eventualmente produrre una apertura anziché una chiusura. Non devono essere utilizzati dispositivi statici perché non garantiscono la separazione galvanica dei contatti e presentano una corrente di dispersione tra i poli che non può essere trascurata. Possono quindi essere utilizzati interruttori, fusibili, barrette, e prese a spina. Se il dispositivo di sezionamento è comandato a distanza (ad esempio il contattore di alimentazione di una macchina o l'interruttore in cabina ad apertura telecomandata) si pone il problema di rendere visibile e certa l'avvenuta apertura. Un sezionatore o un interruttore a causa della saldatura dei contatti potrebbe non aprire il circuito ma l'operatore se ne accorge facilmente; la stessa cosa deve accadere per un dispositivo comandato a distanza. Affinché la segnalazione sia affidabile si potrebbe ad esempio adottare la doppia segnalazione ottica di aperto e chiuso utilizzando contatti ausiliari connessi con i contatti principali e tali che possano chiudersi o aprirsi solo in concomitanza con la chiusura o apertura dei contatti principali. Quando il sezionatore ha un comando di chiusura/apertura sia manuale che a distanza va richiamata l'attenzione dell'operatore con apposito avvertimento. Sul dispositivo deve essere chiaramente indicato il circuito che seziona.

11.1.3 Casi in cui il sezionamento non risulta sufficiente

- ☐ E' presente dell'energia accumulata da condensatori o macchine elettriche ancora in movimento dopo il sezionamento. Se esistono condensatori occorre procedere alla messa in corto circuito e a terra degli stessi.
- ☐ Il sezionamento è stato effettuato lontano dal punto in cui si eseguono i lavori e possono indursi sui circuiti tensioni pericolose a causa della vicinanza ad altri circuiti che non sono stati messi fuori servizio oppure c'è pericolo di scariche atmosferiche. Anche se siamo in BT è necessario cortocircuitare e mettere a terra i conduttori sul posto di lavoro.

□ Un circuito sezionato in bassa tensione alimenta o potrebbe alimentare una parte di impianto in alta tensione. E' il caso di un trasformatore sezionato sia in AT sia in BT ma con altri trasformatori che rimangono inseriti ad alimentare l'impianto. Per un operatore che lavora sulla parte in AT, se il sezionamento in BT viene a mancare, si potrebbe creare una situazione pericolosa sul primario del trasformatore in AT. Sarebbe utile in tal caso mettere in corto circuito e a terra i conduttori e interbloccare l'apertura dei sezionatori in AT e in BT in modo che l'apertura dell'uno comporti sicuramente anche l'apertura dell'altro.

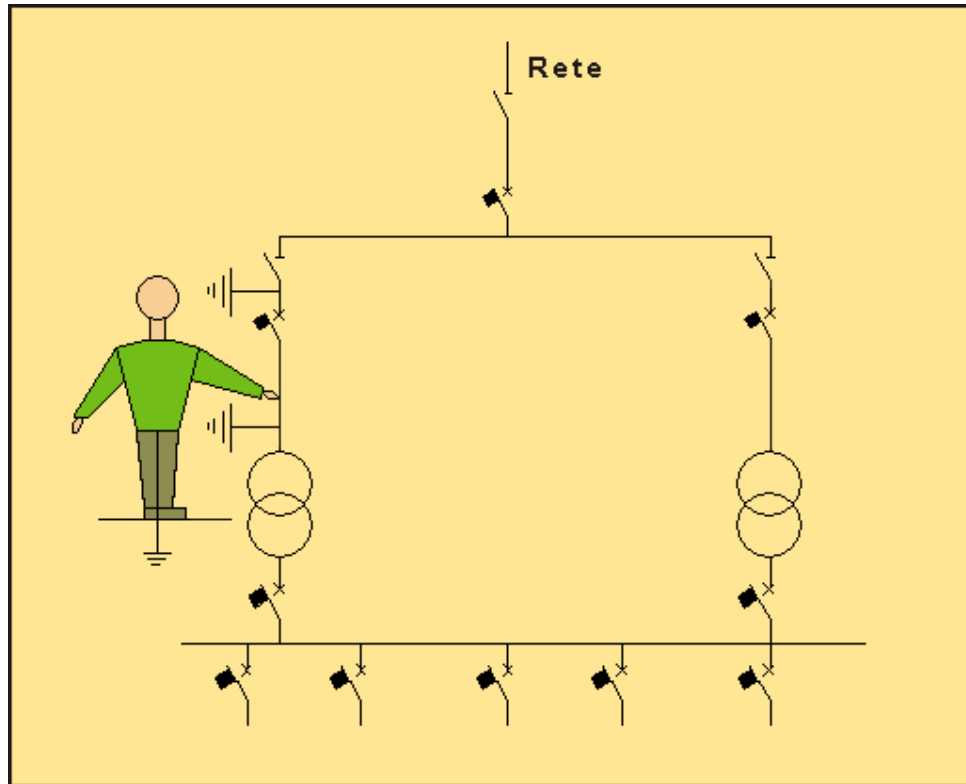


Fig. 11.1 per garantire la sicurezza all'operatore che lavora a monte del trasformatore occorre sezionare i circuiti a monte e a valle del trasformatore su cui lavora e mettere a terra i conduttori anche in B. T.

11.1.4 Sezionamento del neutro

Devono essere sezionati tutti i poli di un circuito dai quali può derivare un pericolo ma non il conduttore di protezione. Il neutro deve essere trattato in modo diverso a seconda del sistema di distribuzione TT, TN, IT. Si è visto nella parte relativa ai contatti indiretti e diretti quali possono essere le cause che determinano tensioni pericolose sul neutro. Nei sistemi TT, dove non sono presi particolari provvedimenti per evitare che il neutro assuma tensioni pericolose, il neutro è un conduttore attivo e quindi come tale deve essere sezionabile. Allo stesso modo per i sistemi IT dove è isolato da terra. Nei sistemi TN occorre distinguere tra sistema TN-C, dove è vietato sezionare il neutro che funge anche da conduttore di protezione (PEN), e sistema TN-S dove il neutro è un conduttore attivo e quindi andrebbe sezionato. In un sistema TN-S si potrebbe tuttavia valutare il rischio che effettivamente il neutro possa andare in tensione e agire di conseguenza caso per caso.

11.2 Comando

11.2.1 Comando d'emergenza

Con il comando d'emergenza (ad esempio nei luoghi con pericolo d'esplosione o d'incendio) si vuole eliminare rapidamente una situazione di pericolo inaspettata e nel caso particolare in cui serva ad interrompere una macchina in movimento pericoloso esso prende il nome di arresto d'emergenza (macchine in movimento pericolose come nastri trasportatori, macchine utensili, scale mobili ecc..). L'arresto di emergenza deve essere adottato per la parte dell'impianto che può dar luogo a pericolo e quindi non alla restante parte perché in alcuni casi potrebbe essere utile a

prevenire altri tipi di incidenti. I dispositivi di emergenza devono essere installati in posizione accessibile, azionabili con una sola manovra e facilmente identificabili; il colore convenzionale è rosso su sfondo giallo. L'apertura e l'arresto devono essere indicati chiaramente. Se l'uso intempestivo del comando d'emergenza può provocare danni a persone, animali o cose il dispositivo deve essere installato in luogo accessibile al solo personale addestrato o essere azionabile solo dopo aver rimosso un sigillo o infranto un vetro di protezione. Il dispositivo, una volta azionato, deve rimanere nella posizione di aperto finché non interviene l'operatore per ripristinare la situazione normale e ne deve essere indicata in modo inequivocabile la posizione di apertura. Questo blocco in posizione di aperto può essere ottenuto sia elettricamente sia meccanicamente. Il circuito di potenza, aperto in condizione di pericolo, può essere richiuso solo manualmente tramite dispositivo diverso da quello di emergenza e solo dopo che il dispositivo di emergenza è stato riportato nella sua condizione di riposo. Il comando di emergenza spesso deriva dalla normativa di prevenzione incendi ed in questi casi è necessario che sia in ambiente separato da quello soggetto all'incendio ed accessibile dall'esterno. Per evitare usi impropri è buona norma installarlo sotto vetro. In altri casi, come ad esempio nei locali di pubblico spettacolo deve essere facilmente raggiungibile dall'esterno e deve porre fuori tensione, con un'unica manovra, tutto l'impianto ad esclusione dei servizi di sicurezza (es. illuminazione d'emergenza). Esempi di impianti in cui si utilizza il comando d'emergenza :

- ☐ sistemi di pompaggio di liquidi infiammabili ;
- ☐ sistemi di ventilazione ;
- ☐ grandi calcolatori ;
- ☐ lampade a scarica alimentate ad alta tensione ;
- ☐ i grandi edifici come ad esempio i grandi magazzini di vendita ;
- ☐ laboratori per prove o ricerche elettriche;
- ☐ grandi cucine ;
- ☐ centrali termiche ;
- ☐ laboratori didattici ;
- ☐ sale cinematografiche, teatri e in generale luoghi destinati al pubblico spettacolo.

Lo stesso discorso vale anche per i luoghi con pericolo di esplosione, il comando d'emergenza deve cioè essere possibile da un luogo facilmente accessibile e al di fuori delle zone AD.

11.2.2 Comando funzionale

Il comando funzionale può essere unipolare e in caso di circuito fase/neutro deve essere inserito sul conduttore di fase. Si evita così che un guasto a terra sulla fase del circuito (che potrebbe essere protetto con differenziali poco sensibili) possa rendere inoperante l'interruttore. Naturalmente non potrà essere affidata all'interruttore unipolare la funzione di sezionamento e quindi sarà sempre necessario un sezionatore a monte del circuito con i requisiti e per gli scopi visti prima. Nel caso di circuito fase/fase un interruttore unipolare non è molto affidabile perché si potrebbe verificare lo stesso problema prospettato per il circuito fase/neutro nel caso di un guasto a terra su una fase del circuito. Questo comunque è un inconveniente accettabile e non così grave da giustificare l'uso di un interruttore bipolare anche in considerazione del fatto che per la sicurezza sarà sempre installato a monte un dispositivo di sezionamento.

11.2.3 Prese a spina e manovra sotto carico

La presa a spina, pur non essendo un dispositivo specifico per la manovra sotto carico, è spesso impiegata per aprire o chiudere circuiti sia a vuoto sia a carico. L'unico modo per impedire questa operazione è l'interblocco. Per correnti fino a 16 A si può accettare l'utilizzo della presa a spina come dispositivo di manovra sotto carico anche in considerazione del fatto che sono installate alle estremità dell'impianto dove le correnti di corto circuito sono generalmente modeste e che la presa a spina deve sempre essere protetta dalle sovracorrenti. Se le correnti sono superiori o se si ritiene che per la particolare ubicazione la corrente di corto circuito possa essere elevata è necessario installare apparecchi con

interblocco

elettrico

o

meccanico.

12. Protezione delle condutture contro il sovraccarico

12.1 Sovracorrenti

L'intensità di corrente che si ha nelle normali condizioni di funzionamento di un'apparecchiatura elettrica (condizioni specificate dai dati di targa) viene definita corrente nominale. In realtà alcune apparecchiature elettriche, a seconda dell'impiego, funzionano ad una potenza variabile con un assorbimento di corrente anch'esso variabile. Più in generale si può dire che un'apparecchiatura funziona in regime di sovracorrente tutte le volte che è interessata da un valore di corrente maggiore di quello nominale.

Le cause di un tale funzionamento possono essere ricondotte a due casi fondamentali :

□ **sovracorrenti dovute a sovraccarichi**

tipico di un circuito elettricamente sano, interessato da una corrente fino ad un massimo di 6 - 8 volte la corrente nominale e che può essere sopportato per un tempo determinato producendo sollecitazioni termiche. Un sovraccarico non controllato può degenerare rapidamente in un corto circuito e quindi sarà necessario adottare delle protezioni che intervengano in tempi tanto più brevi quanto maggiore è l'entità del sovraccarico ;

□ **sovracorrenti dovute a guasti o corto circuiti**

si verificano in un circuito elettricamente guasto a causa di un contatto di impedenza nulla tra due parti in tensione con esclusione della parte di impianto a valle del guasto. La corrente diventa molto intensa in poco tempo sottoponendo il circuito a sollecitazioni termiche e a sforzi elettrodinamici e provocando archi elettrici che possono essere causa di innesco d'incendio o di esplosioni. Poiché il funzionamento in corto circuito provoca danni in tempi brevissimi il guasto deve essere eliminato quasi istantaneamente.

12.2 Sollecitazione termica per sovraccarico di una conduttura

Una corrente superiore alla portata della conduttura è detta sovracorrente (art. 25-6 norme CEI 64-8). Una conduttura (si preferisce parlare di conduttura anziché di conduttore poiché la portata di un conduttore cambia con le condizioni di posa e un conduttore posato costituisce una conduttura) percorsa da corrente sviluppa calore (per effetto Joule) che viene disperso nell'ambiente circostante finché non raggiunge la temperatura di regime J_c maggiore della temperatura ambiente J_a . A regime termico la potenza sviluppata a causa dell'effetto Joule e la potenza ceduta dal cavo all'ambiente sono uguali a :

$$\frac{\rho l}{\pi r^2} I^2 = h(J_c - J_a) 2\pi r l \quad (12.1)$$

dove :

r = resistività del conduttore ;

r = raggio della sezione del conduttore ;

l = lunghezza del conduttore ;

h = coefficiente di conducibilità termica tra conduttore e ambiente ;

I = intensità di corrente;

J_a = temperatura ambiente;

ϑ_c = temperatura raggiunta dal conduttore a regime termico.

.Da cui :

$$\vartheta_c - \vartheta_a = \frac{P}{2\pi^2 r^3 h} \quad (12.2)$$

Un funzionamento in **sovraccarico**, per un tempo pari all'intervento delle apparecchiature di protezione, porta ad un aumento della temperatura che tende ad un nuovo valore di regime, proporzionale alla nuova potenza termica dissipata, che deve essere compatibile col materiale isolante impiegato. I materiali isolanti normalmente usati in B. T. subiscono una degradazione (invecchiamento) tanto più intensa quanto maggiore è la temperatura che assumono. Per ogni tipo di isolante viene definita una temperatura massima di funzionamento J_s (ad esempio 70 °C per il PVC) che non deve essere superata nel servizio ordinario per evitarne il decadimento delle caratteristiche elettriche e meccaniche. La protezione dal sovraccarico deve perciò essere tanto più rapida quanto maggiore è l'entità del sovraccarico stesso e quanto minore è la sovratemperatura ammissibile per l'isolante. Ad esempio un conduttore di 10mm² (50 A circa di portata) tollera una sovracorrente di 100A per circa 16 minuti con una riduzione di vita dello 0,1%. Molto importante è la temperatura ambiente in cui un cavo viene installato; risulta evidente che quanto più è elevata, tanto minore è la corrente che può circolare in un cavo. Al limite un conduttore isolato in PVC non può essere adottato in un locale la cui temperatura è maggiore di 70 °C (vedi tab. 12.1) Per valori di corrente molto maggiori della portata non si può più parlare di sovraccarico ma di **corto circuito**. Dal momento che il funzionamento in corto circuito provoca danni in brevissimo tempo (sollecitazioni termiche, elettrodinamiche, archi elettrici che possono innescare esplosioni ed incendi) i relativi dispositivi di protezione devono intervenire istantaneamente.

<i>Sigla</i>	<i>Tipo di materiale</i>	<i>Temp. massimadi esercizio (°C)</i>	<i>Temp. massimadi cortocircuito (°C)</i>
EI1	Gomma naturale	60	200
EI2	Gomma siliconica	180	350
TI1	Polivinilcloruro (posa fissa)	70	160
TI2	Polivinilcloruro (posa mobile)	70	150
G5/G7	Gomma etilpropilenica (EPR)	90	250
G9/10	Gomma reticolata (XLPE)	90	250
R2	Polivinilcloruro (posa fissa)	70	160

Tab 12.1 - Massima temperatura di funzionamento per gli isolanti più comuni

12.2.1 Portata di una conduttura (I_z)

Secondo l'art. 21-5 delle norme CEI 64-8 si definisce portata di una conduttura (I_z) "il massimo valore della corrente che può fluire in essa, in regime permanente ed in determinate condizioni senza che la sua temperatura superi un valore specificato". La massima corrente che un cavo può portare è la corrente I_z corrispondente alla temperatura $\vartheta_c = \vartheta_s$.

Dalla 12.2. si ottiene :

$$I_Z = \pi \sqrt{\frac{2hr^3}{\rho}} (\theta_1 - \theta_2) \quad (12.3)$$

Si può in definitiva concludere che la portata di un cavo dipende dalla capacità dell'isolante a sopportare la temperatura, dai parametri che influiscono sulla produzione del calore, come la resistività e la sezione del conduttore, e dagli elementi che condizionano lo scambio termico tra il conduttore e l'ambiente (numero e modalità di posa dei conduttori, temperatura ambiente). La tabella CEI-UNEL 35024-1 (cavi isolati con materiale elastomerico o termoplastico) esprime le portate dei cavi come il prodotto di tre fattori :

$$I_Z = I_{I0} \times k_1 \times k_2 \quad (12.4)$$

dove :

I_{I0} = portata a 30 °C di un singolo cavo installato ;

k_1 = coefficiente di correzione per temperatura ambiente diversa da 30°C;

k_2 = coefficiente di riduzione per gruppi di cavi in fascio o strato.

□ **Portata a 30 °C di un singolo cavo installato (I_0)** - La portata I_0 (la tab. 12.2. riporta un esempio di portata I_0 di cavi unipolari in rame, senza guaina con isolamento in PVC o EPR per uno degli otto tipi di posa fondamentali ai fini della determinazione della portata che sono indicati nella Tabella C della parte 5 della Norma CEI 64-8 Allegato A) di un singolo cavo varia a seconda del tipo di cavo installato (unipolare con guaina, unipolare senza guaina, multipolare con guaina), dal numero di conduttori percorsi da corrente (caricati) nel funzionamento normale, e dalle modalità di posa. Il conduttore di protezione non è da considerare conduttore caricato, mentre il neutro, che normalmente non si considera caricato, lo diventa in presenza di armoniche. Ad influenzare la portata I_0 di un cavo concorrono anche la sezione, il numero di conduttori (circuiti bipolare, tripolare) e il metodo di posa (tubo protettivo, canale, passerella, ecc..).

Sezione	Numero di conduttori			
	2		3	
(mm ²)	PVC	EPR	PVC	EPR
1,5	17,5	23	15,5	20
2,5	24	31	21	28
4	32	42	28	37
6	41	54	36	48
10	57	75	50	66
16	76	100	68	88
25	101	133	89	117
35	125	164	110	144
50	151	198	134	175
70	192	253	171	222
95	232	306	207	269

120	269	354	239	312
150	309	402	275	355

Tab. 12.2 - Portata I_0 , in ampere, di singoli cavi unipolari senza guaina, isolati in PVC o EPR, posati in tubo o incassati nella muratura alla temperatura ambiente di 30 °C

□ **Coefficiente di correzione della temperatura ambiente (k_1)** - Le portate I_0 vengono definite alla temperatura ambiente convenzionale di 30 °C (si considera che la temperatura possa occasionalmente raggiungere la temperatura di 35 °C). Se la temperatura ambiente è più bassa rispetto a quella convenzionale la portata aumenta, al contrario se la temperatura aumenta la portata diminuisce (tab. 12.3).

Temperatura Ambiente (°C)	PVC	EPR
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1	1
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	---	0,65
70	---	0,58
75	---	0,50
80	---	0,41

Tab. 12.3 - Coefficiente correttivo K_1 per temperature ambiente diverse da 30 °C

□ **Coefficiente di riduzione per gruppi di cavi in fascio o strato (k_2)** - I cavi possono essere posati in fascio o in strato (ovviamente si tratta di cavi multipolari o unipolari appartenenti a circuiti diversi). Un fascio è un raggruppamento di cavi non distanziati, uno strato è un insieme di cavi affiancati o distanziati disposti orizzontalmente o verticalmente (possono essere posati in passerella, a muro, a soffitto ecc.). Se la distanza tra i cavi posati in strato supera due volte il diametro esterno del cavo di sezione maggiore i cavi si dicono distanziati (più cavi disposti in strati sovrapposti dentro un unico contenitore ma non distanziati costituiscono un fascio di cavi). In definitiva il coefficiente di riduzione k_2 tiene conto del tipo di posa ed è applicabile a cavi aventi la stessa temperatura massima di funzionamento. In caso contrario è necessario considerare per tutto l'insieme dei cavi una portata relativa alla temperatura J_s più bassa. Ad esempio posare assieme cavi in PVC con cavi in EPR significa declassare i cavi isolati in EPR a cavi in PVC in quanto non sarebbe

ammissibile installare cavi in EPR, che possono raggiungere temperature di $J_s=90\text{ }^{\circ}\text{C}$, vicino a cavi in PVC che invece sopportano una temperatura di $J_s=70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il coefficiente k_2 (alcuni coefficienti k_2 sono riportati nelle tabelle 12.4 e 12.5) si applica a gruppi di cavi con sezioni contigue e uniformemente caricate; le sezioni devono cioè essere contenute entro tre valori adiacenti unificati come ad esempio 16, 25, 35 mm^2 oppure 6, 10, 16 mm^2 ecc... Questo porta a sotto utilizzare i cavi di grossa sezione per cui, per un migliore utilizzo dei cavi, è conveniente non mescolare nello stesso fascio cavi di sezione molto diversa.

<i>Numero di circuiti o di cavi multipolari</i>	<i>Fattore k_2</i>
2	0,80
3	0,70
4	0,65
5	0,60
6	0,57
7	0,54
8	0,52
9	0,50
12	0,45
16	0,41
20	0,38

Tab. 12.4 - Coefficiente K_2 per cavi posati in fascio

<i>Numero di cavi</i>	<i>Numero di passerelle</i>		
<i>Multipolari in</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Passerella</i>			
2	0,88	0,87	0,86
3	0,82	0,80	0,79
4	0,77	0,77	0,76
6	0,73	0,73	0,71
9	0,72	0,68	0,66

Tab. 12.5 - Coefficiente k_2 per cavi multipolari non distanziati posati in strato su passerella perforate, orizzontali sovrapposte.

Se così non fosse il progettista può calcolare la situazione ottimale (i calcoli sono piuttosto laboriosi) oppure, a favore della sicurezza, può applicare il fattore di riduzione :

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (12.5)$$

dove n è il numero dei circuiti raggruppati. La Norma permette di non considerare i cavi caricati fino al 30% della portata I_z mentre per i cavi non caricati alla massima portata è possibile aumentare il coefficiente K_2 a discrezione del progettista (la Norma non dà indicazioni in proposito).

Fig. 12.1 - Cavi in strato : a) non distanziati ; b) distanziati ; c) in doppio strato

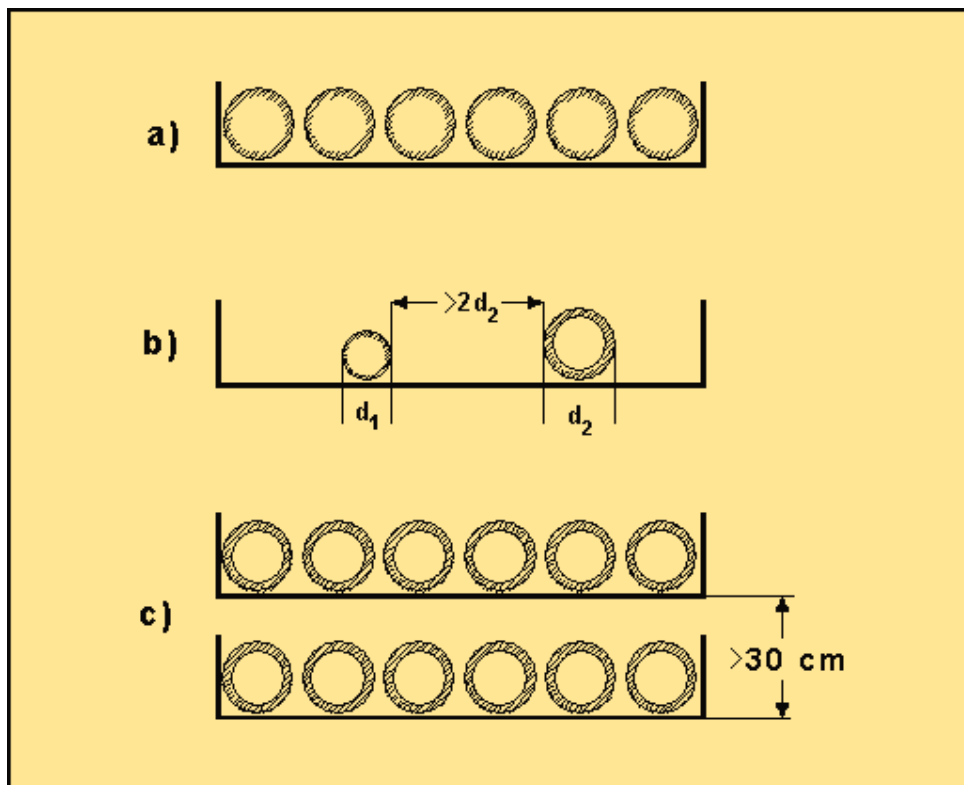


Fig. 12.1 - Cavi in strato : a) non distanziati ; b) distanziati ; c) in doppio strato

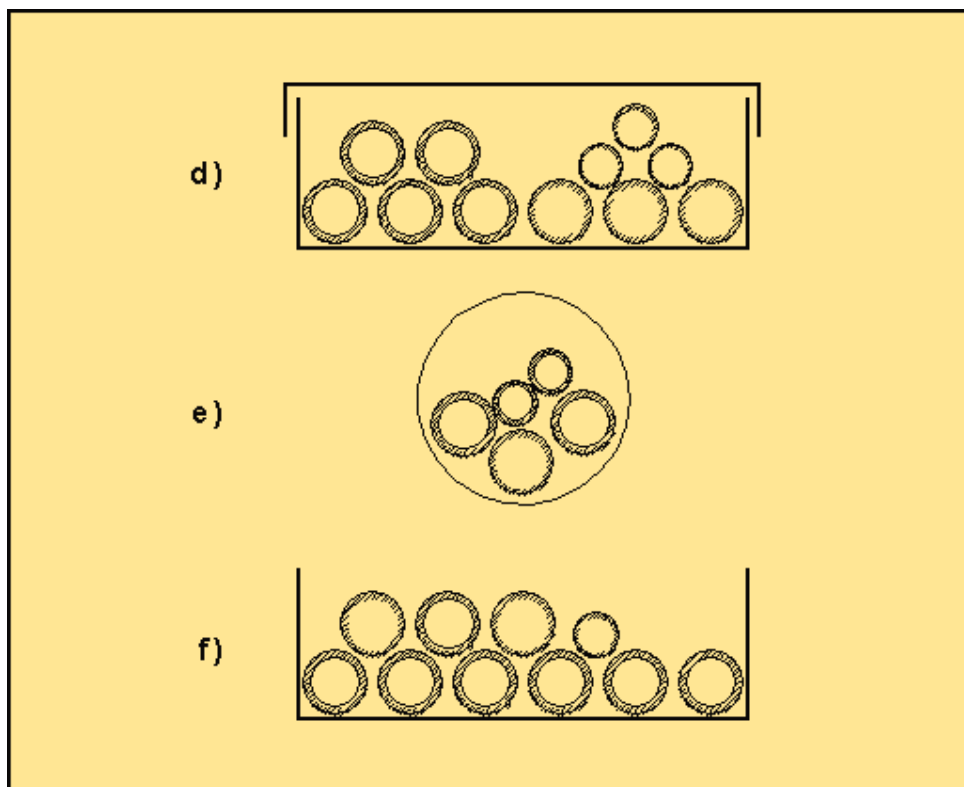


Fig. 12.2 - Cavi in fascio : d) in canale ; e) in tubo ; f) su passerella perforata

12.2.2 Cavi in parallelo

Quando le correnti da trasportare sono elevate, per evitare di utilizzare cavi di sezione eccessiva o non disponibile oppure per aumentare la potenza da trasferire con condutture già esistenti, si installano cavi di sezione più piccola collegati in parallelo. La portata I_z di n conduttori per fase in parallelo, di un circuito trifase, si determina considerando n circuiti tripolari. Si calcola innanzi tutto la portata I_0 di un circuito tripolare, secondo il tipo di cavo e la modalità di posa, e si applica quindi il coefficiente di riduzione k_2 relativo a n circuiti installati in fascio o in strato a seconda del caso. I cavi in parallelo sono in genere protetti da un unico interruttore di corrente nominale uguale o inferiore alla somma delle portate dei cavi di ogni fase. Per questo motivo i cavi in parallelo devono presentare la stessa impedenza ed in particolare devono avere la stessa sezione in modo che la corrente si distribuisca in parti uguali su ciascun cavo ad evitare che alcuni cavi si carichino più di altri. Per sezioni fino a circa 70 mm^2 la resistenza prevale sulla reattanza mentre per cavi di sezione maggiore la reattanza non è più trascurabile rispetto la resistenza. Per rendere uniforme la reattanza sui vari cavi è necessario disporre i cavi in modo il più possibile simmetrico rispetto al centro ideale del fascio di cavi (fig. 12.3).

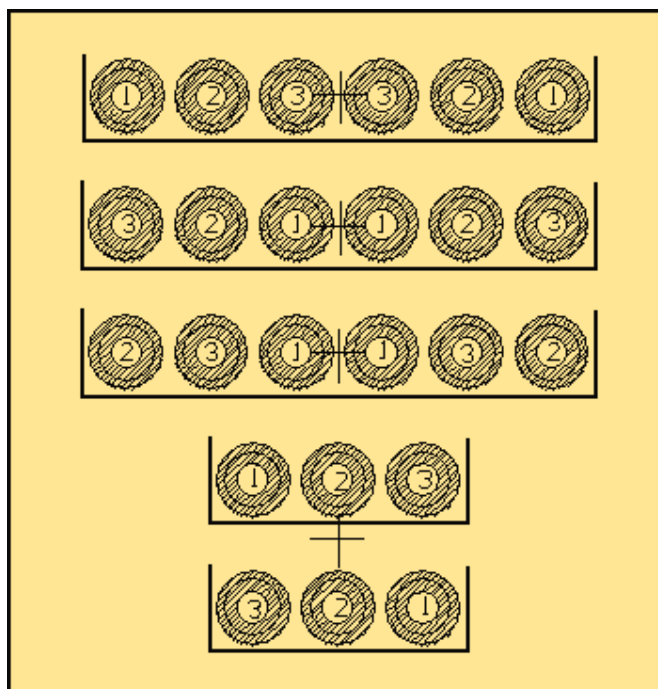


Fig. 12.3 - Disposizione di cavi in parallelo. I cavi di una stessa fase devono essere disposti in modo il più possibile simmetrico rispetto al centro ideale del fascio di cavi.

12.2.3 Cavi schermati e/o armati

Nei cavi di questo tipo, funzionanti in corrente alternata, le tabelle si applicano se l'armatura o lo schermo contengono tutti conduttori attivi appartenenti al circuito. Per i cavi unipolari armati o schermati occorre calcolare la portata col metodo indicato dalla Norma CEI 20-21.

12.2.4 Portata nei sistemi trifasi

I sistemi trifasi si suppongono equilibrati. Nel caso di squilibri di piccola entità per il calcolo della portata si considera la fase più caricata mentre, per forti squilibri, si deve calcolare la portata per il singolo caso particolare, verificando anche l'adeguatezza del conduttore di neutro (senza dimenticare l'eventuale presenza di armoniche, terza e multipli). Si osserva inoltre che, essendo la reattanza di un cavo funzione della distanza dei conduttori, nei sistemi trifasi, con sezioni superiori a 10 mm^2 (per sezioni inferiori la reattanza è trascurabile rispetto alla resistenza) le pose consigliate sono del tipo a trifoglio. La Norma CEI 64-8 infatti, prevede che in caso di mancata disposizione a trifoglio siano almeno effettuate delle trasposizioni per lunghezze superiori a 100m.

12.2.5 Cavi in aria libera

Un cavo si considera installato in aria libera se :

- ☐ la distanza del cavo dalla parete è sufficiente per permettere l'applicazione delle portate appropriate per la posa in aria libera ;
- ☐ se in passerella forata per più del 30% della sua superficie di base.

Se il cavo è posato in tubo o canale aperti alle estremità non si ha riduzione di portata se la lunghezza dell'attraversamento non supera i seguenti limiti :

- ☐ 0,5 m per cavi di sezione dei conduttori fino a 10 mm^2 ;
- ☐ 1,0 m per sezioni oltre 10 mm^2 e fino a 95 mm^2 ;

- 1,5 m per sezioni oltre 95 mm²

12.2.6 Conduttori debolmente caricati

Se, alle condizioni normali di funzionamento, il carico per tutti i conduttori attivi è inferiore alla loro portata, il fattore di correzione k_2 può essere aumentato. Se infine per un circuito la condizione di esercizio è tale per cui la corrente che lo attraversa è inferiore al 30% di quella ottenuta applicando tutti i coefficienti di correzione relativi a tutto il fascio o strato di cavi, allora il circuito può non essere considerato ai fini del calcolo del coefficiente di correzione.

12.2.7 Carico intermittente e variabile

Se il carico dei conduttori attivi è variabile o intermittente, il fattore k_2 può essere più elevato.

12.3 Portata termica delle condutture

La portata termica è il massimo valore della corrente che un conduttore può sopportare, in condizioni di posa specificate, senza che la sua temperatura superi un valore specificato (massima temperatura di funzionamento). La portata dipende dal bilancio termico tra la potenza sviluppata a causa dell'effetto Joule e la potenza ceduta all'ambiente circostante.

12.4 Scelta dei dispositivi di protezione delle condutture contro i sovraccarichi

L'art. 431-1 delle norme CEI 64-8 impone che i conduttori attivi debbano essere protetti da uno o più dispositivi che

interrompano automaticamente l'alimentazione quando si produce un sovraccarico o un cortocircuito.

Queste situazioni, entrambe pericolose, possono essere affrontate in modo distinto oppure contemporaneamente utilizzando i seguenti dispositivi :

- **Relè termici** - sono elementi dotati di un dispositivo sensibile alla temperatura del cavo e di una caratteristica di intervento tempo corrente. Proteggono dai sovraccarichi;
- **Interruttori automatici magnetotermici** - sono dotati di un dispositivo sensibile alla temperatura del cavo (relè termico) e di un dispositivo che interviene istantaneamente per le elevate correnti di corto circuito (relè magnetico). Garantiscono la protezione sia per i sovraccarichi sia per i corto circuiti ;
- **Fusibili**, con caratteristiche analoghe a quelle degli interruttori automatici (fusibili tipo gl).

Indichiamo con I_B la corrente di impiego del circuito, cioè la corrente che in condizioni normali percorre il cavo di portata I_Z , con I_f la corrente che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione entro il tempo convenzionale in condizioni definite e con I_n la corrente nominale, o regolata, del dispositivo di protezione contro il sovraccarico.

Le relazioni che vincolano questi valori di corrente sono:

- Il cavo deve avere una portata maggiore o al limite uguale alla corrente d'impiego I_B del circuito ;

$$I_Z \geq I_B \quad (12.6)$$

- Il dispositivo di protezione contro il sovraccarico deve essere adatto a portare con continuità la corrente di impiego I_B senza dar luogo ad interventi intempestivi. La corrente nominale del dispositivo di protezione I_n deve essere quindi maggiore della corrente d'impiego del circuito ;

$$I_n > I_B \quad (12.7)$$

- Il dispositivo di protezione non deve consentire il permanere di correnti superiori alla portata del cavo I_Z .

$$I_n \leq I_z \quad (12.8)$$

Sintetizzando dovrà essere :

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

In effetti, questa condizione non ci permette di scegliere con facilità la corrente nominale I_N del dispositivo di protezione perché tali dispositivi hanno una fascia di intervento incerto tra i valori I_{nt} (corrente convenzionale di non intervento) e I_t (corrente convenzionale di intervento) come schematizzato nelle figure seguenti.

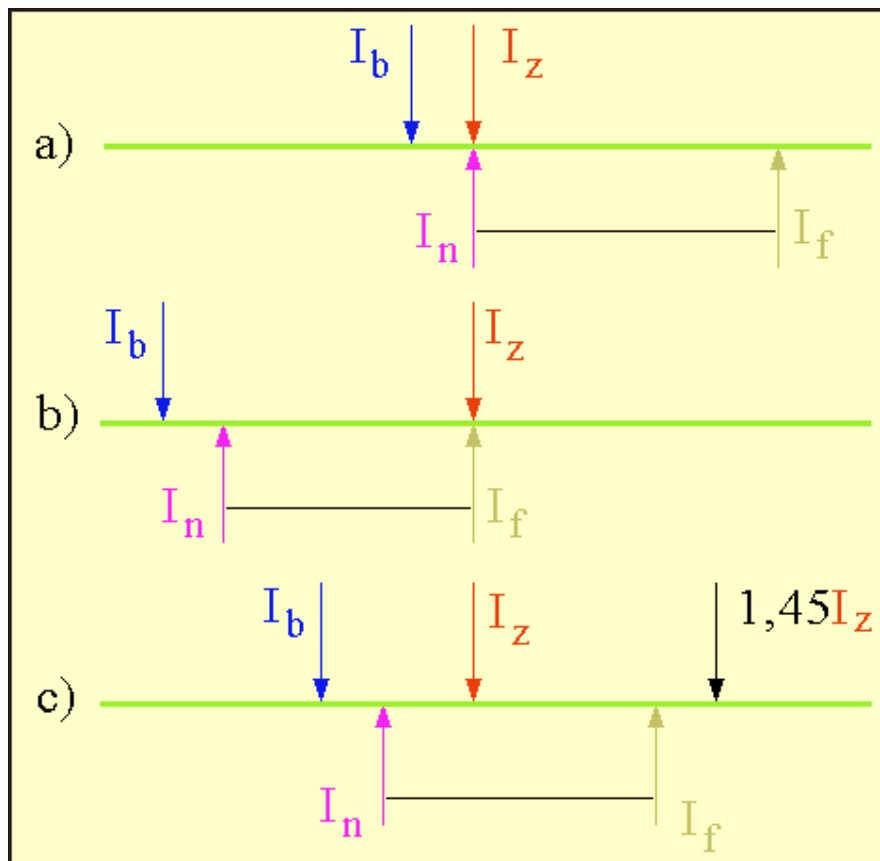


Fig. 12.4 - Scelta del dispositivo di protezione delle condutture contro il sovraccarico.

a) Il cavo è sovraccaricato in modo inammissibile perché le correnti comprese tra I_z e I_t possono non essere interrotte dal dispositivo.

b) Con $I_z = I_t$ la protezione del cavo è massima ma il cavo risulta essere sotto utilizzato in quanto la corrente di impiego I_B , minore di I_n , è molto inferiore alla sua portata I_z .

c) Col compromesso $I_t = 1,45I_z$ si riduce il divario tra I_B e I_z senza aumentare quello tra I_z e I_t dove il cavo potrebbe non essere protetto.

Esaminiamo i seguenti casi:

$$I_n = I_x$$

Nella zona tra I_n e I_f il dispositivo potrebbe non intervenire e la conduttura, essendo presente una corrente maggiore di I_z risulterebbe sovraccaricata. Se ad esempio si usa un fusibile con $I_f/I_n = 1,6$ e con un tempo convenzionale d'intervento $t_c=3$ h si avrebbe un sovraccarico del 60% per un tempo di tre ore con conseguente riduzione di vita del cavo (fig. 12.4 a) .

$$I_f = I_x$$

Una corrente superiore alla portata I_z è interrotta ma aumenta il divario tra la corrente d'impiego I_B e la portata del cavo I_z ; il cavo risulta pertanto sotto utilizzato (fig.12.4 b) .

Una soluzione di compromesso è stata raggiunta in sede normativa con il soddisfacimento della seguente condizione (fig. 12.4 c) :

$$I_f \leq 1,45 \times I_x$$

Da quanto detto sopra si può rilevare che tanto più è ampio il divario tra I_B e I_z tanto meno è utilizzato il cavo, quanto più è ampio il divario tra I_z ed I_f tanto meno è protetto il cavo. Il compromesso raggiunto in sede normativa è accettabile perché si accorcia la vita del cavo solo se si verificano contemporaneamente le seguenti condizioni :

- La corrente che si stabilisce nel circuito è compresa tra I_z e I_f ;
- Il sovraccarico è di lunga durata ;
- Il dispositivo di protezione non interviene anche per correnti prossime ad I_f

Riassumendo possiamo affermare che “le caratteristiche di funzionamento di un dispositivo di protezione delle condutture contro i sovraccarichi devono soddisfare le seguenti condizioni” (Art. 433-2 Norme CEI 64-8):

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (12.9)$$

$$I_f \leq 1,45 \times I_x \quad (12.10)$$

Le seguenti disequazioni comportano conseguenze diverse a seconda che il dispositivo di protezione utilizzato sia un interruttore automatico, uno sganciatore termico oppure un fusibile.

□ Interruttori automatici

La condizione peggiore riguarda gli interruttori non regolabili (vedi “Dispositivi di manovra e protezione”) per i quali, se sono costruiti secondo le norme CEI 23-3 e CEI 17-5 risulta che è al massimo $I_f = 1,45 I_n$ quindi la (12.10) diventa :

$$1,45 I_n \leq 1,45 \times I_z$$

e se deve essere :

$I_n \leq I_x$ anche la (12.10) è rispettata. La protezione risulta quindi sicuramente conforme alle norme se è $I_B \leq I_n \leq I_z$

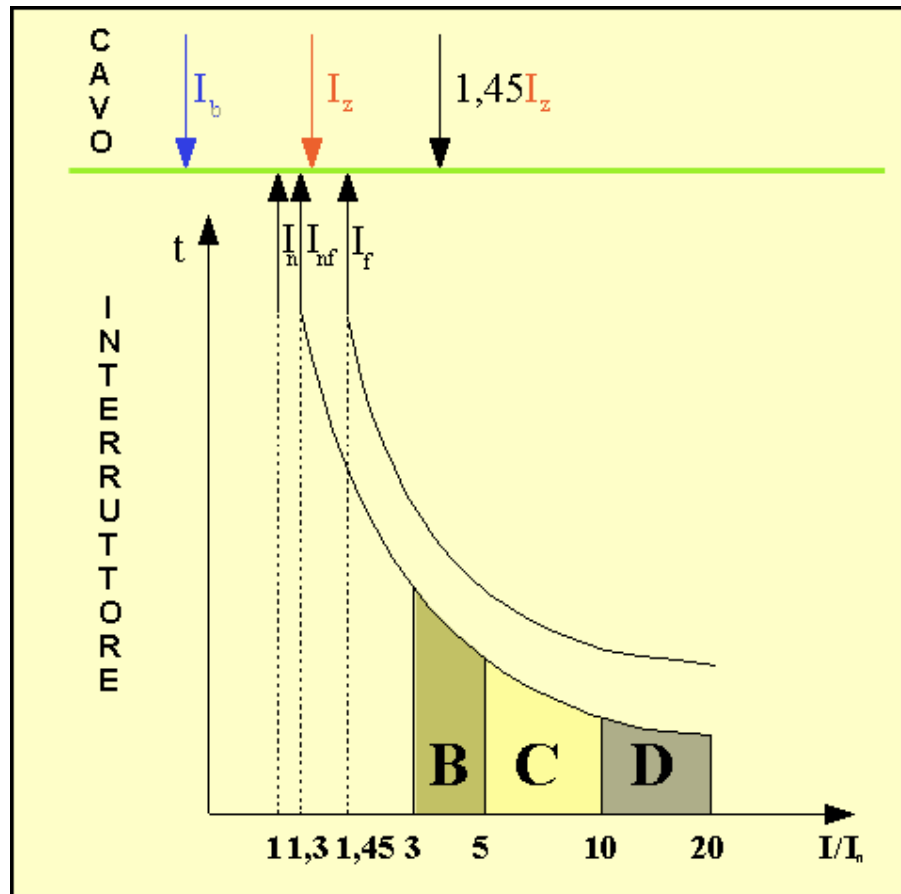


Fig. 12.5 - Il compromesso normativo per la protezione dei cavi contro i sovraccarichi con interruttori automatici

□ **Sganciatori termici**

Per gli sganciatori termici da accoppiare ai teleruttori si ha che $I_r = 1,2I_n$ e la (12.10) vale :

$$1,2I_n \leq 1,45I_z$$

da cui :

$$I_n \leq \frac{1,45}{1,2} I_z; \quad I_n \leq 1,208 I_z$$

Se si sceglie il dispositivo con $I_n \leq I_z$ è soddisfatta anche la (12.10). La protezione risulta quindi sicuramente conforme alle norme se è $I_B \leq I_n \leq I_Z$.

□ **Fusibili**

I fusibili, in funzione della loro corrente nominale I_n , hanno le correnti I_{nt} e I_f legate dalle relazioni indicate in tab. 12.6:

Corrente nominale I_n	Tempo convenzionale	Correnti convenzionali	
(A)	(h)	I_f	I_{nt}
$I_n \leq 63A$	(1)	$1,6I_n$	$1,25I_n$
$63 < I_n \leq 160$	(2)	$1,6I_n$	$1,25I_n$
$160 < I_n \leq 400$	(3)	$1,6I_n$	$1,25I_n$
$400 < I_n$	(4)	$1,6I_n$	$1,25I_n$

Tab. 12.6 - Correnti convenzionali di fusione I_f non fusione I_{nt} dei fusibili gG e gM.

dal momento che I_f vale $1,6I_n$ risulta necessaria la verifica della condizione $I_f = 1,45I_n$ per cui la 12.10 diventa:

$$1,6I_n \leq 1,45I_x; \quad I_n \leq \frac{1,45}{1,6} I_x; \quad I_n \leq 0,906I_x$$

Queste disequazioni sono più restrittive di $I_n \leq I_x$ quindi l'unica condizione che deve essere soddisfatta per avere protezione da sovraccarico è: $I_n \leq I_x \leq 0,906I_x$. Questo significa che per proteggere una conduttura dai sovraccarichi per mezzo di fusibili, è necessario che la corrente nominale del fusibile non superi il 90% della portata del cavo e quindi il cavo deve essere sottoutilizzato (questo, come è noto, non avviene con l'impiego degli interruttori automatici ad uso domestico e similare perché si ha $I_f=1,45I_n$ e con gli interruttori ad uso industriale dove $I_f=1,25I_n$; è sufficiente quindi che sia $I_n \leq I_x$). Diversamente dall'interruttore automatico che viene provato a caldo, cioè dopo una prova alla corrente nominale I_n , il fusibile viene provato alla corrente a freddo, cioè a temperatura ambiente. Se le prove eseguite sui fusibili fossero analoghe a quelle eseguite sugli interruttori automatici, anche per i fusibili, come per gli interruttori automatici varrebbe la stessa relazione $I_f \leq 1,45I_n$ per cui $I_n \leq I_x$ senza dover sottoutilizzare il cavo. In sede normativa si sta procedendo verso l'uniformità delle due norme per colmare questo piccolo svantaggio dei fusibili nei confronti degli interruttori automatici. Se la conduttura presenta tratti con portate diverse (per es. a causa di diverse condizioni di posa) le condizioni 12.9 e 12.10 devono essere verificate per i tratti con portata inferiore, mentre se il dispositivo è posto a monte di più linee derivate esso protegge dal sovraccarico tutte le condutture che soddisfano alle condizioni 12.9 e 12.10. Abbiamo visto come in una conduttura protetta con dispositivi a tempo dipendente possa essere tollerata una sovracorrente fino all'intervento della protezione stessa. Questa sovracorrente è tollerabile dal cavo se la sua curva di sovraccaricabilità rimane al di sopra della caratteristica d'intervento del dispositivo di protezione. In genere questa verifica non è necessaria se le caratteristiche d'intervento dei dispositivi di protezione sono scelte con i criteri sopra esposti

12.5 Corto circuito

Se il valore dell'impedenza di un circuito scende al di sotto del valore di pieno carico, il sistema assorbe una corrente che è tanto maggiore quanto minore è il valore dell'impedenza Z . Al limite per Z che tende a zero il valore della corrente assorbita tende all'infinito. Questo non si verifica mai perché il valore dell'impedenza a monte del guasto, per quanto piccolo possa essere, non è mai nullo. Dopo un periodo transitorio, dipendente dai parametri dell'impianto, il fenomeno assume carattere permanente. La corrente di corto circuito è quindi composta da due termini: uno sinusoidale e simmetrico all'asse dei tempi e uno unidirezionale transitorio, con andamento esponenziale e che si estingue dopo un certo tempo, dovuto alla presenza dell'induttanza del circuito. La componente unidirezionale rende la corrente di corto circuito asimmetrica durante il periodo transitorio per diventare praticamente simmetrica dopo tale periodo.

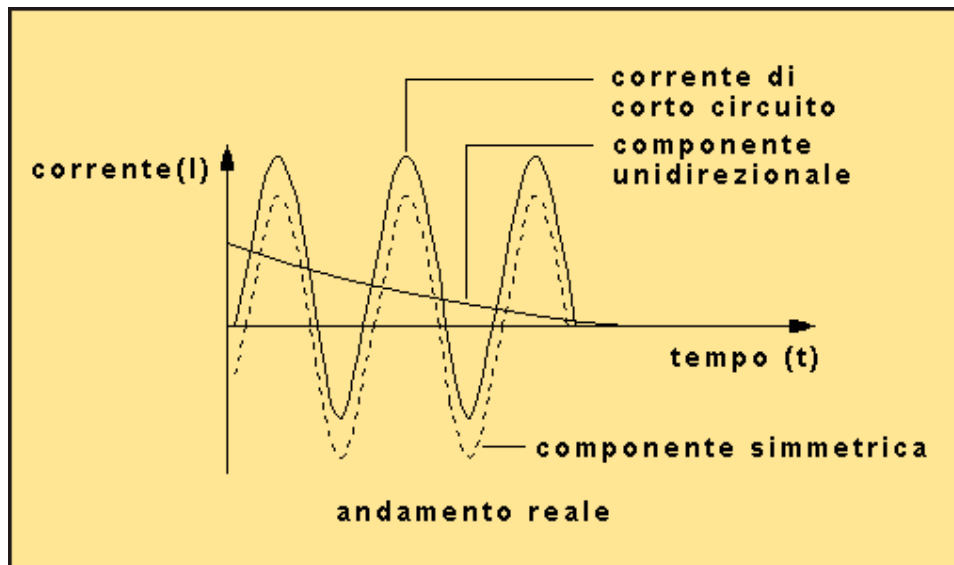


Fig. 12.6 – Andamento reale della corrente di corto circuito

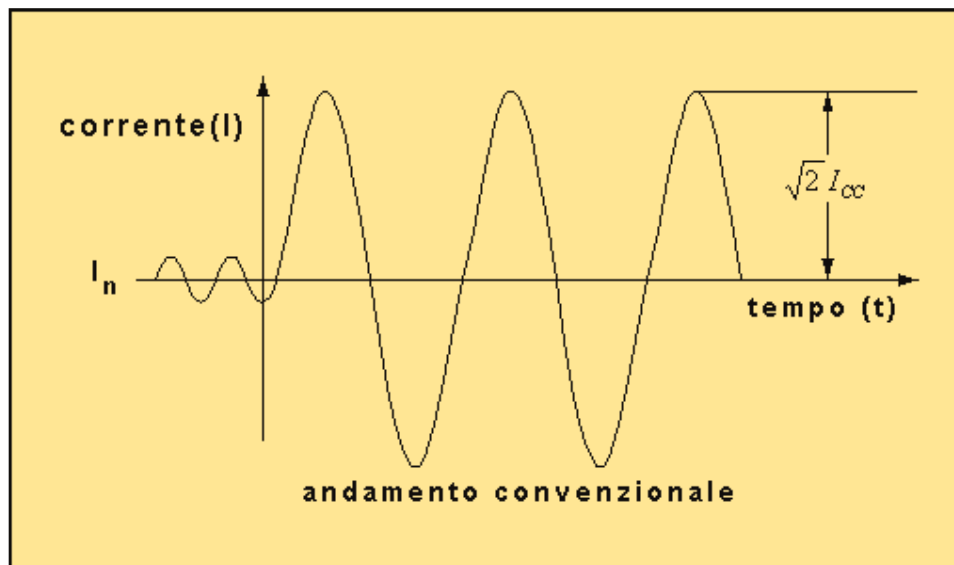


Fig. 12.7 – Andamento convenzionale della corrente di corto circuito

L'intensità della corrente di corto circuito, considerando trascurabile l'impedenza di contatto del punto di guasto (generalmente lo scopo consiste nel determinare il valore più elevato della corrente di corto circuito e quindi si può considerare la situazione più gravosa), dipende dai seguenti fattori :

1. Dalla potenza in kVA, a parità della tensione di corto circuito del trasformatore di cabina che alimenta l'impianto (Tensione di corto circuito U_{cc} - Tensione che applicata al primario del trasformatore, con i morsetti del secondario chiusi in corto circuito, fa circolare nel secondario la corrente nominale - nei trasformatori MT/BT è dell'ordine del 5% - 6% della tensione nominale), nel senso che maggiore è la potenza del trasformatore maggiore è la corrente;
2. Dai modi in cui si verifica il C.C. ; tra fase e fase, tra fase e neutro, tra fase e terra, fra tre fasi. Il corto circuito trifase è il più pericoloso anche se si verifica raramente non dipendendo normalmente da cause accidentali ma da manovre errate da parte del personale che gestisce gli impianti ;
3. Dall'impedenza del tratto di linea posto fra trasformatore e punto di guasto (direttamente proporzionale alla lunghezza ed inversamente proporzionale alla sezione).

Generalizzando il valore della corrente di corto circuito può essere calcolato mediante la seguente relazione:

$$I_{cc} = \frac{\text{tensione applicata al circuito di guasto}}{\text{impedenza del circuito di guasto}}$$

I valori più elevati di corrente di corto circuito si hanno vicino ai morsetti di bassa tensione del trasformatore; allontanandosi dal trasformatore le correnti di corto circuito diminuiscono notevolmente per assumere valori molto bassi al termine delle linee lunghe. La determinazione per via analitica delle correnti presunte di corto circuito è piuttosto laboriosa, ma in pratica si possono ottenere risultati accettabili con l'ausilio di tabelle o meglio con programmi sviluppati al calcolatore. In ogni caso volendo determinare la corrente di cortocircuito presunta in un punto dell'impianto bisogna innanzi tutto calcolare le resistenze e le reattanze nei vari punti dell'impianto (tab. 12.7) ed infine calcolare la corrente di corto circuito (corrente di corto circuito trifase presunta) con la nota formula:

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3 \times \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + (X_1 + X_2 + X_3)^2}}}$$

Con U (tensione nominale a vuoto fra le fasi del trasformatore) espressa in V e R e X espressi in mW la I_{cc} risulta in kA.

Componenti dell'impianto	Resistenze (mW)	Reattanze (mW)
Rete a monte	$R_1 = Z_1 \times \cos \varphi$ $\cos \varphi = 0,15$ $Z_1 = \frac{U^2}{S_{cc}} \times 10^{-3}$ S_{cc} = potenza di corto circuito A monte del trasformatore in MVA	$X_1 = Z_1 \times \sin \varphi$ $\sin \varphi = 0,98$
Trasformatore	$R_2 = \frac{P_{cu} \times U^2}{S_n^2}$ P_{cu} = perdite nel rame (kW) S_n = Potenza nominale (kVA)	$X_2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2}$ $Z = \frac{U_{cc} \times U^2}{100 \times S_n}$ U_{cc} = tensione di corto circuito percentuale (%)
Interruttori	Trascurabili	Trascurabili
Collegamenti in cavo	$R_3 = \rho \times \frac{L}{S}$ L = lunghezza (m) S = sezione (mm ²) ρ = resistività (mm ² mW/m)	X_3 Valori di reattanza da desumere dalle tabelle dei costruttori per i casi generali o da calcolare per i casi particolari
Collegamenti in sbarre	$R_3 = \rho \times \frac{L}{S}$ L = lunghezza (m)	X_3 Valori di reattanza da desumere dalle tabelle dei costruttori per i casi generali o da calcolare per i casi particolari

	S = sezione (mm ²)	
	r = resistività (mm ² mW/m)	

Tab. 12.7 - Determinazione delle resistenze e delle reattanze nei vari punti dell'impianto.

12.6 Protezione contro il cortocircuito

12.6.1 Energia specifica passante (I²t)

In caso di corto circuito le parti di un impianto interessate al guasto vengono sottoposte a sollecitazioni dinamiche e termiche che sono proporzionali al quadrato della corrente di guasto e al tempo impiegato dalle protezioni per interromperla. Durante la fase di eliminazione del guasto si sviluppa una certa quantità di energia che è lasciata passare dal dispositivo di protezione durante il suo intervento: questa energia si trasforma in calore ($W = R \times I^2 t$) che va a sollecitare le varie parti dell'impianto. Questa energia prende il nome di "energia specifica passante" chiamata integrale

di Joule ($\int_0^t I^2 dt$), o più semplicemente indicata col termine $I^2 t$ (A²s). Viene detta specifica in quanto è espressa per unità di resistenza dei vari elementi del circuito ed è la stessa per tutti i suoi componenti percorsi in serie dalla stessa corrente. La conoscenza dell'energia specifica passante è fondamentale per il dimensionamento e la protezione delle varie parti dell'impianto ed inoltre per stabilire la protezione di sostegno (back-up) e la selettività fra interruttori.

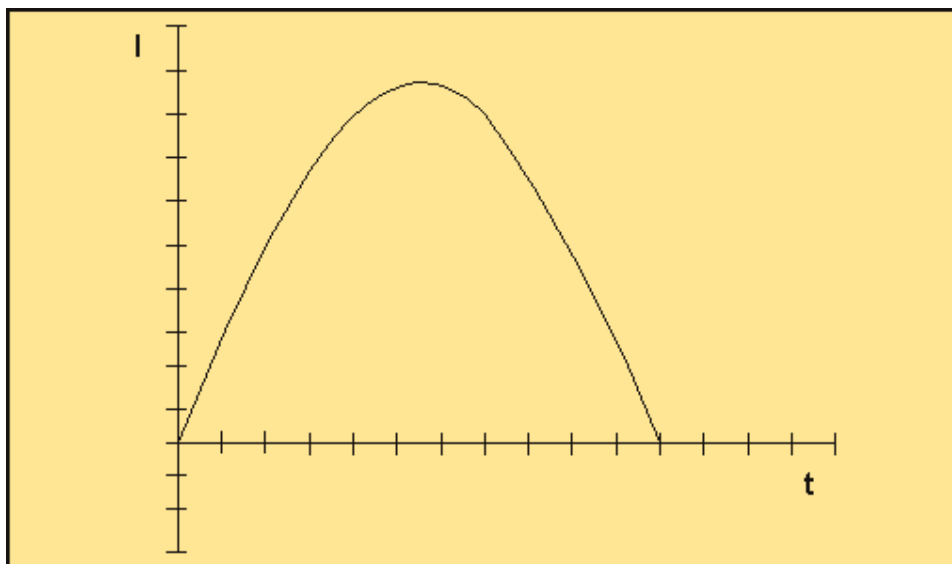


Fig. 12.8 - Integrale di Joule $\int_0^t I^2 dt$ (energia specifica passante) calcola l'area sottesa dalla curva rappresentante la corrente di guasto rispetto all'asse dei tempi.

12.6.2 Corto circuito ad inizio linea (I_{CCmax})

Il dispositivo deve interrompere la corrente di corto circuito prima che possano essere danneggiati, a causa degli effetti termici dovuti all'energia passante e a quelli meccanici dovuti alle sollecitazioni di origine elettrodinamica, i conduttori e le connessioni. Deve essere installato all'inizio della condotta protetta con una tolleranza di 3 m dal punto di origine se non vi è pericolo d'incendio e se si prendono le normali precauzioni atte a ridurre al minimo il rischio di corto circuito. Deve essere scelto con una corrente nominale tale da evitare che il dispositivo possa intervenire per correnti inferiori o

uguali a quella d'impiego (deve essere: $I_n \geq I_B$ dove I_n è la corrente nominale o di regolazione dell'interruttore. Questa condizione è imposta anche per la protezione da sovraccarico). Il suo potere d'interruzione non deve essere

inferiore al valore efficace della componente simmetrica della corrente presunta di corto circuito nel punto d'installazione. L'intervento deve essere abbastanza rapido da impedire che il cavo possa assumere temperature superiori al limite ammissibile limitando quindi l'energia termica passante a valori sopportabili dal conduttore. Deve essere quindi verificata la condizione :

$$I^2 \Delta t \leq K^2 S^2 \quad (12.11) \quad (\text{Energia specifica passante})$$

dove:

$I^2 \Delta t$, espressa in A²s, è l'energia specifica (per unità di resistenza) lasciata passare dall'interruttore;

K è una costante caratteristica dei cavi che dipende sia dal materiale del conduttore sia dal tipo di isolante (tab. 12.8);

S è la sezione del cavo in mm².

Il valore di $I^2 \Delta t$ deve essere fornito dal costruttore che normalmente mette a disposizione curve caratteristiche per ogni apparecchio. Nel caso di interruttori con intervento ritardato il valore di $I^2 \Delta t$ deve essere calcolato come prodotto del quadrato del valore efficace della corrente di cortocircuito per il tempo totale di apertura.

Costante K		conduttore	
		rame	alluminio
Isolante	PVC	115	74
	G2	135	87
	EPR/XLPE	143	87

Tab. 12.8

I valori K sono stabiliti dalle Norme e sono validi per corto circuiti di durata non superiore a $\Delta t = 5s$, entro i quali si assume che il riscaldamento dei conduttori avvenga in modo adiabatico, cioè senza trasmissione di calore all'isolante ed alle parti circostanti. La verifica consiste nel confrontare le curve caratteristiche dell'energia passante del dispositivo, in funzione della corrente presunta di corto circuito, con l'energia specifica passante (K²S²) tollerabile dal conduttore.

12.6.3 Corto circuito in fondo alla linea (I_{ccm})

L'intervento delle protezioni deve in alcuni casi essere verificato anche in fondo alla linea dove la corrente di corto circuito I_{ccm} potrebbe essere di valore modesto (anche se la presenza di una protezione termica è in genere considerata sufficiente a garantire la protezione contro il corto circuito in fondo alla linea) tale da non permettere l'intervento della protezione magnetica in tempo utile. Il calcolo si può effettuare come segue:

$$I_{ccm} = \frac{0,8 \times U \times S_F}{1,5 \rho \times 2 \times L} \times k_x \times k_p \quad ; \text{conduttore di neutro non distribuito}$$

$$I_{ccm} = \frac{0,8 \times U_0 \times S_F}{1,5 \rho \times (1 + m) \times L} \times k_x \times k_p \quad ; \text{conduttore di neutro distribuito}$$

dove:

U (V) è la tensione concatenata di alimentazione;

ρ (W*mm²/m) è la resistività a 20° C del materiale del conduttore (0,018 per il rame, 0,027 per l'alluminio);

L (m) è la lunghezza della conduttura da proteggere;

S_F (mm²) è la sezione del conduttore di fase;

I_{ccm} è la corrente di corto circuito in fondo alla linea;

U_0 (V) è la tensione di fase di alimentazione;

m è il rapporto tra la sezione del conduttore di fase e la sezione del conduttore di neutro.

Nelle formule si utilizza un coefficiente (0,8) che tiene conto della riduzione della tensione di alimentazione che si ha a causa della corrente di corto circuito e un coefficiente (1,5) che tiene conto dell'aumento della resistenza dei conduttori dovuto al loro riscaldamento.

Fattore K_x (reattanza dei cavi)					
Sez. cavo (mm ²)	120	150	185	240	300
K_x	0,9	0,85	0,80	0,75	0,72
Fattore K_p (cavi in parallelo)					
n° cavi in parall.o	1	2	3	4	5
K_p	1	2	2,65	3	3,2

Tab. 12.9 – Fattori di correzione

I fattori K_x e K_p sono da utilizzarsi rispettivamente in presenza di cavi di sezione superiore a 95 mm², per tenere conto della loro reattanza, e nel caso di diversi conduttori in parallelo.

12.6.4 Condizioni generali di protezione

A seconda che la protezione avvenga tramite interruttore automatico oppure fusibile occorre fare alcune distinzioni.

- **Fusibili**

Sono dispositivi limitatori e come tali l'energia specifica passante decresce all'aumentare della corrente di corto circuito simmetrica. Per tutte le correnti superiori a I_{CCm} (corrente di corto circuito minima in fondo alla linea) l'integrale di Joule è verificato, mentre, per tutti i valori inferiori a I_{CCm} l'energia passante attraverso il fusibile diventa eccessiva per la protezione del cavo (se si installa il fusibile all'inizio della linea e supponendo una linea che si estenda all'infinito si ha che a causa dell'impedenza caratteristica del cavo, la corrente di corto circuito, allontanandosi dal punto d'installazione, tende a diminuire). Per la verifica si impiegano i grafici, forniti dal costruttore, indicanti il valore dell' I^2t del fusibile, sui quali si traccia la caratteristica K^2S^2 del cavo (fig. 12.9). Se quest'ultima cade completamente al di sopra della caratteristica del fusibile, il cavo è protetto per ogni valore di corrente di corto circuito. Viceversa, se le due curve si intersecano, il punto di intersezione individua il valore di corrente I_1 . Il cavo è protetto se il valore di I_1 è inferiore a quello relativo alla minima corrente di corto circuito

presunta ($I_1 \leq I_{CCm}$). Se il valore di I_1 non soddisfa tale relazione si rende necessario aumentare la sezione del cavo o, ove possibile, scegliere un fusibile con I_n più bassa. In conclusione se si impiega un fusibile è sufficiente verificare la (12.11) solo in fondo alla linea perché in tal caso è sicuramente verificata in un qualsiasi altro punto della linea.

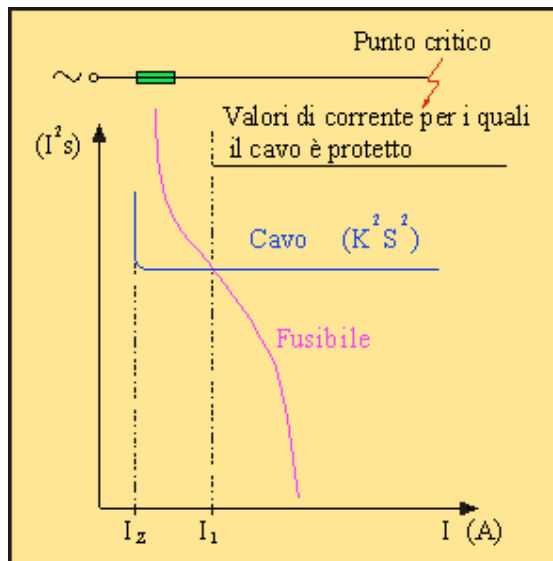


Fig. 12.9 - Confronto tra l'energia specifica passante attraverso un fusibile e quella sopportabile da un cavo in condizioni adiabatiche

- **Interruttore automatico magnetotermico**

L'energia specifica passante diminuisce in corrispondenza dell'intervento del relè magnetico ; successivamente aumenta perché il tempo d'intervento rimane pressoché costante all'aumentare della corrente. Confrontando la curva dell'energia specifica passante sopportabile dal cavo con la curva dell'energia specifica lasciata passare dal dispositivo (fig. 12.10) risulta che la 12.11 è soddisfatta per tutti i valori compresi tra le correnti I_{ccm} (corrente di corto circuito minima presunta in fondo alla linea) e I_{ccM} (corrente di corto circuito massima presunta all'inizio della linea). Sul grafico dell' I^2t si traccia la curva corrispondente al valore K^2S^2 del cavo. Se la caratteristica del cavo è completamente al di sopra di quella dell'interruttore, il cavo è protetto, altrimenti si

individuano i valori I_1 e I_2 . La protezione è assicurata se risultano verificate le seguenti relazioni: $I_2 \geq I_{ccM}$ e

$I_1 \leq I_{ccm}$. Tale verifica non è solitamente necessaria se l'interruttore automatico che protegge il circuito è in

grado di proteggere la linea anche dai sovraccarichi ($I_B \leq I_n \leq I_Z$). In questo caso non si deve più parlare di lunghezza limite della linea in quanto qualsiasi valore di corrente, anche molto basso, che si stabilisse all'estremità della linea è percepito come un sovraccarico dall'interruttore automatico che come tale interrompe il circuito nei tempi necessari per proteggere il conduttore. Di lunghezza limite si parlerà solo per alcuni particolari tipi di circuiti che devono essere realizzati senza protezione termica o con protezione termica sovradimensionata.

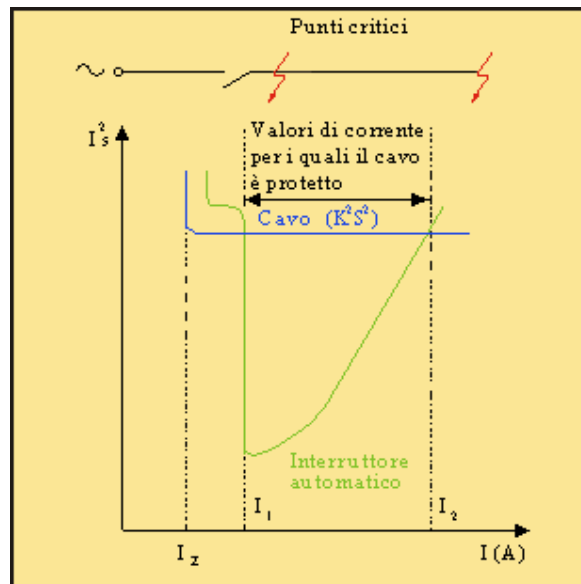


Fig. 12.10 - Confronto tra l'energia specifica passante attraverso un interruttore automatico e quella sopportabile da un cavo in condizioni adiabatiche.

- **Interruttore magnetico combinato con fusibile**

In questo caso il dispositivo di protezione contro i sovraccarichi deve rispondere alla 12.9 e alla 12.10 (condizioni per la protezione dai sovraccarichi) e alle condizioni specificate nel paragrafo relativo alle "condizioni generali di protezione". In ogni caso le caratteristiche dei due dispositivi devono essere coordinate in modo che l'energia I^2t che il dispositivo di protezione contro i corto circuiti lascia passare non danneggi il dispositivo di protezione contro i sovraccarichi. Ne consegue che il dispositivo di protezione contro i corto circuiti deve essere installato sempre a monte del dispositivo di protezione contro i sovraccarichi.

12.7 Casi nei quali è obbligatoria la protezione dal sovraccarico

- ☐ Conduttura principale che alimenta utilizzatori derivati funzionanti con coefficiente di contemporaneità inferiore a uno (il coefficiente di contemporaneità è il rapporto tra la potenza degli utilizzatori che funzionano contemporaneamente e quella di tutti gli utilizzatori alimentati dalla stessa conduttura).
- ☐ Conduttura che alimenta motori ed utilizzatori che durante il funzionamento possono dar luogo a sovraccarichi .
- ☐ Conduttura che alimenta prese a spina.
- ☐ Conduttura che alimenta utilizzatori ubicati in luoghi soggetti a pericolo d'esplosione o d'incendio.
- ☐ Condutture di sistemi IT (i conduttori devono essere protetti dai sovraccarichi che si manifestano dopo il secondo guasto a terra).

12.8 Casi nei quali può essere omessa la protezione dal sovraccarico

- ☐ Condutture che sono derivate da una conduttura principale protetta contro i sovraccarichi con dispositivo idoneo e in grado di garantire la protezione anche delle condutture derivate.
- ☐ Condutture che alimentano utilizzatori termici.
- ☐ Condutture che alimentano apparecchi d'illuminazione
- ☐ Condutture che alimentano apparecchi con proprio dispositivo di protezione che garantisca anche la protezione della conduttura di alimentazione.

- ☐ Condotture che alimentano motori quando la corrente assorbita dalla linea a rotore bloccato non supera la portata della condotta stessa.
- ☐ Condotture che alimentano diverse derivazioni singolarmente protette contro i sovraccarichi, quando la somma delle correnti nominali dei dispositivi di protezione delle derivazioni non supera la portata della condotta principale.
- ☐ Condotture dei circuiti di telecomunicazione, segnalazione e simili.
- ☐ Condotture nelle quali per situazioni particolari o per la tipologia degli utilizzatori alimentati non si possono verificare sovraccarichi

12.9 Casi nei quali è vietata la protezione dal sovraccarico

- ☐ Condotture che alimentano elettromagneti di sollevamento.
- ☐ Condotture che alimentano impianti di sicurezza.
- ☐ Condotture che alimentano utilizzatori particolari la cui messa fuori servizio improvvisa può dar luogo a pericoli.

12.10 Dimensionamento e protezione del conduttore di neutro

Nei circuiti monofase, qualunque sia la sezione dei conduttori di fase, e nei circuiti trifase quando la sezione dei conduttori di fase è minore o uguale a 16 mm^2 se in rame o a 25 mm^2 se in alluminio, il conduttore di neutro (identificato con colore blu chiaro) deve avere la stessa sezione dei conduttori di fase (CEI 64-8 art. 524.2). Nei circuiti trifase con conduttori di rame con sezione superiore a 16 mm^2 se in rame o a 25 mm^2 se in alluminio il conduttore di neutro può avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase, con un minimo di 16 mm^2 o 25 mm^2 , se i carichi sono sostanzialmente equilibrati (tab. 12.10). Se i carichi non sono equilibrati o se i carichi alimentati producono correnti armoniche apprezzabili il neutro deve essere considerato come conduttore caricato e deve avere una sezione uguale o maggiore (in caso di correnti armoniche anche se i carichi sono equilibrati il neutro potrebbe essere caricato anche più dei conduttori di fase) rispetto a quella dei conduttori di fase (CEI 64-8 art. 524.3). In questo caso per dimensionare il conduttore di neutro bisogna determinare la portata I_0 ma le tabelle che danno la corrente I_0 sono relative a circuiti bipolari o tripolari. Per risalire alla portata di un circuito con quattro conduttori occorre considerare la corrente I_0 di un circuito bipolare e applicare il coefficiente di riduzione $k_2=0,8$ per un fascio costituito da due circuiti bipolari. Per quanto riguarda la protezione è necessario fare alcune considerazioni. Nei circuiti monofasi l'interruttore automatico può avere un solo polo protetto (per "polo" si intende la parte dell'interruttore che riguarda una sola via di corrente, elettricamente distinta, del circuito principale - un polo si dice protetto se dotato di sganciatore) che in questo caso deve essere inserito sul conduttore di fase (questo è valido anche per i circuiti bifase purché siano protetti anche da un interruttore differenziale) (CEI 64-8 art. 473.3.1). Nei sistemi trifase, quando il neutro ha sezione uguale a quella delle fasi oppure quando ha sezione inferiore ma il carico è sostanzialmente equilibrato (un carico si può ritenere sostanzialmente equilibrato quando la somma delle potenze assorbite dai carichi monofase è sicuramente minore rispetto alla potenza totale e quindi la corrente che percorre il neutro nelle condizioni di massimo squilibrio è minore della sua portata), il polo di neutro dell'interruttore quadripolare non è necessario che sia protetto (CEI 64-8 art. 473.3.2). Se la corrente di squilibrio può superare la portata del neutro si può utilizzare un conduttore di neutro con sezione uguale a quella delle fasi oppure un conduttore di neutro con sezione inferiore a quella delle fasi ma in questo caso occorre un interruttore quadripolare con lo sganciatore sul neutro di corrente inferiore a quella delle fasi (esistono in commercio interruttori magnetotermici di tipo industriale con relè di protezione sul quarto polo con correnti di taratura pari a $0,5 I_n$). La Norma in definitiva demanda la scelta della sezione del neutro al progettista il quale, volendo risparmiare sulla sezione del neutro, potrà, per linee di grandi dimensioni, scendere anche al di sotto del solito valore di $\frac{1}{2} S_F$ purché sia garantita la tenuta al corto circuito e la sezione del neutro sia dimensionata per sopportare il massimo carico previsto.

-	Sezione di fase S_F (mm^2)	Minima sezione del neutro (mm^2)
Cu	≤ 16	S_F
	> 16	16
Al	< 25	S_F
	> 25	25

Tab. 12.10 – Sezioni minime del neutro

12.11 Caduta di tensione

Una eccessiva caduta di tensione pregiudica il buon funzionamento delle apparecchiature perciò è necessario, nei vari punti dell'impianto, verificarne il valore. Le Norme CEI raccomandano di non superare, tra l'origine dell'impianto elettrico e ogni punto di utilizzo, il 4% della tensione nominale. In particolare negli impianti di forza motrice una caduta di tensione superiore al 4% può provocare malfunzionamenti per i seguenti motivi:

- i motori funzionano correttamente se la tensione nominale non supera $\pm 5\%$ della tensione nominale;
- essendo la corrente di avviamento dei motori piuttosto elevata ($5 + 7 I_n$ e oltre) al momento dell'avviamento la caduta di tensione potrebbe essere anche molto elevata con una riduzione, che potrebbe essere inaccettabile, della coppia di spunto (si consiglia, all'avviamento, di non superare la caduta di tensione del 10%);
- problemi di funzionamento per altre apparecchiature sensibili se alimentate dalla stessa linea che alimenta il motore.

Il valore della caduta di tensione può essere determinato con l'impiego di tabelle oppure mediante la seguente formula:

$$\Delta U = k \times I_B \times L \times (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (12.12)$$

In percentuale, infine si ha:

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_n} \times 100 \quad (12.13)$$

Dove:

I_B = corrente del cavo (A);

k = coefficiente che vale 2 per i circuiti monofasi/bifasi e $\sqrt{3}$ per i circuiti trifase;

L = lunghezza della linea (km);

R = resistenza di un chilometro di cavo (ohm/km);

X = reattanza di un chilometro di cavo (ohm/km)

U_n = tensione nominale dell'impianto;

$\cos \varphi$ = fattore di potenza del carico.