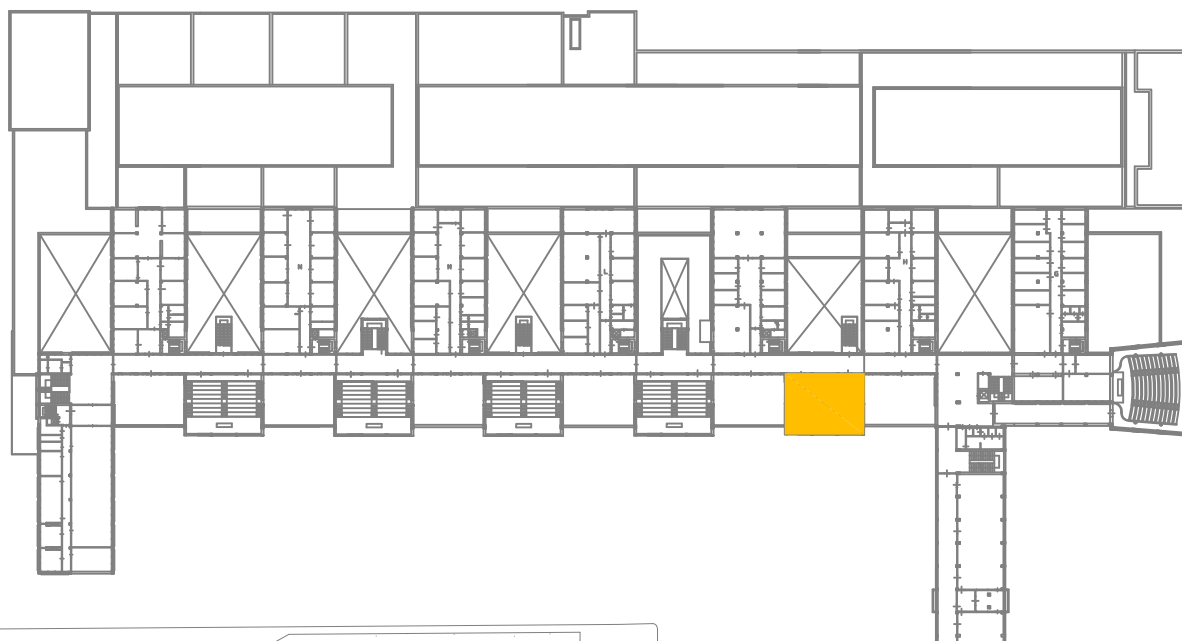




# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO



## LAVORI PER L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO E ADEGUAMENTO IMPIANTISTICO DELL'AULA F130 - EDIFICIO 8

PROGETTAZIONE:  
Area Tecnica

Progetto impianto di climatizzazione e opere edili:  
arch. Daniela Romano

Progetto impianto elettrico:  
ing. Giovanni Signorino

Coordinatore della sicurezza in fase di  
progettazione:  
arch. Rosalba Musumeci

Responsabile Unico del Procedimento:  
arch. Rosalba Musumeci

PROGETTO ESECUTIVO

ELETTRICO

E.02

Specifiche di calcolo elettrico

data Aprile 2020

scala

Il Dirigente dell'Area Tecnica  
(ing. Antonio Sorce)

Il Rettore  
(prof. Fabrizio Micari)

## **CRITERI DI CALCOLO APPLICATI ALLA PROGETTAZIONE**

Un impianto elettrico è il complesso di componenti elettrici, anche a tensione nominali diverse, destinato alla produzione, distribuzione e utilizzazione dell'energia elettrica.

Per definizione, secondo la norma 11-1 si tratta di: *"Impianto costituito dai circuiti di alimentazione degli apparecchi utilizzatori e delle prese a spina, comprese le relative apparecchiature di manovra, sezionamento, protezione, ecc. che non facciano parte di impianti di produzione, trasmissione, e distribuzione. Si considera come origine dell'impianto utilizzatore il punto di consegna dell'energia elettrica all'impianto stesso, in genere da una rete di distribuzione pubblica"*.

Con il termine sistema elettrico si intende invece una "parte di un impianto elettrico costituito dal complesso dei componenti elettrici aventi una determinata tensione nominale" (CEI 64-8). A seconda del loro modo di collegamento a terra i sistemi vengono classificati in TT, TN, IT.

**L'impianto elettrico oggetto dell'intervento considera conduttori di protezione e neutro sempre distinti tra loro e risulta alimentato in bassa tensione direttamente dalla rete pubblica di I Categoria, si configura pertanto un sistema TT.**

### **DIMENSIONAMENTO DELLE CONDUTTURE**

Una delle fasi più importanti nella progettazione di un impianto elettrico è la determinazione delle sezioni delle condutture. Se non si effettua un'attenta analisi della condizione in esame si può incorrere in errori di diverso tipo:

- sottodimensionamento della conduttura (sezione troppo piccola): come conseguenza comporta una riduzione di vita dei cavi oppure una caduta di tensione di valore troppo elevato;
- sovradimensionamento della conduttura (sezione troppo grande): in questo caso il cavo prescelto, pur permettendo un corretto funzionamento dell'impianto, richiede degli aggravii economici del tutto ingiustificati, abbinati a dei maggiori ingombri e a maggiori difficoltà di posa. I valori di corrente di corto circuito nelle linee derivate risultano inoltre più elevati con conseguente necessità di utilizzare apparecchi di protezione con poteri di interruzione superiori e perciò più costosi.

Al fine di scegliere la sezione ottimale dei conduttori in ciascun tratto di linea sono stati considerati i seguenti fattori: corrente d'impiego, massima caduta di tensione ammissibile, tipo di posa, tipo di isolante e temperatura ambiente.

I valori di portata dei cavi sono stati ricavati dalle norme CEI-UNEL 35024/1 *"Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria"* e dalle specifiche tecniche relative ai conduttori utilizzati.

### **Calcolo della corrente d'impiego, potenze e $\cos\phi$**

Negli impianti utilizzatori le correnti assorbite sono molto variabili sia per le diverse condizioni di carico dei singoli utilizzatori che per la non simultaneità di funzionamento degli stessi.

Per un corretto dimensionamento delle conduttore e per realizzare il coordinamento degli stessi con gli apparecchi di manovra e protezione bisogna valutare la "corrente d'impiego" ( $I_b$ ) cioè la quantità di corrente che la linea è destinata a trasportare per soddisfare le necessità dei carichi.

La norma CEI 64-8 definisce la corrente  $I_b$  nel modo seguente: *“valore della corrente da prendere in considerazione per la determinazione delle caratteristiche degli elementi di un circuito. In regime permanente la corrente d'impiego è determinata dalla più grande potenza elettrica trasportata dal circuito in servizio ordinario tenendo conto dei fattori di utilizzazione e di contemporaneità. In regime variabile si considera la corrente termicamente equivalente, che in regime continuo porterebbe gli elementi del circuito alla stessa temperatura”*.

Il regime “permanente” si ha quando gli elementi che costituiscono il circuito hanno raggiunto una condizione di equilibrio termico. Il concetto di “permanente” fa dunque riferimento alla costante di tempo termica dei singoli elementi conduttori; tale costante, per i cavi, può variare indicativamente dal minuto alle ore, passando dalle sezioni minori alle maggiori.

Se invece la corrente di carico è variabile periodicamente si considera la corrente termica equivalente:

$$I_b = \sqrt{\frac{1}{T}} \int_0^T i^2 dt$$

dove l'intervallo di integrazione  $T$  deve essere stabilito in base ad una attenta analisi della corrente negli intervalli di tempo ove essa presenta i valori più alti. L'elemento discriminante per queste valutazioni è la minore costante di tempo termica fra quelle degli elementi costituenti il circuito; in generale si tratta delle condutture, ma non può escludersi che altri elementi risultino più critici a questo riguardo. Al fine di determinare la corrente d'impiego si applicano le formule di seguito indicate:

#### Linee terminali

$$I_b = \frac{K_u \cdot K_c \cdot P_c \cdot 1000}{c \cdot V_n \cdot \cos \varphi}$$

$K_u$ = Coefficiente di utilizzazione dei carichi:

$K_c$ = Coefficiente di contemporaneità dei carichi

$P_c$ = Potenza globale del carico

$\cos \varphi$ =Fattore di potenza del carico

$V_n$ = Tensione nominale (**concatenata** per carichi trifase e **di fase** per carichi monofasi)

$c = \sqrt{3}$ (trifase)

$c = 1$ (monofase)

#### Linee di distribuzione

Nel caso delle linee di distribuzione, il valore di corrente circolante in ciascuna fase e nel neutro viene calcolata come somma vettoriale delle correnti circolanti nelle linee derivate da quella in esame (da valle verso monte)

$$I_t = \sum [I_b]$$

### **Determinazione della sezione dei conduttori di fase**

Dopo aver calcolato la corrente d'impiego  $I_b$  è necessario determinare la sezione ottimale del cavo per consentire il transito di tale corrente.

Tale sezione dipende in stretta misura da tre differenti fenomeni fisici presenti nel conduttore:

- **effetto termico**, causato dal riscaldamento del cavo per effetto joule determinato dalla corrente che lo attraversa;
- **effetto resistivo**, che provoca una caduta di tensione nel conduttore in relazione alle caratteristiche geometriche del conduttore, alla sua natura chimica ed alla corrente che lo attraversa;
- **effetto meccanico**, causato dalle sollecitazioni a flessione e trazione durante la sua posa in opera.

Tali fenomeni vengono analizzati nei tre paragrafi successivi.

### **Scelta del conduttore in funzione della sua portata**

La relazione fondamentale da soddisfare per la scelta corretta della conduttanza dal punto di vista termico è:

$$I_b \leq I_z$$

dove  $I_z$  è la portata della conduttanza definita come: *“massimo valore della corrente che può fluire in una conduttanza, in regime permanente ed in determinate condizioni, senza che la temperatura superi un valore specificato”* (CEI 64-8).

Tale relazione nasce dalla considerazione che ciascun tipo di isolante è caratterizzato da una temperatura massima di esercizio che non può essere superata durante le normali condizioni di funzionamento, pena una riduzione di vita del conduttore.

Diventa perciò di fondamentale importanza lo studio dei legami esistenti tra la corrente che si stabilisce in un conduttore e la temperatura di regime che esso assume quando il sistema è in equilibrio termico. Quando il cavo viene attraversato da una generica ma costante corrente dopo una fase transitoria in cui parte del calore prodotto per effetto Joule nella resistenza del conduttore viene immagazzinato nel cavo con conseguente riscaldamento dello stesso, si ha una successiva condizione di regime termico nella quale la temperatura si mantiene costante e il calore prodotto viene interamente dissipato nell'ambiente.

Da tali considerazioni discende che, nota la temperatura massima ammissibile in regime permanente per un certo tipo di isolante, si determina quale sia la potenza massima dissipabile ( $RI^2$ ) e da questa il valore di corrente sopportabile dal cavo, cioè la sua portata.

Lo studio del fenomeno fisico sopra esposto risulta in realtà molto complesso poiché il valore della portata risulta influenzato, a parità di sezione e isolante, da altri fattori quali:

- a) tipo di posa del cavo (da cui dipende il valore di conduttanza termica che regola lo scambio di calore con l'ambiente); ad esempio un cavo in tubo o canale posato in cunicolo chiuso riesce a smaltire meno calore di quanto non faccia lo stesso cavo

se posato in tubo o canale interrato e perciò a parità di corrente si porterà a temperatura maggiore;

- b) temperatura ambiente (tanto più è elevata, tanto minore è lo scambio termico tra il conduttore e l'ambiente quindi minore deve essere la corrente che attraversa il conduttore);
- c) presenza di altri conduttori nelle vicinanze (se altri cavi percorsi da corrente sono posti vicini al conduttore in esame la temperatura di quest'ultimo ne è influenzata).

Data la complessità del calcolo la normativa CEI UNEL 35024/1, ha fornito delle apposite tabelle che tengono conto di tutti questi fattori e che permettono di ricavare la portata di un cavo noto il tipo di isolante e le sue "condizioni di posa".

### **Scelta del conduttore in funzione della caduta di tensione**

Per un corretto impiego degli utilizzatori è necessario che essi funzionino al valore di tensione nominale per il quale sono previsti. Per tale motivo si deve verificare che la caduta di tensione lungo la linea non assuma valori troppo elevati. I limiti di variazione della tensione sono diversi a seconda del tipo di impianto realizzato e della natura del carico alimentato. Per macchine sottoposte ad avviamenti che danno luogo ad elevate correnti di spunto, la caduta di tensione sull'utilizzatore deve essere mantenuta entro valori compatibili con il buon funzionamento della macchina anche durante l'avviamento.

Il valore di caduta di tensione in un generico conduttore viene ricavato attraverso la formula:

$\Delta V_f$  = Caduta di tensione della linea

$$\Delta V_f = I_b \cdot l \cdot [r \cdot \cos(\varphi_c) + x \cdot \sin(\varphi_c)] + \frac{l^2 \cdot (r^2 + x^2)}{2 \cdot V_f}$$

$V_f$  = Tensione di fase

$I_b$  = Corrente d'impiego della linea

$l$  = lunghezza della condotta

$r$  = resistenza specifica del conduttore

$x$  = reattanza specifica del conduttore

$\varphi_c$  = angolo di sfasamento tra  $V_f$  e  $I_b$

Nei sistemi trifase equilibrati il valore della caduta di tensione, rispetto al valore della tensione concatenata, si ottiene:

$$\Delta V_{tr} = \sqrt{3} \cdot \Delta V_f$$

Nei sistemi monofase la caduta di tensione totale si ottiene sommando la caduta di tensione nella fase con quella nel neutro. Poiché per questi sistemi i conduttori di fase e di neutro devono avere la stessa sezione è sufficiente moltiplicare per 2 il valore  $\Delta V_f$ .

Le formule sopra rappresentate forniscono il valore della caduta di tensione in Volt; per ottenere il valore percentuale si applicano le seguenti:

$$\Delta V_{tr}\% = \frac{\Delta V_{tr} \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot V_f}$$

per i sistemi trifase equilibrati

$$\Delta V_f \% = \frac{\Delta V_f \cdot 100}{V_f}$$

per i sistemi monofase.

### ***Dimensionamento meccanico della conduttura***

Il dimensionamento della sezione dei conduttori ai solo fini termici ed elettrici comporterebbe, per correnti d'impiego dell'ordine di pochi ampere, l'adozione di sezioni troppo esigue dal punto di vista della resistenza meccanica (durante l'installazione i cavi sono sottoposti a sforzi di flessione e trazione anche pesanti), si è quindi imposto come sezione minima dei conduttori, la sezione  $1.5\text{mm}^2$ .

### **CALCOLO DELLE CORRENTI DI CORTO CIRCUITO**

Il cortocircuito si verifica quando due punti di un circuito elettrico, fra i quali esiste una differenza di potenziale, vengono in contatto. Il cortocircuito è l'evento in grado di originare le maggiori sollecitazioni di tipo termico e dinamico e di conseguenza deve essere interrotto nel più breve tempo possibile.

Le sollecitazioni termiche dipendono dall'energia sviluppata dalla corrente di cortocircuito nell'elemento considerato e provocano, oltre ad una riduzione della vita dei materiali isolanti, vari fenomeni dannosi quali: il deterioramento dei materiali termoplastici, la fragilità dei materiali termoindurenti, etc.

Le sollecitazioni dinamiche dipendono prevalentemente dal valore di cresta della prima onda di corrente e in maniera minore dalle successive; esse sottopongono i conduttori a forze elettromagnetiche di repulsione e attrazione.

Per scegliere in modo appropriato le apparecchiature di protezione si deve determinare correttamente l'entità delle correnti di cortocircuito nei vari punti dell'impianto e nelle condizioni più sfavorevoli di guasto. Tale analisi va effettuata per le situazioni estreme, corrispondenti rispettivamente al calcolo della corrente di cortocircuito massima nel punto di origine di ogni conduttura e quella minima al suo termine.

La corrente di cortocircuito massima in un sistema trifase si ha per cortocircuito trifase nel punto di origine della conduttura; la sua conoscenza è indispensabile per stabilire il potere di interruzione del dispositivo di protezione. La corrente di corto circuito minima si ha per guasto fase-fase, fase-neutro o per guasto fase-terra nel punto della conduttura più lontano dall'origine; la sua conoscenza è richiesta per la verifica del corretto intervento delle protezioni in corrispondenza di tali valori di corrente.

A riguardo della corrente di corto circuito minima si rammenta che la norma CEI 64-8 si limita a considerare il caso di guasto franco, cioè con impedenza del guasto trascurabile: ciò è giustificato dall'esigenza normativa di considerare situazioni ben individuabili. Quando si verificano guasti non franchi (ad esempio che interessano parte degli avvolgimenti di macchine elettriche) la corrente di corto circuito può essere inferiore a quella precedentemente citata, ma non è possibile determinarne a priori il valore essendo sconosciuta l'impedenza di guasto.

La conduttura è comunque protetta contro tale tipo di guasto se è presente anche la protezione da sovraccarico.

L'andamento della corrente di corto circuito negli istanti immediatamente successivi al cortocircuito è costituito dalla sommatoria di due termini:

- una componente simmetrica ad andamento sinusoidale che rappresenta la condizione di funzionamento a regime;
- una componente unidirezionale transitoria il cui andamento dipende dal fattore di potenza del circuito e dall'istante in cui avviene il guasto.

Ai fini della protezione dai corto circuiti in bassa tensione non si deve tenere conto del valore di picco della corrente di cortocircuito (cioè dell'andamento transitorio) perché il potere di interruzione degli interruttori sono di norma basati sul valore della componente simmetrica.

### **Sistema TT**

La determinazione del valore della corrente di corto circuito in un punto qualunque del sistema TT tiene conto dell'impedenza complessiva della rete a monte del punto di consegna.

#### **Impedenza della rete a monte del punto di consegna**

Per la determinazione dell'impedenza totale della rete a monte del punto di consegna si devono acquisire preliminarmente i valori della corrente di cortocircuito trifase ( $I_{cctr}$ ), la corrente di cortocircuito monofase ( $I_{ccfn}$ ) e il fattore di sfasamento nel punto di consegna in caso di cortocircuito ( $\varphi_{cco}$ ) forniti dall'ente erogatore dell'energia elettrica. Da ciò si ottiene:

$$Z_{of} = \frac{V_{con}}{\sqrt{3} * I_{cct}}$$

$V_{con}$  = Tensione B.T. (400 V)

$I_{cct}$  = Corrente di cortocircuito trifase

$Z_{of}$  = Impedenza totale a monte del punto di consegna.

Dalla quale possono essere determinate le componenti attive e reattive:

$$R_{of} = Z_{of} * (\cos \varphi_{cco})$$

$$X_{of} = Z_{of} * (\sin \varphi_{cco})$$

Analogamente si procede per la determinazione dell'impedenza del neutro a monte del punto di consegna:

$$Z_{ofn} = \frac{V_{con}}{\sqrt{3} * I_{ccm}}$$

$V_{con}$  = Tensione B.T. (400 V)

$I_{ccm}$  = Corrente di cortocircuito monofase

$Z_{ofn}$  = Impedenza del neutro a monte del punto di consegna.

Dalla quale possono essere determinate le componenti attive e reattive:

$$R_{ofn} = Z_{ofn} * (\cos \varphi_{cco})$$

$$X_{ofn} = Z_{ofn} * (\sin \varphi_{cco})$$

#### **Impedenza della linea**

Il valore della resistenza e della reattanza dei cavi dipende sostanzialmente dalla loro sezione. Il valore totale dell'impedenza della linea ( $Z_{col}$ ), dal punto di consegna fino al

punto di guasto è quindi determinato dalla sommatoria vettoriale delle impedenze di tutti i singoli tratti di linea.

Il valore dell'impedenza totale da prendere in considerazione per la determinazione della corrente di cortocircuito in un dato punto di un sistema TT è quindi:

$$Z_{tot} = Z_{cof} + Z_{cofn} + Z_{col}$$

### **Impedenza della linea**

Il valore della resistenza e della reattanza dei cavi dipende sostanzialmente dalla loro sezione. Il valore totale dell'impedenza della linea, dal secondario del trasformatore fino al punto di guasto è quindi determinato dalla sommatoria vettoriale delle impedenze di tutti i singoli tratti di linea.

### **Calcolo delle correnti di cortocircuito**

I valori della corrente di cortocircuito trifase vengono ottenuti dal rapporto tra la tensione concatenata e la sommatoria di tutte le impedenze interposte tra il punto di guasto ed il punto di origine della linea:

$$I_{cct} = \frac{V_{con}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{tot})^2 + (X_{tot})^2}}$$

Per il calcolo della corrente minima di corto circuito presunta ci si può riferire alle formule semplificate (CEI 64) di seguito riportate:

$$I_{cc \min} = \frac{0.8 \cdot V_{con} \cdot S}{1.5 \rho \cdot 2l}$$

nel caso di neutro non distribuito, e

$$I_{cc \min} = \frac{0.8 \cdot V_f \cdot S}{1.5 \rho \cdot (1 + m) \cdot l}$$

nel caso di neutro distribuito.

$V_{con}$  = Tensione concatenata

$V_f$  = Tensione di fase

$\rho$  = resistività a 20°C del materiale dei conduttori (0.018 per il rame – 0.027 per l'alluminio)

$l$  = lunghezza del conduttore in metri

$S$  = Sezione del conduttore in mm<sup>2</sup>

$m$  = Rapporto tra sezione di fase e sezione di neutro

### **Contributo dei motori alla corrente di corto circuito**

I motori asincroni, nel loro esercizio normale, trasformano l'energia elettrica in energia meccanica disponibile all'asse dei loro rotore per l'azionamento di macchine di vario



tipo; durante il funzionamento i rotori dei motori e le macchine ad essi collegati accumulano una certa quantità di energia dipendente dal loro momento d'inerzia che è in grado di tenerli in movimento anche in caso di una momentanea mancanza di tensione.

Se si verifica un corto circuito in un punto qualunque del sistema elettrico di alimentazione dei motori, questo diventa per un certo tempo un generatore che trasforma l'energia cinetica accumulata in energia elettrica che alimenta esso stesso il corto circuito con la propria corrente di guasto: tale valore di corrente deve essere sommato a quella fornita dalla rete di alimentazione per calcolare il valore complessivo della corrente di corto circuito.

Nel caso di motori asincroni, che costituiscono la maggioranza dei motori elettrici in corrente alternata, lo smorzamento delle correnti rotoriche che sostengono il campo magnetico rotante durante il corto circuito è molto rapido e di conseguenza la corrente si esaurisce rapidamente (dopo alcune decine di millisecondi).

Il contributo alla corrente totale di guasto da parte dei motori presenti sull'impianto può incidere in modo sensibile particolarmente nel calcolo dei valori massimi della corrente di corto circuito, nella scelta dei poteri nominali degli apparecchi di protezione e nella valutazione dei massimi sforzi elettrodinamici che interessano i conduttori e i componenti dell'impianto interessati dalla corrente di guasto.

Il valore efficace della corrente di corto circuito massima dall'inizio del guasto per corto circuito ai morsetti di un motore ha un valore di circa 6-8 volte la sua corrente nominale; si considera a titolo cautelativo:  $I_{cc} = 8 I_n$ ,

Poiché le configurazioni delle reti elettriche rendono complesso il calcolo dei contributi dei singoli motori, si può procedere assimilando tutti i motori asincroni presenti ad un unico motore equivalente di potenza:

$$P_{eq} = K_c \cdot \sum_1^n (P_i)$$

$P_i$  = Potenza nominale dell'iesimo motore

$K_c$  = Coefficiente di contemporaneità dei motori

Il valore della corrente nominale di tale motore equivalente vale:

$$I_{neq} = \frac{P_{eq}}{\sqrt{3} \cdot V_{con} \cdot \cos \varphi}$$

Quindi per un cortocircuito ai morsetti del motore si può assumere:

$$I_{ccecq\max} = 8 \cdot I_{neq}$$

In tal modo in caso di guasto, il contributo del motore equivalente alla corrente di corto circuito è praticamente identico a  $I_{ccecq\max}$ ; nel caso di guasti lontani, la componente dovuta al motore si riduce notevolmente a causa dell'impedenza della linea.

## **SCELTA DEGLI APPARECCHI DI MANOVRA E PROTEZIONE**

La scelta del dispositivo di protezione, i quali rivestono un ruolo fondamentale ai fini della sicurezza delle persone e di componenti dell'impianto, costituisce un'altra fase fondamentale per la corretta progettazione di un impianto elettrico.

## **Protezione dai sovraccarichi**

Si è analizzato precedentemente come il criterio base per il dimensionamento di una conduttura sia correlato al legame esistente tra temperatura di esercizio del cavo e il decadimento nel tempo del materiale isolante; qualsiasi condizione di funzionamento che comporti un passaggio di corrente di valore superiore alla portata del cavo ( $I_z$ ) ha come conseguenza una sovratemperatura rispetto alla temperatura massima consentita in servizio permanente e quindi determina una riduzione della vita del cavo. Il problema della protezione dai sovraccarichi delle condutture è quindi, per gli impianti elettrici in bassa tensione, essenzialmente un problema termico. Si devono quindi limitare le correnti in modo tale che il cavo non raggiunga, per effetto Joule, temperature tanto elevate da compromettere l'integrità e la durata dell'isolante; il danno che l'isolante può subire non dipende ovviamente solo dalle temperature raggiunte ma anche e soprattutto dalla durata della sollecitazione termica.

Per corrente di sovraccarico di una conduttura si intende qualsiasi corrente che risponda ai due seguenti requisiti:

- percorre un circuito elettricamente sano;
- supera il valore della portata  $I_z$  della conduttura considerata.

La norma CEI 64-8 prescrive che *“devono essere previsti dispositivi di protezione per interrompere le correnti di sovraccarico dei conduttori del circuito prima che tali correnti possano provocare un riscaldamento nocivo all'isolamento, ai collegamenti, ai terminali o all'ambiente circostante le condutture”*.

Poiché la corrente di sovraccarico può essere originata da cause diverse è necessario distinguere in:

- corrente di sovraccarico di natura "funzionale" prevista nell'ambito dell'esercizio ordinario dell'impianto (ad esempio avviamento di motori);
- corrente di sovraccarico di natura "anomala" dovuta ad irregolari funzionamenti del sistema elettrico (variazioni nella tensione di alimentazione che perdurano nel tempo, inserimento contemporaneo di troppi carichi, motori con rotore bloccato, etc.)

Mentre la prima deve essere sopportata dalla conduttura senza provocare l'intervento delle protezioni, la seconda deve essere necessariamente interrotta se supera determinati valori di intensità e durata.

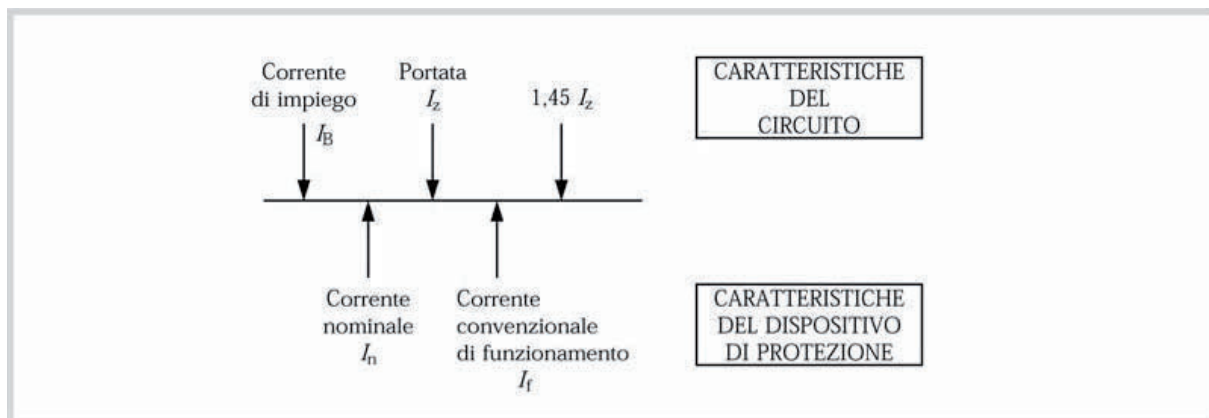
## **Scelta dei dispositivi di protezione**

Le due condizioni fondamentali da rispettare per una corretta scelta dei dispositivi di protezione dal sovraccarico sono (CEI 64-8):

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1.45 \cdot I_z$$

In tali relazioni compaiono, oltre alla corrente di impiego ( $I_b$ ) e alla portata della conduttura ( $I_z$ ), la corrente nominale ( $I_n$ ) e la corrente di intervento ( $I_f$ ) del dispositivo di protezione (corrente che assicura l'effettivo intervento del dispositivo di protezione entro il tempo convenzionale).



La prima relazione è formata da tre disequazioni:

- la portata della conduttura deve essere maggiore o quanto meno uguale alla corrente d'impiego;
- il dispositivo posto a protezione della linea deve avere una corrente nominale tale da lasciar passare permanentemente la corrente di normale funzionamento dei carichi;
- il dispositivo posto a protezione deve interrompere le eventuali correnti superiori alla portata del cavo.

E' importante osservare che il rapporto  $I_f/I_n$  per gli interruttori rispondenti alla norma CEI EN 60898 e alle norme CEI EN 60947 è sempre inferiore o uguale a 1.45. Ne consegue che per qualunque interruttore costruito secondo tali norme, risulta automaticamente soddisfatta la relazione:

$$I_f \leq 1.45 \cdot I_z$$

e pertanto ne deriva che la scelta dell'interruttore automatico può essere fatta considerando soltanto la prima relazione.

### **Protezione dai cortocircuiti**

Negli impianti elettrici *“devono essere previsti dispositivo di protezione per interrompere le correnti di corto circuito dei conduttori prima che tali correnti possano diventare pericolose a causa degli effetti termici e meccanici prodotti nei conduttori e nelle connessioni”* (CEI 64-8). Il cortocircuito va interrotto in tempi brevissimi, durante i quali sono ammesse delle temperature maggiori di quelle consentite nelle normali condizioni di esercizio (in caso di cortocircuito si ammette una temperatura massima di 160°C per cavi in PVC e di 250°C per cavi in EPR).

### **Scelta del dispositivo di protezione**

I dispositivi idonei alla protezione contro i corto circuiti devono rispondere alle seguenti condizioni (CEI 64-8):

- a) avere un potere di interruzione ( $P_i$ ) non inferiore alla corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione ( $I_{cc\ max}$ );
- b) 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 sia soddisfatta, per ogni valore possibile di corto circuito, la seguente relazione:

$$I^2 t \leq K^2 S^2$$

il termine ( $I^2 t$ ) è l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di interruzione (integrale di Joule) e corrisponde all'integrale rispetto al tempo del quadrato del valore istantaneo della corrente, valutato in un opportuno intervallo di tempo che si estende dall'istante in cui si stabilisce la sovracorrente sino alla sua interruzione.

$$(I^2 t) = \int_0^t i^2 dt$$

Per le considerazioni in oggetto, fissate determinate condizioni di funzionamento, ciò che interessa conoscere è la curva che fornisce i valori massimi di ( $I^2 t$ ) in funzione della corrente di cortocircuito presunta.

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, non è una grandezza fisicamente indicativa ma lo diventa quando è moltiplicata per la resistenza dell'elemento interessato, determinando così l'energia sviluppata dalla corrente di corto circuito.

Per i corto circuiti di durata compresa tra 0,1s e 5s il valore di ( $I^2 t$ ) si può ottenere assumendo per la  $I$  il valore efficace in ampere della corrente di cortocircuito e per  $t$  la durata in secondi del corto circuito stesso. Per durate molto brevi (<0,1 s) dove l'asimmetria della corrente è notevole, e per i dispositivo di protezione limitatori di corrente, il valore di ( $I^2 t$ ) lasciato passare viene indicato dal costruttore dei dispositivo di protezione.

Il termine  $K^2 S^2$  rappresenta il massimo valore di energia specifica che il cavo è in grado di sopportare, supponendo un funzionamento adiabatico. Tale valore, moltiplicato per la resistenza dei conduttore, determina il calore che, dissipato per effetto joule nel conduttore, porta il cavo alla massima temperatura ammissibile in caso di corto circuito (pari a 70°C per cavi con isolamento in PVC e a 90°C per cavi in EPR).

E' importante osservare che il termine  $K^2 S^2$  risulta essere indipendente dal tipo di posa del cavo in quanto, non avendo considerato lo scambio termico con l'ambiente (funzionamento adiabatico), è influente la conoscenza dei valore di conduttività termica tra conduttura e ambiente circostante.

La formula sopra riportata esprime chiaramente che se l'integrale di Joule lasciato passare dal dispositivo di protezione non supera il valore  $K^2 S^2$  ammesso dal conduttore

la protezione è assicurata in quanto la temperatura del cavo si mantiene inferiore al massimo valore ammissibile.

Il termine  $K^2 S^2$  risulta composto da due termini:

- $S$  sezione del conduttore [ $\text{mm}^2$ ];
- $K$  coefficiente che tiene conto del materiale conduttore e delle caratteristiche termiche dell'isolante.

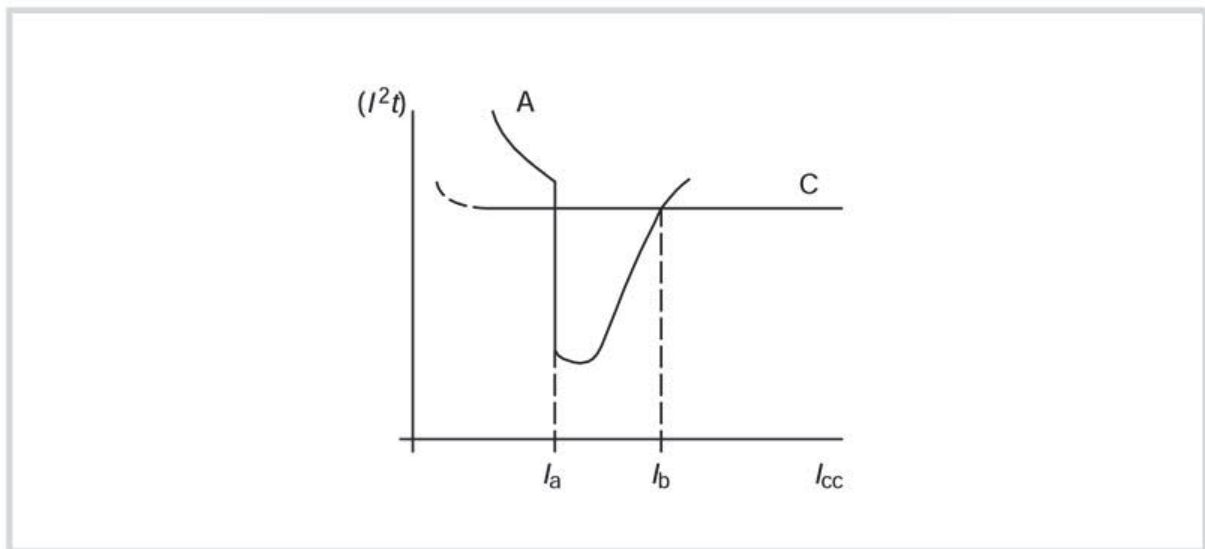
La Norma CE64-8 riporta i valori da assumere per il coefficiente  $K$  per i vari tipi di cavo che possono essere riassunti:

- 115 per i cavi in rame isolati in PVC;
- 143 per i cavi in rame isolati in EPR;
- 76 per i cavi in alluminio isolati in PVC;
- 94 per i cavi in alluminio isolati in EPR.

Se la protezione da corto circuito viene effettuata mediante interruttori con sola protezione magnetica, al fine di verificare la formula

$$I^2 t \leq K^2 S^2$$

si traccia sul diagramma ( $I^2 t$  -  $I_{cc}$ ) dell'interruttore la retta corrispondente al  $K^2 S^2$  del cavo; i due punti di intersezione individuano i punti  $I_a$  e  $I_b$ . Per correnti di corto circuito comprese tra questi due valori il cavo è protetto mentre per valori esterni non si ha protezione in quanto l'energia specifica che l'interruttore lascerebbe passare è superiore a quella sopportabile dal cavo.



Al fine di avere una protezione totale dai corto circuiti è perciò necessario che risulti:

$$I_{cc \min} \geq I_a$$

$$I_{cc \max} \leq I_b$$

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 condotta.

Nel caso di linea protetta solo da interruttore magnetico, una volta fissata la sezione dei cavi e il tipo di apparecchio posto a protezione, viene implicitamente imposto anche un vincolo alla lunghezza massima della linea da proteggere; infatti all'aumentare della lunghezza della conduttura necessariamente diminuiscono i valori di corto circuito per guasto in fondo la linea, quando tali valori raggiungono la non è possibile allungare ulteriormente il cavo previo un mancato intervento del relè magnetico.

Se invece la linea è protetta da un interruttore magnetotermico che pertanto garantisce la protezione anche nel caso di sovraccarico, è necessario effettuare solo la verifica della  $I_{ccmax} \leq I_b$  in quanto per qualsiasi corrente di cortocircuito 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.

Si osservi infine che la presenza di un dispositivo di protezione contro i sovraccarichi protegge la linea anche nel caso di corto circuito con impedenza di guasto non nulla e perciò con valori di corrente che possono non provocare l'intervento dei relè magnetico.

### ***Protezione dai contatti indiretti***

La protezione contro i contatti indiretti consiste nel prendere le misure intese a proteggere le persone contro i pericoli risultanti dal contatto con parti conduttrici che possono andare in tensione in caso di guasto dell'isolamento principale.

I metodi di protezione contro i contatti indiretti sono classificati come segue:

- a) protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione;
- b) protezione senza interruzione automatica del circuito (doppio isolamento, separazione elettrica, locali isolati, locali equipotenziali);
- c) alimentazione a bassissima tensione.

Negli impianti utilizzatori in bassa tensione (sistemi di I Ctg.) la protezione nei confronti dei contatti indiretti mediante interruzione automatica dell'alimentazione può essere realizzata tramite il coordinamento tra il dispositivo automatico d'interruzione e l'impianto dispersore intenzionale di terra. Ciò determina la facoltà di limitare la resistenza di terra ad opportuni valori, in dipendenza delle caratteristiche del dispositivo di protezione. In questo caso, l'efficacia dell'impianto di terra è indipendente dalla configurazione geometria del dispersore, purché sia sempre in grado di realizzare un valore di resistenza tale da provocare in caso di guasto l'intervento delle protezioni.

Ai fini del coordinamento, utilizzando dispositivi di protezione ad intervento differenziale, la resistenza di terra deve assumere valori che soddisfino la seguente relazione:

$$R_t \leq \frac{U_L}{I_d}$$

$R_t$  = Resistenza dell'impianto di terra o impedenza dell'anello di guasto

$U_L$  = Tensione di contatto limite convenzionale

$I_d$  = Massimo tra i valori delle correnti d'intervento differenziale caratterizzanti gli interruttori di protezione utilizzati nell'impianto

Nella norma CEI 68-8 come tensione di contatto limite convenzionale UL si considera il valore massimo a vuoto, che convenzionalmente si ritiene possa permanere per un tempo indefinito nelle condizioni ambientali specificate e alla tensione nominale di alimentazione, senza pericolo per le persone. Si assume UL= 50 V per i sistemi in c.a. e 120 V per i sistemi in c.c., ad eccezione di alcuni ambienti ed applicazioni particolari a maggior rischio per i quali il valore UL= 25 V.

### **Determinazione del valore presunto di terra**

Il dispersore intenzionale di terra previsto in progetto, da realizzarsi nel terreno vegetale dello spazio a verde a piano terra, sarà costituito da n.6 dispersori verticali del tipo picchetto a croce in acciaio zincato 50x50x5mm h=1.5mt, raccordati mediante dispersore orizzontale del tipo a corda di rame nudo da 35mmq interrato.

Considerando la resistività del terreno  $\rho=100 \Omega\text{m}$  (terreno vegetale secco) i valori di resistenza dei singoli elementi disperdenti sono:

#### **Resistenza del dispersore orizzontale:**

$R_{do} = 4,91\Omega$  per la nota formula

$$R_{do} = \frac{\rho}{\pi * L} * \ln \frac{2L}{d}$$

dove:

L è la lunghezza del conduttore

(pari a 64mt)

d è il diametro del conduttore

(pari a 6,68mm)

#### **Resistenza del dispersore a picchetto:**

$R_{dv} = 50,82\Omega$  per la nota formula

$$R_{dv} = \frac{\rho}{2\pi * L} * \ln \frac{4L}{d}$$

dove:

- L è la lunghezza del picchetto

(pari a 1.5mt)

- d è la dimensione trasversale del picchetto

(pari a 50mm)

Pertanto il valore complessivo presunto della resistenza di terra pari a:  $R_T = 3,11 \Omega$  realizzerà il coordinamento con la massima corrente d'intervento differenziale dell'interruttore generale dell'impianto pari a  $I_{d_{max}} = 3A$  in accordo con la nota formula:

$$R_{Tmax} \leq \frac{50}{I_{d_{max}}}$$

E' stato inoltre previsto, all'interno dell'aula, di realizzare il collegamento equipotenziale tra il nodo collettore di terra ed i dispersori di fatto consistenti nelle tubazioni metalliche degli impianti idrici e tecnologici mediante idonei conduttori g/v di sezione non inferiore a 6mmq.



## **SELETTIVITA E PROTEZIONE SERIE**

L'affidabilità e la continuità di servizio richiesta negli impianti elettrici comporta la necessità, in caso di guasto, di poter escludere dalla rete solo la linea o la parte di impianto interessata dal guasto senza contemporaneamente porre fuori servizio anche la rimanente parte elettricamente sana. In un impianto elettrico sono quasi sempre presenti più apparecchi di protezione posti in serie e perciò tutti i dispositivi a monte del punto di guasto risultano essere attraversati dall'eventuale corrente che ne deriva; ciò nonostante non è auspicabile che si abbia l'intervento del dispositivo più a monte con il conseguente fuori servizio di tutti i circuiti derivati compresi quelli in grado di funzionare senza problemi.

Da ciò deriva il concetto di selettività di un impianto elettrico con cui 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.

Il caso di due interruttori in serie tra loro è il più frequente nell'attuale tecnica impiantistica di bassa tensione, sia che i due interruttori si trovino nello stesso quadro (un interruttore come generale di quadro ed uno sulla partenza), sia che si trovino in quadri diversi (caso di impianti aventi più quadri di distribuzione in serie tra loro).

Per valutare il comportamento selettivo tra interruttori automatici magnetotermici è necessario considerare separatamente il funzionamento dello sganciatore termico da quello dello sganciatore magnetico; per tale motivo nei paragrafi seguenti si è distinto tra selettività per sovraccarico e per corto circuito.

### ***Selettività in caso di sovraccarico***

Lo sganciatore termico ha tempi propri di intervento variabili, in ragione inversa rispetto alla corrente; finché non è trascorso il tempo proprio di intervento dall'istante in cui è insorta la sovracorrente, lo sganciatore termico non subisce alcun effetto irreversibile (cioè si scalda ma se cessa la sovracorrente si raffredda tornando alla posizione iniziale).

Tenendo presente che gli sganciatori termici hanno tempi propri d'intervento molto maggiori del tempo di sgancio e del tempo di estinzione dell'arco, per sovracorrenti che interessano gli sganciatori termici di entrambi gli interruttori la selettività è certa se la zona d'intervento tempo-corrente dell'apparecchio a monte è completamente al di sopra della zona di intervento di quello a valle. Affinché ciò si verifichi è normalmente sufficiente che l'interruttore a monte abbia una corrente nominale almeno doppia di quella dell'interruttore a valle.

### ***Selettività in caso di corto circuito***

Nel caso di corto circuito la selettività si presenta senz'altro più problematico 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. Al fine di evitare tale problema si può operare nel modo seguente:

#### Selettività amperometrica

I valori delle correnti di intervento degli sganciatori magnetici sono in generale proporzionali alla corrente nominale degli interruttori: se due apparecchi hanno correnti nominali diverse i valori di corrente che provocano l'intervento della protezione magnetica assumono anch'essi dei valori tra loro differenti. In questo caso per valori di corrente di corto circuito relativamente modesti si ha selettività in quanto l'interruttore a monte interverrebbe per mezzo dello sganciatore termico e perciò con tempi molto più lunghi di quelli necessari all'interruttore a valle per aprire la linea.

Al fine di conseguire una selettività totale l'interruttore a monte deve avere una soglia di intervento magnetico superiore al massimo valore della corrente di corto circuito che può verificarsi nel tratto di condotta protetta dall'interruttore a valle.

#### Selettività cronometrica

Nei casi in cui la selettività amperometrica non può essere realizzata si può ricorrere alla selettività cronometrica. In tal caso si agisce sui tempi di intervento del relè magnetico degli apparecchi ritardando il comando di scatto dell'interruttore a monte, tramite un ritardo di tempo sufficiente a garantire che l'interruttore a valle apra il circuito prima che lo sganciatore a monte riceva il comando di apertura.

Sebbene con meccanismi molto semplici, sia possibile ottenere un buon comportamento selettivo degli interruttori, nella pratica, utilizzando la selettività cronometrica nascono delle difficoltà di ordine tecnico.

Se si indica con  $\Delta t$  il tempo di ritardo intenzionalmente introdotto, l'energia specifica passante propria di un interruttore subisce un incremento pari almeno a  $I_{cc}^2 \Delta t$ . Tale incremento, in funzione dei rispettivi valori, corrisponde a quantitativi di energia specifica passante che sono sopportabili solo da interruttori molto robusti e voluminosi e da linee di una certa sezione.

#### Selettività con interruttori limitatori

La selettività amperometrica è una diretta conseguenza dei valori delle correnti di corto circuito e di intervento dei relè magnetici mentre la selettività cronometrica è esternamente imposta attraverso un opportuno ritardo di tempo nello sgancio del relè a monte; si deve però aggiungere che nel caso di cortocircuito con corrente tale da agire attivamente su entrambi gli sganciatori elettromagnetici dei due interruttori collegati in serie, si può verificare che a causa dei diversi valori di corrente nominale dei due apparecchi, 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; in questo caso si ha pertanto un comportamento selettivo del sistema di protezione, determinato dalle caratteristiche dinamiche degli sganciatori.

Un ulteriore miglioramento si ha con l'ausilio della limitazione di corrente e più precisamente con l'utilizzo a valle di interruttori limitatori, in quanto è possibile garantire

la selettività con l'interruttore a monte, non limitatore, anche per elevate correnti di corto circuito. In questo caso il valore di corrente per cui è garantita la selettività può essere molto più elevato del valore di intervento del relè magnetico dell'interruttore a monte che corrisponderebbe anche al valore limite di selettività nel caso in cui l'interruttore a valle non fosse del tipo limitatore.

Ciò può dipendere fondamentalmente dai tre seguenti motivi:

- il potere limitatore dell'apparecchio a valle limita drasticamente il valore di picco della corrente presunta di corto circuito sicché la soglia di sgancio dell'apparecchio a monte non viene superata;
- l'energia lasciata passare dall'interruttore a valle non ha un valore sufficiente ad energizzare lo sganciatore magnetico dell'apparecchio a monte in modo che possa essere completata la corsa di sgancio;
- l'energia specifica passante è quantitativamente sufficiente ma l'effetto limitatore "arrotonda" l'impulso rendendolo non idoneo a vincere la reazione meccanica generata dal movimento di sgancio (attrito).

### ***Tabelle di selettività***

E' facilmente comprensibile per le ragioni sopra esposte, come lo studio separato di due dispositivi al fine di determinare la loro selettività non è possibile; i valori limite di selettività possono essere determinati solo attraverso una serie di prove dirette tra le diverse coppie di interruttori. Per tale motivo i costruttori forniscono una serie di tabelle nelle quali riportano per le varie coppie di interruttori il limite di selettività (ovverosia il valore di corrente di corto circuito oltre il quale entrambi gli interruttori possono intervenire).

### ***Protezione di back-up***

La protezione di back-up (o serie) viene definita dalla norma CEI 64-8 dove si afferma che i dispositivi di protezione contro i cortocircuiti devono avere un potere di interruzione non inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione, ma *"è tuttavia ammesso l'utilizzo di un dispositivo di protezione con potere di interruzione inferiore se a monte è installato un altro dispositivo avente il necessario potere di interruzione. In questo caso le caratteristiche dei due dispositivi devono essere coordinate in modo che l'energia che essi lasciano passare non superi quella che può essere sopportata senza danno dal dispositivo situato a valle e dalle condutture protette da questi dispositivi"*.

La protezione di back-up offre quindi la possibilità di installare a valle interruttori con prestazioni inferiori a quelle normalmente richieste, con conseguente riduzione dei costi; un interruttore perciò può diventare idoneo ad interrompere correnti di corto circuito superiori al suo potere d'interruzione nominale se a monte è installato un altro apparecchio di protezione che apre contemporaneamente il circuito. Infatti l'apertura in serie di due contatti favorisce lo spegnimento dell'arco e riduce sensibilmente l'energia specifica passante.

La protezione di back-up, oltre a derivare dalle caratteristiche tecniche dei singoli dispositivi di protezione, dipende anche dall'azione interattiva reciproca tra i due apparecchi collegati in serie; di conseguenza la prestazione serie di due dispositivi può essere determinata solamente effettuando delle prove di corto circuito sulla

combinazione e non attraverso i singoli dati di targa dei due apparecchi distinti. Le combinazioni possibili e relativi poteri di interruzione devono essere fornite dai costruttori e vengono normalmente esposte tramite apposite tabelle.

## **DIMENSIONAMENTO DEL CONDUTTORE DI PROTEZIONE E DI NEUTRO**

Il dimensionamento dei conduttori di protezione e di neutro può comportare, in determinate condizioni e dopo opportune verifiche, l'impiego di sezioni di valore inferiore a quella dei rispettivi conduttori di fase. Di seguito vengono esaminati quali sono i metodi proposti dalla norma CEI 64-8 .

### ***Conduttore di protezione – determinazione della sezione***

La norma CEI 64-8 riporta due metodi per il dimensionamento dei conduttore di protezione (PE):

- a) la sezione dei conduttore di protezione ( $S_p$ ) non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 t}}{K}$$

Tenendo presente che le sezioni dei cavi aumentano per valori discreti si può considerare:

$$(I^2 t) \leq K^2 \cdot S^2$$

che in definitiva è la stessa formula utilizzata per garantire la protezione dei conduttori dai corto circuiti; la sezione dei PE viene determinata in modo da garantire il non superamento durante il guasto della temperatura ammessa in caso di corto circuito.

Il termine ( $I^2 t$ ) rappresenta come già detto l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione ed il coefficiente  $K$  tiene conto del tipo di isolante, del materiale conduttore, delle temperature iniziali e finali in caso di guasto.

- b) la sezione dei conduttori di protezione può essere determinata facendo riferimento alla seguente tabella, in questo caso non è necessaria la verifica attraverso l'applicazione della formula.

<b>Sezione conduttore di fase</b>	<b>Sezione minima del conduttore di protezione</b>
$S_f \leq 16$	$S_p = S_f$
$16 < S_f \leq 35$	$S_p = 16$
$S_f > 35$	$S_p = S_f / 2$

### Linea protetta da interruttore magnetotermico

Al fine di dimensionare il conduttore di protezione è necessario che siano verificati i seguenti requisiti:

- a) esso sia protetto in caso di corto circuiti fase-PE dall'interruttore magnetotermico posto a protezione dei conduttori di fase.  
(Poiché la sezione dei PE può avere un valore inferiore a quello delle fasi, il relè termico dell'interruttore non è generalmente in grado di assicurare la protezione dai sovraccarichi per il conduttore di protezione. Per tale motivo al fine di garantire la protezione dai corto circuiti è necessario controllare il corretto intervento delle protezioni sia all'inizio che alla fine della linea.)
- b) sia assicurata la protezione dai contatti indiretti;

### Linea protetta da interruttore magnetotermico differenziale

In questo caso la protezione dai contatti indiretti è sempre assicurata dal differenziale. Nella determinazione della sezione minima protetta dai cortocircuiti non è più necessario, come invece avveniva nel caso di interruttore solo magnetotermico, la verifica dell'intervento del relè magnetico per guasto fase-PE in fondo alla linea in quanto per valori di corrente anche estremamente bassi interviene comunque il differenziale.

### ***Conduttore di neutro – determinazione della sezione***

La norma CEI 64-8 riporta i criteri da adottare per il dimensionamento del neutro. L'eventuale conduttore di neutro deve avere la stessa sezione dei conduttori di fase:

- nei circuiti monofase a due fili , qualunque sia la sezione dei conduttori;
- nei circuiti trifase quando la dimensione dei conduttori di fase sia inferiore od uguale a 16 mmq se in rame od a 25 mmq se in alluminio.

Nei circuiti trifase i cui conduttori di fase abbiano una sezione superiore a 16 mmq se in rame od a 25 mmq se in alluminio il conduttore di neutro può avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte contemporaneamente le seguenti condizioni:

- la corrente massima, comprese le eventuali armoniche, che si prevede possa percorrere il conduttore di neutro durante il servizio ordinario, non sia superiore alla corrente ammissibile corrispondente alla sezione ridotta del conduttore di neutro (la corrente che fluisce nel circuito nelle condizioni di servizio ordinario deve essere praticamente equilibrata tra le fasi);
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16 mmq se in rame e 25mmq se in alluminio.

Nella norma CEI 64-8 vengono riportate le seguenti prescrizioni per la protezione del conduttore di neutro:

- a) quando la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale od equivalente a quella dei conduttori di fase, non è necessario prevedere la rilevazione delle

sovracorrenti sul conduttore di neutro ne un dispositivo di interruzione sullo stesso conduttore;

- b) quando la sezione dei conduttore di neutro sia inferiore a quella dei conduttori di fase, è necessario prevedere la rilevazione delle sovracorrenti sul conduttore di neutro, adatta alla sezione di questo conduttore; questa rilevazione deve provocare l'interruzione dei conduttori di fase, ma non necessariamente quella dei conduttore di neutro.
- c) non è necessario tuttavia prevedere la rilevazione delle sovracorrenti sul conduttore di neutro se sono soddisfatte contemporaneamente le due seguenti condizioni:
  - il conduttore di neutro è protetto contro i cortocircuiti dal dispositivo di protezione dei conduttori di fase del circuito;
  - la massima corrente che può attraversare il conduttore di neutro in servizio ordinario è chiaramente inferiore alla portata di questo conduttore.

Nei sistemi trifasi equilibrati per poter ridurre la sezione dei conduttore di neutro rispetto a quella dei conduttori di fase è quindi necessario che sia garantita la sua protezione dai corto circuiti.

## CALCOLO ILLUMINOTECNICO

La determinazione di massima del numero dei corpi illuminanti necessari per ottenere i livelli di illuminamento medio raccomandati dalle vigenti norme sia in condizioni ordinarie (500lux medi) che in emergenza (5lux vie di esodo), è stata effettuata con la relazione:

$$n = E * S / (\eta * m * \phi * n_1)$$

dove

E= illuminamento medio (lux)

S = superficie del locale in m<sup>2</sup>

$\phi$  = flusso luminoso emesso da una lampada [lm]

$n_1$  = numero di lampade per corpo illuminante

m = coefficiente di manutenzione

$\eta$  = coefficiente di utilizzazione

Il coefficiente di manutenzione è stato assunto in via cautelativa pari a 0,85 per tenere conto del decadimento nel tempo dell'efficienza dell'impianto di illuminazione in relazione all'invecchiamento dei corpi illuminanti, all'insudiciamento del diffusore ed alla diminuzione della riflessione delle pareti. Il coefficiente di utilizzazione è stato ricavato dalle tabelle fornite dai costruttori degli apparecchi di illuminazione in relazione al tipo di illuminazione, ai fattori di riflessione e all'indice del locale. L'indice del locale è stato calcolato con la relazione:

$$K = a * b / (a+b) * h$$

dove

a = lunghezza del locale

b = larghezza del locale

h = altezza media utile determinata per differenza tra le altezze medie del locale e del piano di lavoro

La verifica che i citati valori di illuminamento siano conformi alle indicazioni della norma UNI EN 12464-1 è stata condotta mediante software illuminotecnico (metodo di calcolo punto-punto) DLux. Detta verifica è contenuta nell'elaborato "Calcoli Illuminotecnici".