



## SERVIZIO ADEGUAMENTO NORMATIVO

**REALIZZAZIONE NUOVO LOCALE TECNICO INTERRATO TRA GLI EDIFICI 4 E 4A  
DEL CAMPUS LEONARDO DEL POLITECNICO DI MILANO  
PIAZZA LEONARDO DA VINCI, 32 – 20133 MILANO**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>I</b>	<b>E</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>RELAZIONE TECNICA</b>
<b>Emissione</b>						27 luglio 2010
<b>Revisione 1</b>						
<b>Revisione 2</b>						
<b>Redatto</b>						<b>Verificato</b>
F.I.						G.N.

## INDICE

<b>1. OGGETTO DELL'APPALTO .....</b>	<b>2</b>
<b>2. RISPONDENZA A DISPOSIZIONI DI LEGGE E DI NORMA.....</b>	<b>2</b>
<b>3. DESTINAZIONE D'USO DEI LOCALI.....</b>	<b>3</b>
<b>4. FONTI DI ALIMENTAZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA .....</b>	<b>3</b>
<b>5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>3</b>
<b>6. RELAZIONE SUI CALCOLI ESEGUITI .....</b>	<b>4</b>
6.1. Calcolo delle correnti di impiego .....	4
6.2. Dimensionamento dei cavi.....	5
6.3. Integrale di Joule.....	6
6.4. Dimensionamento dei conduttori di neutro.....	7
6.5. Dimensionamento dei conduttori di protezione .....	8
6.6. Cadute di tensione .....	8
6.7. Calcolo dei guasti .....	9
6.8. Calcolo delle correnti massime di cortocircuito.....	9
6.9. Calcolo delle correnti minime di cortocircuito.....	12
6.10. Scelta delle protezioni.....	13
6.11. Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture .....	13
6.12. Riferimenti normativi.....	14

## **1. OGGETTO DELL'APPALTO**

La presente relazione tecnica, riferita al progetto preliminare, pone gli indirizzi per l'esecuzione degli impianti f.m. di servizio e di illuminazione del nuovo locale tecnico da realizzarsi tra gli edifici 4 e 4A del Campus Leonardo del Politecnico di Milano.

## **2. RISPONDENZA A DISPOSIZIONI DI LEGGE E DI NORMA**

Si citano i principali riferimenti di legge e normativi.

“Attuazione dell'articolo 1 della legge n. 123 del 2007, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”, d.lgs. 9 aprile 2008, n. 81.

“Regolamento recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici” Decreto 22 gennaio 2008, n. 37.

“Misure in tema di tutela della salute e della sicurezza sul lavoro e delega al Governo per il riassetto e la riforma della normativa in materia”, legge 3 agosto 2007, n. 123 e s.m.i.

“Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE”, d.lgs. 12 aprile 2006, n. 163, e successive modificazioni e integrazioni.

“Capitolato Generale d'appalto dei lavori pubblici” Decreto 19 aprile 2000, n. 145.

“Regolamento recante disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi, a norma dell'articolo 20, comma 8, della legge 15 marzo 1997, n. 59” d.p.r. 12 gennaio 1998, n. 37, e s.m.i.

“Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109” D.P.R. 21 dicembre 1999, n. 554 e s.m.i.

“Attuazione della direttiva del Consiglio delle Comunità Europee (n° 73/23 CEE) relativa alle garanzie di sicurezza che deve possedere il materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro alcuni limiti di tensione”, legge 18/19/1977 n. 791 e s.m.i.

“Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici” Legge 1 marzo 1968, n. 186.

CEI 0-2 - Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici.

CEI 11-17 – Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica. Linee in cavo.

CEI 64-8 Parte 1, Parte 2, Parte 3, Parte 4, Parte 5, Parte 6, Parte 7 - Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1 000 V in corrente alternata e a 1 500 V in corrente continua

CEI 64-12 - Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario.

CEI 64-50 - Edilizia ad uso residenziale e terziario. Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione di impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici. Criteri generali.

CEI 64-52 - Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione di impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici. Criteri particolari per edifici scolastici.

CEI EN 60617/IEC 617 «Segni grafici per schemi».

### **3. DESTINAZIONE D'USO DEI LOCALI**

La destinazione d'uso finale del locale oggetto dell'intervento sarà quella di locale tecnico destinato agli impianti elettrici e di condizionamento.

### **4. FONTI DI ALIMENTAZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA**

L'alimentazione elettrica dell'impianto di illuminazione sarà derivata dal quadro .

Fonte: Quadro dell'edificio 4;

Tensione nominale: 400 V/ 230 V 3F+N;

Frequenza: 50 Hz;

Classificazione del sistema in relazione alla tensione nominale: I categoria;

Fattore di potenza (cos  $\phi$ ): 0,9;

Sistema di distribuzione: TN-S;

Corrente di corto circuito presunta:  $\leq 10$  kA.

### **5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI**

Si prevede la realizzazione completa degli impianti f.m. di servizio e di illuminazione normale e di emergenza a servizio del locale. A tal fine sarà installato un quadro per l'alimentazione di tale impianto, alimentato dal quadro dell'edificio 4, posto in adiacenza.

Tutti gli impianti saranno posati a vista, entro tubi o canaline; i corpi illuminanti saranno posati a plafone.

I cavi utilizzati saranno:

- per il collegamento tra il quadro dell'edificio 4 e il quadro del locale, cavo FG7(O)R 0,6/1 kV, sezione 3x10 mmq;
- per la distribuzione dell'impianto luce, cavo N07G9-K 450/750 V; sezione minima 1,5 mmq, posato in tubo in PVC rigido a vista, realizzazione IP 65;
- per la distribuzione dell'impianto f.m. di servizio, cavo N07G9-K 450/750 V, sezione minima 2,4mmq, posato in tubo in PVC rigido a vista, realizzazione IP 65.

Si prevede un livello di illuminamento medio a livello del piano di lavoro pari a 200 lx.

Tipologia corpi illuminanti:

- plafoniera stagna con corpo in poliestere rinforzato e schermo in policarbonato autoestinguente, cablata e rifasata, IP 65: con reattore standard, per lampade da  $2 \times 58$  W;

- apparecchio di illuminazione rettangolare montato ad incasso o esterno in materiale plastico autoestinguente, CEI 34-21/22, con circuito elettronico di controllo, classe isolamento II, fusibile, spia rete/ricarica, grado di protezione IP 40, alimentazione ordinaria 230 V c.a.: da 60 minuti di autonomia con batteria ermetica NiCd, non permanente con lampada fluorescente in emergenza: 18 W, con flusso luminoso non inferiore a 400 lm;
- plafoniera tonda con corpo in termoplastico autoestinguente, diffusore in policarbonato stabilizzato ai raggi UV, IP 65, diametro esterno 28 cm, per lampade fluorescenti compatte attacco G 24 fino a 26 W

Le prese di servizio saranno del tipo bipolare ad alveoli schermati da parete 2P+T 10 ÷ 16 A bipasso in custodia IP 55.

I corpi illuminanti nei laboratori saranno fissati a plafone a soffitto.

Una parte dei corpi illuminanti sarà dotata di dispositivo di emergenza, per garantire l'adeguato livello di illuminazione di sicurezza in assenza di alimentazione elettrica.

Saranno previsti quattro circuiti di comando e uno dedicato alle lampade di emergenza.

Il quadro di alimentazione dei circuiti avrà le seguenti caratteristiche:

- struttura da parete e da incasso con portello trasparente, equipaggiato con guida DIN 35, in resina, IP 54/65, per 36 moduli disposti su tre file;
- interruttori automatici magnetotermici, serie modulare, tensione nominale 230/400 V c.a., potere d'interruzione 10 kA, curva caratteristica di intervento tipo "C" (CEI-EN 60947-2): [035048b] unipolare 10 ÷ 32 A;
- moduli automatici differenziali da associare agli interruttori magnetotermici della serie modulare, tensione nominale 230/400 V c.a.: sensibilità 0,03 A, tipo «AC»: bipolare, per magnetotermici con portata 63 A;
- 3 relè passo-passo, in contenitore isolante serie modulare installato su guida DIN35, portata dei contatti 16 A, tensione d'esercizio fino a 250 V c.a.: bobina 230 V c.a., 1 contatto di scambio.

## 6. RELAZIONE SUI CALCOLI ESEGUITI

### 6.1. Calcolo delle correnti di impiego

Il calcolo delle correnti d'impiego viene eseguito in base alla classica espressione:

$$I_b = \frac{P_d}{k_{ca} \cdot V_n \cdot \cos \varphi}$$

nella quale:

- $k_{ca} = 1$  sistema monofase o bifase, due conduttori attivi;
- $k_{ca} = 1.73$  sistema trifase, tre conduttori attivi.

Se la rete è in corrente continua il fattore di potenza  $\cos \varphi$  è pari a 1.

Dal valore massimo (modulo) di  $I_b$  vengono calcolate le correnti di fase in notazione vettoriale (parte reale ed immaginaria) con le formule:

$$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= I_b \cdot e^{-j\varphi} = I_b \cdot (\cos\varphi - j\sin\varphi) \\ \dot{I}_2 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi-2\pi/3)} = I_b \cdot \left( \cos\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) - j\sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \right) \\ \dot{I}_3 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi-4\pi/3)} = I_b \cdot \left( \cos\left(\varphi - \frac{4\pi}{3}\right) - j\sin\left(\varphi - \frac{4\pi}{3}\right) \right)\end{aligned}$$

Il vettore della tensione  $V_n$  è supposto allineato con l'asse dei numeri reali:

$$\dot{V}_n = V_n + j0$$

La potenza di dimensionamento  $P_d$  è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

nella quale *coeff* è pari al fattore di utilizzo per utenze terminali oppure al fattore di contemporaneità per utenze di distribuzione.

La potenza  $P_n$ , invece, è la potenza nominale del carico per utenze terminali, ovvero, la somma delle  $P_d$  delle utenze a valle ( $\Sigma P_d$  a valle) per utenze di distribuzione (somma vettoriale).

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

$$Q_n = P_n \cdot \tan\varphi$$

per le utenze terminali, mentre per le utenze di distribuzione viene calcolata come somma vettoriale delle potenze reattive nominali a valle ( $\Sigma Q_d$  a valle).

Il fattore di potenza per le utenze di distribuzione viene valutato, di conseguenza, con la:

$$\cos\varphi = \cos\left(\arctan\left(\frac{Q_n}{P_n}\right)\right)$$

## 6.2. Dimensionamento dei cavi

Il criterio seguito per il dimensionamento dei cavi è tale da poter garantire la protezione dei conduttori alle correnti di sovraccarico.

In base alla norma CEI 64-8/4 (par. 433.2), infatti, il dispositivo di protezione deve essere coordinato con la conduttura in modo da verificare le condizioni:

$$a) \quad I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$b) \quad I_f \leq 1.45 \cdot I_z$$

Per la condizione a) è necessario dimensionare il cavo in base alla corrente nominale della protezione a monte. Dalla corrente  $I_b$ , pertanto, viene determinata la corrente nominale della protezione (seguendo i valori normalizzati) e con questa si procede alla determinazione della sezione.

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

- condutture senza protezione derivate da una conduttura principale protetta contro i sovraccarichi con dispositivo idoneo ed in grado di garantire la protezione anche delle condutture derivate;
- conduttura che alimenta diverse derivazioni singolarmente protette contro i sovraccarichi, quando la somma delle correnti nominali dei dispositivi di protezione delle derivazioni non supera la portata  $I_z$  della conduttura principale.

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Le cinque tabelle utilizzate sono:

- IEC 448;
- IEC 365-5-523;

- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026.

mentre per la media tensione si utilizza la tabella CEI 17-11.

Esse oltre a riportare la corrente ammissibile  $I_z$  in funzione del tipo di isolamento del cavo, del tipo di posa e del numero di conduttori attivi, riportano anche la metodologia di valutazione dei coefficienti di declassamento.

La portata minima del cavo viene calcolata come:

$$I_{z \min} = \frac{I_n}{k}$$

dove il coefficiente  $k$  ha lo scopo di declassare il cavo e tiene conto dei seguenti fattori:

- ☐ tipo di materiale conduttore;
- ☐ tipo di isolamento del cavo;
- ☐ numero di conduttori in prossimità compresi eventuali paralleli;
- ☐ eventuale declassamento deciso dall'utente.

La sezione viene scelta in modo che la sua portata (moltiplicata per il coefficiente  $k$ ) sia superiore alla  $I_{z \min}$ . Gli eventuali paralleli vengono calcolati nell'ipotesi che abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza e tipo di posa (vedi norma 64.8 par. 433.3), considerando la portata minima come risultante della somma delle singole portate (declassate per il numero di paralleli dal coefficiente di declassamento per prossimità).

La condizione b) non necessita di verifica in quanto gli interruttori che rispondono alla norma CEI 23.3 hanno un rapporto tra corrente convenzionale di funzionamento  $I_f$  e corrente nominale  $I_n$  minore di 1.45 ed è costante per tutte le tarature inferiori a 125 A. Per le apparecchiature industriali, invece, le norme CEI 17.5 e IEC 947 stabiliscono che tale rapporto può variare in base alla corrente nominale, ma deve comunque rimanere minore o uguale a 1.45.

Risulta pertanto che, in base a tali normative, la condizione b) sarà sempre verificata.

Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

### 6.3. Integrale di Joule

Dalla sezione dei conduttori del cavo deriva il calcolo dell'integrale di Joule, ossia la massima energia specifica ammessa dagli stessi, tramite la:

$$I^2 \cdot t = K^2 \cdot S^2$$

La costante  $K$  viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopracitati riportano però nella parte commento dei valori prudenziali.

I valori di  $K$  riportati dalla norma sono per i conduttori di fase (par. 434.3):

- |  |           |
|--|-----------|
| • Cavo in rame e isolato in PVC:                             | $K = 115$ |
| • Cavo in rame e isolato in gomma G:                         | $K = 135$ |
| • Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7:   | $K = 143$ |
| • Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico: | $K = 115$ |
| • Cavo in rame serie L nudo:                                 | $K = 200$ |
| • Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico: | $K = 115$ |
| • Cavo in rame serie H nudo:                                 | $K = 200$ |
| • Cavo in alluminio e isolato in PVC:                        | $K = 74$  |
| • Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7:                   | $K = 87$  |

I valori di K per i conduttori di protezione unipolari (par. 543.1) tab. 54B:

• Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 143
• Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 166
• Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7:	K = 176
• Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 143
• Cavo in rame serie L nudo:	K = 228
• Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	K = 143
• Cavo in rame serie H nudo:	K = 228
• Cavo in alluminio e isolato in PVC:	K = 95
• Cavo in alluminio e isolato in gomma G:	K = 110
• Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:	K = 116

I valori di K per i conduttori di protezione in cavi multipolari (par. 543.1) tab. 54C:

• Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 115
• Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 135
• Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7:	K = 143
• Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
• Cavo in rame serie L nudo:	K = 228
• Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
• Cavo in rame serie H nudo:	K = 228
• Cavo in alluminio e isolato in PVC:	K = 76
• Cavo in alluminio e isolato in gomma G:	K = 89
• Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:	K = 94

## **6.4. Dimensionamento dei conduttori di neutro**

La norma CEI 64-8 par. 524.2 e par. 524.3, prevede che la sezione del conduttore di neutro, nel caso di circuiti polifasi, può avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- ☐ il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di 16 mm<sup>2</sup>;
- ☐ la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla portata dello stesso;
- ☐ la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16mm<sup>2</sup> se il conduttore è in rame e a 25 mm<sup>2</sup> se il conduttore è in alluminio.

Nel caso in cui si abbiano circuiti monofasi o polifasi e questi ultimi con sezione del conduttore di fase minore di 16 mm<sup>2</sup> se conduttore in rame e 25 mm<sup>2</sup> se conduttore in alluminio, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase. In base alle esigenze progettuali, sono gestiti fino a tre metodi di dimensionamento del conduttore di neutro, mediante:

- ☐ determinazione in relazione alla sezione di fase;
- ☐ determinazione tramite rapporto tra le portate dei conduttori;
- ☐ determinazione in relazione alla portata del neutro.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore in questione secondo i seguenti vincoli dati dalla norma:

$$\begin{aligned} S_f < 16\text{mm}^2: & \quad S_n = S_f \\ 16 \leq S_f \leq 35\text{mm}^2: & \quad S_n = 16\text{mm}^2 \\ S_f > 35\text{mm}^2: & \quad S_n = S_f / 2 \end{aligned}$$

Il secondo criterio consiste nell'impostare il rapporto tra le portate del conduttore di fase e il conduttore di neutro, e il

programma determinerà la sezione in base alla portata.

Il terzo criterio consiste nel dimensionare il conduttore tenendo conto della corrente di impiego circolante nel neutro come per un conduttore di fase.

Le sezioni dei neutri possono comunque assumere valori differenti rispetto ai metodi appena citati, comunque sempre calcolati a regola d'arte.

## **6.5. Dimensionamento dei conduttori di protezione**

Le norme CEI 64.8 par. 543.1 prevedono due metodi di dimensionamento dei conduttori di protezione:

- ☐ determinazione in relazione alla sezione di fase;
- ☐ determinazione mediante calcolo.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore di protezione seguendo vincoli analoghi a quelli introdotti per il conduttore di neutro:

$$\begin{aligned} S_f < 16\text{mm}^2: & \quad S_{PE} = S_f \\ 16 \leq S_f \leq 35\text{mm}^2: & \quad S_{PE} = 16\text{mm}^2 \\ S_f > 35\text{mm}^2: & \quad S_{PE} = S_f / 2 \end{aligned}$$

Il secondo criterio determina tale valore con l'integrale di Joule, ovvero la sezione del conduttore di protezione non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

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

dove:

- $S_p$  è la sezione del conduttore di protezione ( $\text{mm}^2$ );
- $I$  è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);
- $t$  è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);
- $K$  è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti.

Se il risultato della formula non è una sezione unificata, viene presa una unificata immediatamente superiore.

In entrambi i casi si deve tener conto, per quanto riguarda la sezione minima, del paragrafo 543.1.3.

Esso afferma che la sezione di ogni conduttore di protezione che non faccia parte della conduttura di alimentazione non deve essere, in ogni caso, inferiore a:

- ☐ 2,5  $\text{mm}^2$  se è prevista una protezione meccanica;
- ☐ 4  $\text{mm}^2$  se non è prevista una protezione meccanica;

E' possibile, altresì, determinare la sezione mediante il rapporto tra le portate del conduttore di fase e del conduttore di protezione.

## **6.6. Cadute di tensione**

Le cadute di tensione sono calcolate vettorialmente. Per ogni utenza si calcola la caduta di tensione vettoriale lungo ogni fase e lungo il conduttore di neutro (se distribuito). Tra le fasi si considera la caduta di tensione maggiore che viene riportata in percentuale rispetto alla tensione nominale.

Il calcolo fornisce, quindi, il valore esatto della formula approssimata:

$$cdt(I_b) = k_{cdt} \cdot I_b \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot (R_{cavo} \cdot \cos \varphi + X_{cavo} \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{V_n}$$

con:

- ☐  $k_{cdt}=2$  per sistemi monofase;
- ☐  $k_{cdt}=1.73$  per sistemi trifase.

I parametri  $R_{cavo}$  e  $X_{cavo}$  sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione del tipo di cavo (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a 80°C, mentre il secondo è riferito a 50Hz, ferme restando le unità di misura in  $\Omega/\text{km}$ . La  $cdt(I_b)$  è la caduta di tensione alla corrente  $I_b$  e calcolata analogamente alla  $cdt(I_b)$ .

$$X'_{cavo} = \frac{f}{50} \cdot X_{cavo}$$

Se la frequenza di esercizio è differente dai 50 Hz si imposta

La caduta di tensione da monte a valle (totale) di una utenza è determinata come somma delle cadute di tensione vettoriale, riferite ad un solo conduttore, dei rami a monte all'utenza in esame, da cui, viene successivamente determinata la caduta di tensione percentuale riferendola al sistema (trifase o monofase) e alla tensione nominale dell'utenza in esame.

Sono adeguatamente calcolate le cadute di tensione totali nel caso siano presenti trasformatori lungo la linea (per esempio trasformatori MT/BT o BT/BT). In tale circostanza, infatti, il calcolo della caduta di tensione totale tiene conto sia della caduta interna nei trasformatori, sia della presenza di spine di regolazione del rapporto spire dei trasformatori stessi.

Se al termine del calcolo delle cadute di tensione alcune utenze abbiano valori superiori a quelli definiti, si ricorre ad un procedimento di ottimizzazione per far rientrare la caduta di tensione entro limiti prestabiliti (limiti dati da CEI 64-8 par. 525). Le sezioni dei cavi vengono forzate a valori superiori cercando di seguire una crescita uniforme fino a portare tutte le cadute di tensione sotto i limiti.

## 6.7. Calcolo dei guasti

Con il calcolo dei guasti vengono determinate le correnti di cortocircuito minime e massime immediatamente a valle della protezione dell'utenza (inizio linea) e a valle dell'utenza (fondo linea).

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

- ☐ guasto trifase (simmetrico);
- ☐ guasto bifase (disimmetrico);
- ☐ guasto fase terra (disimmetrico);
- ☐ guasto fase neutro (disimmetrico).

I parametri alle sequenze di ogni utenza vengono inizializzati da quelli corrispondenti della utenza a monte che, a loro volta, inizializzano i parametri della linea a valle.

## 6.8. Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo è condotto nelle seguenti condizioni:

- a) tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione  $C_{max}$ ;
- b) impedenza di guasto minima, calcolata alla temperatura di 20°C.

La resistenza diretta, del conduttore di fase e di quello di protezione, viene riportata a 20 °C, partendo dalla resistenza a 80 °C, data dalle tabelle UNEL 35023-70, per cui esprimendola in  $\text{m}\Omega$  risulta:

$$R_{dcavo} = \frac{R_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \left( \frac{1}{1 + (60 \cdot 0.004)} \right)$$

Nota poi dalle stesse tabelle la reattanza a 50 Hz, se  $f$  è la frequenza d'esercizio, risulta:

$$X_{dcavo} = \frac{X_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

possiamo sommare queste ai parametri diretti della utenza a monte ottenendo così la impedenza di guasto minima a fine utenza.

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza diretta sono:

$$R_{dsbarra} = \frac{R_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000}$$

La reattanza è invece:

$$X_{dsbarra} = \frac{X_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

Per le utenze con impedenza nota, le componenti della sequenza diretta sono i valori stessi di resistenza e reattanza dell'impedenza.

Per quanto riguarda i parametri alla sequenza omopolare, occorre distinguere tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ottengono da quelli diretti tramite le:

$$\begin{aligned} R_{0cavoNeutro} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoNeutro} \\ X_{0cavoNeutro} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$\begin{aligned} R_{0cavoPE} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoPE} \\ X_{0cavoPE} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

dove le resistenze  $R_{dcavoNeutro}$  e  $R_{dcavoPE}$  vengono calcolate come la  $R_{dcavo}$ .

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza omopolare sono distinte tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ha:

$$\begin{aligned} R_{0sbarraNeutro} &= R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraNeutro} \\ X_{0sbarraNeutro} &= 3 \cdot X_{dsbarra} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione viene utilizzato il parametro di reattanza dell'anello di guasto fornito dai costruttori:

$$\begin{aligned} R_{0sbarraPE} &= R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraPE} \\ X_{0sbarraPE} &= 2 \cdot X_{anello\_guasto} \end{aligned}$$

I parametri di ogni utenza vengono sommati con i parametri, alla stessa sequenza, della utenza a monte, espressi in mΩ:

$$\begin{aligned}R_d &= R_{dcavo} + R_{dmonte} \\X_d &= X_{dcavo} + X_{dmonte} \\R_{0Neutro} &= R_{0cavoNeutro} + R_{0monteNeutro} \\X_{0Neutro} &= X_{0cavoNeutro} + X_{0monteNeutro} \\R_{0PE} &= R_{0cavoPE} + R_{0montePE} \\X_{0PE} &= X_{0cavoPE} + X_{0montePE}\end{aligned}$$

Per le utenze in condotto in sbarre basta sostituire *sbarra* a *cavo*.  
Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

Noti questi parametri vengono calcolate le impedenze (in mΩ) di guasto trifase:

$$Z_{k\min} = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

$$Z_{k1Neutro\min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0Neutro})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0Neutro})^2}$$

Fase terra:

$$Z_{k1PE\min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0PE})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0PE})^2}$$

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase  $I_{k\max}$ , fase neutro  $I_{k1Neutro\max}$ , fase terra  $I_{k1PE\max}$  e bifase  $I_{k2\max}$  espresse in kA:

$$\begin{aligned}I_{k\max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\min}} \\I_{k1Neutro\max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutro\min}} \\I_{k1PE\max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE\min}} \\I_{k2\max} &= \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k\min}}\end{aligned}$$

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti (CEI 11-25 par. 9.1.1.):

$$I_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k\max}$$

$$I_{p1Neutro} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutro\max}$$

$$I_{p1PE} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1PE \max}$$

$$I_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max}$$

dove:

$$\kappa \approx 1.02 + 0.98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R_d}{X_d}}$$

Vengono ora esposti i criteri di calcolo delle impedenze allo spunto dei motori sincroni ed asincroni, valori che sommati alle impedenze della linea forniscono le correnti di guasto che devono essere aggiunte a quelle dovute alla fornitura. Le formule sono tratte dalle norme CEI 11.25 (seconda edizione 2001).

## 6.9. Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI 11.25 par 2.5 per quanto riguarda:

- ☐ la tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione di 0.95 (tab. 1 della norma CEI 11-25);

Per la temperatura dei conduttori ci si riferisce al rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in servizio ordinario dal cavo. Essa viene indicata dalla norma CEI 64-8/4 par 434.3 nella quale sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> isolamento in PVC            | $T_{\max} = 70^{\circ}\text{C}$  |
| <input type="checkbox"/> isolamento in G              | $T_{\max} = 85^{\circ}\text{C}$  |
| <input type="checkbox"/> isolamento in G5/G7          | $T_{\max} = 90^{\circ}\text{C}$  |
| <input type="checkbox"/> isolamento serie L rivestito | $T_{\max} = 70^{\circ}\text{C}$  |
| <input type="checkbox"/> isolamento serie L nudo      | $T_{\max} = 105^{\circ}\text{C}$ |
| <input type="checkbox"/> isolamento serie H rivestito | $T_{\max} = 70^{\circ}\text{C}$  |
| <input type="checkbox"/> isolamento serie H nudo      | $T_{\max} = 105^{\circ}\text{C}$ |

Da queste è possibile calcolare le resistenze alla sequenza diretta e omopolare alla temperatura relativa all'isolamento del cavo:

$$R_{d \max} = R_d \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

$$R_{0 \text{Neutro}} = R_{0 \text{Neutro}} \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

$$R_{0PE} = R_{0PE} \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

Queste, sommate alle resistenze a monte, danno le resistenze minime.

Valutate le impedenze mediante le stesse espressioni delle impedenze di guasto massime, si possono calcolare le correnti di cortocircuito trifase  $I_{k1 \min}$  e fase terra, espresse in kA:

$$\begin{aligned}I_{k \min} &= \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \max}} \\I_{k1 \text{ Neutr } \min} &= \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{ Neutr } \max}} \\I_{k1 \text{ PE } \min} &= \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{ PE } \max}} \\I_{k2 \min} &= \frac{0.95 \cdot V_n}{2 \cdot Z_{k \max}}\end{aligned}$$

## 6.10. Scelta delle protezioni

La scelta delle protezioni viene effettuata verificando le caratteristiche elettriche nominali delle condutture ed i valori di guasto; in particolare le grandezze che vengono verificate sono:

- ☐ corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- ☐ numero poli;
- ☐ tipo di protezione;
- ☐ tensione di impiego, pari alla tensione nominale della utenza;
- ☐ potere di interruzione, il cui valore dovrà essere superiore alla massima corrente di guasto a monte dalla utenza  $I_{km \max}$ ;
- ☐ taratura della corrente di intervento magnetico, il cui valore massimo per garantire la protezione contro i contatti indiretti (in assenza di differenziale) deve essere minore della minima corrente di guasto alla fine della linea ( $I_{mag \max}$ ).

## 6.11. Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

Secondo la norma 64-8 par.434.3 "Caratteristiche dei dispositivi di protezione contro i cortocircuiti.", le caratteristiche delle apparecchiature di protezione contro i cortocircuiti devono soddisfare a due condizioni:

- ☐ il potere di interruzione non deve essere inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione (a meno di protezioni adeguate a monte);
- ☐ la caratteristica di intervento deve essere tale da impedire che la temperatura del cavo non oltrepassi, in condizioni di guasto in un punto qualsiasi, la massima consentita.

La prima condizione viene considerata in fase di scelta delle protezioni. La seconda invece può essere tradotta nella relazione:

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

ossia in caso di guasto l'energia specifica sopportabile dal cavo deve essere maggiore o uguale a quella lasciata passare dalla protezione.

La norma CEI al par. 533.3 "Scelta dei dispositivi di protezioni contro i cortocircuiti" prevede pertanto un confronto tra le correnti di guasto minima (a fondo linea) e massima (inizio linea) con i punti di intersezione tra le curve. Le condizioni sono pertanto:

a) Le intersezioni sono due:

- ☐  $I_{cc \min} \square I_{inters \min}$  (quest'ultima riportata nella norma come  $I_a$ );
- ☐  $I_{cc \max} \square I_{inters \max}$  (quest'ultima riportata nella norma come  $I_b$ ).

b) L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:

☐  $I_{ccmin} \leq I_{inters min}$ .

c) L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:

☐  $I_{cc max} \leq I_{inters max}$ .

Sono pertanto verificate le relazioni in corrispondenza del guasto, calcolato, minimo e massimo. Nel caso in cui le correnti di guasto escano dai limiti di esistenza della curva della protezione il controllo non viene eseguito.

Note:

- ☐ La rappresentazione della curva del cavo è una iperbole con asintoti e la  $I_z$  dello stesso.
- ☐ La verifica della protezione a cortocircuito eseguita dal programma consiste in una verifica qualitativa, in quanto le curve vengono inserite riprendendo i dati dai grafici di catalogo e non direttamente da dati di prova; la precisione con cui vengono rappresentate è relativa.

## **6.12.Riferimenti normativi**

Norme di riferimento per la Bassa tensione:

- ☐ CEI 11-20 2000 IVa Ed. Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- ☐ CEI 11-25 2001 IIa Ed. (EC 909): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- ☐ CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- ☐ CEI 17-5 VIIa Ed. 2004: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- ☐ CEI 23-3/1 Ia Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- ☐ CEI 33-5 Ia Ed. 1984: Condensatori statici di rifasamento di tipo autorigenerabile per impianti di energia.
- ☐ a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 660V.
- ☐ CEI 64-8 VIa Ed. 2007: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- ☐ IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- ☐ CEI UNEL 35023 1970: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.
- ☐ CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastometrico 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.
- ☐ CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale 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.
- ☐ CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.

Norme di riferimento per la Media tensione

- ☐ CEI 11-1 IXa Ed. 1999: Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica
- ☐ CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- ☐ CEI 11-35 IIa Ed. 2004: Guida all'esecuzione delle cabine elettriche d'utente
- ☐ CEI 17-1 VIa Ed. 2005: Interruttori a corrente alternata a tensione superiore a 1000V
- ☐ CEI 17-4 Sezionatori e sezionatori di terra a corrente alternata e a tensione superiore a 1000V
- ☐ 17-9/1 Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori per tensioni nominali superiori a 1kV e inferiori a 52 kV
- ☐ 17-46 1 Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori combinati con fusibili ad alta tensione per corrente alternata.