



Cofinanziato dall'Unione europea  
Meccanismo per collegare l'Europa



Regione Lombardia

Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità



FERROVIENORD



Società Esercizi  
Aeroportuali S.p.A.

CODICE  
COMMESSA

M 2 0

LIVELLO  
PROGETTAZIONE

D

D.P.R.  
207/10

f

PROGRESSIVO  
ELABORATO

0 1 7

CATEGORIA  
OPERA

I M

NUMERO  
OPERA

- -

REVISIONE

R 0

SCALA

---

MXP-AT RAILINK - COLLEGAMENTO FERROVIARIO  
MALPENSA TERMINAL 2 - LINEA RFI SEMPIONE  
*Progetto Definitivo*

CALCOLI DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI  
DIMENSIONAMENTO LINEE E PROTEZIONI BT

|           | Data | Descrizione | Redatto         | Controllato |
|-----------|------|-------------|-----------------|-------------|
| Revisioni | 3    |             |                 |             |
|           | 2    |             |                 |             |
|           | 1    |             |                 |             |
|           | 0    | 01/2018     | PRIMA EMISSIONE |             |

FERROVIENORD

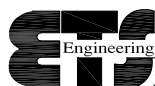
NORD\_ING

Progettista



NORD\_ING

Collaborazione



Engineering and Technical Services  
S.p.A.

Via A. Mazzi, 32 - Villa d'Almè (BG) - tel. 035/6313111 - fax. 035/545066  
e-mail: info@etseng.it - url: www.etseng.it

Sistema Qualità Certificato UNI EN ISO 9001:2000 - Cert. n. SQ00461 CSICERT

REDATTO    CONTROLLATO    APPROVATO    DATA

CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE

AGG.

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

## SOMMARIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. PREMESSA.....</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1. Oggetto del documento .....  | 3         |
| 1.2. Note relative a marchi commerciali .....   | 3         |
| <b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>   | <b>4</b>  |
| 2.1. Impianti di cabina, di messa a terra ed allacciamenti .....                      | 4         |
| 2.2. Calcoli linee e protezioni reti BT .....   | 4         |
| 2.3. Quadri elettrici MT .....  | 5         |
| 2.4. Quadri elettrici BT .....  | 5         |
| 2.5. Rifasamento degli impianti BT .....  | 5         |
| 2.6. Prodotti da Costruzione.....   | 6         |
| <b>3. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE MT .....</b>                             | <b>7</b>  |
| 3.1. Criteri di dimensionamento dei cavi MT .....                                     | 7         |
| 3.2. Selettività della rete MT.....   | 7         |
| <b>4. CRITERI DI CALCOLO DELLE CORRENTI DI CORTO CIRCUITO DELLA RETE<br/>BT .....</b> | <b>11</b> |
| 4.1. Premessa.....  | 11        |
| 4.2. Corrente di corto circuito trifase simmetrica .....                              | 11        |
| 4.3. Corrente di corto circuito bifase .....  | 12        |
| 4.4. Corrente di corto circuito monofase .....  | 12        |
| <b>5. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE CONDUTTURE BT .....</b>                        | <b>14</b> |
| 5.1. Portata del conduttore .....   | 14        |
| 5.2. Scelta della sezione del conduttore .....  | 14        |
| 5.3. Caduta di tensione.....  | 14        |
| 5.4. Verifica della protezione contro i sovraccarichi .....                           | 15        |
| 5.5. Conclusioni .....  | 16        |
| <b>6. CRITERI DI SCELTA E DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI BT.....</b>                | <b>18</b> |
| 6.1. Protezione contro le sovracorrenti .....   | 18        |
| 6.2. Coordinamento tra le protezioni contro i sovraccarichi e corto circuiti .....    | 20        |
| 6.3. Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TN.....                       | 21        |
| 6.4. Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TT .....                      | 22        |

---

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 6.5.      | Dimensionamento degli interruttori automatici .....   | 23        |
| 6.6.      | Selettività differenziale .....   | 25        |
| <b>7.</b> | <b>CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE CONDUTTURE PORTACAVI .....</b>                            | <b>28</b> |
| 7.1.      | Tubazioni circolari .....   | 28        |
| 7.2.      | Canali metallici ed isolanti.....   | 31        |
| <b>8.</b> | <b>CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE A 48VDC PER<br/>ILLUMINAZIONE DI GALLERIA .....</b> | <b>32</b> |
| <b>9.</b> | <b>ALLEGATI.....</b>  | <b>33</b> |
| 9.1.      | Premessa.....   | 33        |
| 9.2.      | Allegato n.1 .....  | 33        |
| 9.3.      | Allegato n.2.....   | 33        |
| 9.4.      | Allegato n.3.....   | 33        |
| 9.5.      | Allegato n.4.....   | 33        |
| 9.6.      | Allegato n.5.....   | 34        |
| 9.7.      | Allegato n.6.....   | 34        |
| 9.8.      | Allegato n.7.....   | 34        |
| 9.9.      | Allegato n.8.....   | 34        |
| 9.10.     | Allegato n.9.....   | 35        |
| 9.11.     | Allegato n.10.....  | 35        |
| 9.12.     | Allegato n.11 .....   | 35        |

## 1. PREMESSA

### 1.1. Oggetto del documento

Il presente documento, allegato alla documentazione del PROGETTO DEFINITIVO, ha per oggetto i calcoli di dimensionamento delle linee e protezioni mt e bt degli impianti elettrici relativi ai fabbricati tecnologici ed annesse US nell'ambito dell'intervento di realizzazione del collegamento ferroviario tra il Terminal 2 dell'Aeroporto intercontinentale di Malpensa, capolinea della linea ferroviaria Milano - Malpensa in concessione a FERROVIENORD, e il tracciato ferroviario esistente Milano-Domodossola di RFI.

In particolare vengono descritti e riportati:

- i criteri di dimensionamento delle linee di media tensione
- i criteri di calcolo delle correnti di corto circuito
- i criteri di dimensionamento delle linee e protezioni delle condutture di bassa tensione
- i criteri di dimensionamento delle linee a 48Vdc per illuminazione di galleria
- i criteri di dimensionamento delle condutture portacavi

### 1.2. Note relative a marchi commerciali

Le indicazioni di tipi e marche commerciali indicate nei documenti ed elaborati di progetto sono da intendersi come **dichiarazione di caratteristiche tecniche** e come tali non sono vincolanti.

Sono state definite tali tipologie al solo scopo di sviluppo dei calcoli di progetto, al fine di garantire il rispetto e la verifica delle prescrizioni tecniche applicabili all'impianto in oggetto.

## **2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

I calcoli in oggetto sono stati sviluppati con riferimento alle seguenti norme:

### **2.1. Impianti di cabina, di messa a terra ed allacciamenti**

- CEI 0-16 “Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle Imprese distributrici di energia elettrica”
- CEI 0-21 “Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti BT delle Imprese distributrici di energia elettrica”
- CEI 64-8 “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua”
- Norma CEI EN 61936-1 (CEI 99-2) Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata
- Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3) Messa a terra degli impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata
- CEI 64-8 “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua”
- Guida CEI 99-5 Guida per l’esecuzione degli impianti di terra delle utenze attive e passive connesse ai sistemi di distribuzione con tensione superiore a 1 kV in c.a.

### **2.2. Calcoli linee e protezioni reti BT**

- CEI 11-25 1992 I<sup>^</sup> Ed. (IEC 909) “Calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti trifasi a corrente alternata”
- CEI 11-28 1993 I<sup>^</sup> Ed. (IEC 781) “Guida d’applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione”
- CEI EN 60947 e CEI 17-5 V<sup>^</sup> Ed. 1992 “Apparecchi a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici”
- CEI EN 60898 e CEI 23-3 IV<sup>^</sup> Ed. 1991 “Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari”
- CEI 64-8 “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua”
- CEI UNEL 35023 “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 “Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria”
- CEI UNEL 35026 “Cavi di energia per tensione nominale U sino a 1kV con isolante di carta impregnata o elastomerica o termoplastico. Portate di corrente in regime permanente – Posa in aria ed interrata”

### **2.3. Quadri elettrici MT**

- CEI EN 62271-200 Apparecchiature ad alta tensione. Parte 200: Apparecchiatura prefabbricata con involucro metallico per tensioni da 1 a 52 kV
- CEI EN 62271-1, Apparecchiatura di manovra e di comando ad alta tensione, Parte 1: Prescrizioni comuni.

### **2.4. Quadri elettrici BT**

- CEI EN 61439-1 (CEI 17-113) Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT). Parte 1: Regole Generali
- CEI EN 61439-2 (CEI 17-114) Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT). Parte 2: Quadri di potenza
- CEI EN 61439-3 (CEI 17-116) Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT). Parte 3: Quadri di distribuzione destinati ad essere utilizzati da persone comuni (DBO)
- CEI 23-51 Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare

### **2.5. Rifasamento degli impianti BT**

- Norma CEI 60831-1 (CEI 33-9) "Condensatori statici di rifasamento di tipo autorigenerabile per impianti di energia a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 1 kV" Parte 1: Generalità - Prestazioni, prove e valori nominali - Prescrizioni di sicurezza - Guida per l'installazione e l'esercizio
- Norma CEI 60831-2 (CEI 33-10) "Condensatori statici di rifasamento di tipo autorigenerabile per impianti di energia a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 1 kV" Parte 2: Prova di invecchiamento, prova di autorigenerazione e prova di distruzione

- Norma CEI 60931-1/A1 "Condensatori statici di rifasamento di tipo non autorigenerabile per impianti di energia a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 1000V" Parte 1: Generalità - Prestazioni, prove e valori nominali - Prescrizioni di sicurezza - Guida per l'installazione e l'esercizio
- Norma CEI 61921 "Condensatori di potenza - Batterie di rifasamento a bassa tensione"
- Norma CEI 61642 "Reti industriali in corrente alternata affette da armoniche - Applicazione di filtri e di condensatori statici di rifasamento"
- Delibera AEEG del 2 maggio 2013/180/2013/R/EEL "Regolazione tariffaria per prelievi di energia reattiva nei punti di prelievo connessi in media e bassa tensione, a decorrere dall'anno 2016"

## 2.6. **Prodotti da Costruzione**

- Regolamento CPR (UE 305/2011) relativamente ai cavi elettrici
- Decreto legislativo n.106/2017 "Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento UE n.305/2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CE"

### **3. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE MT**

#### **3.1. Criteri di dimensionamento dei cavi MT**

Il dimensionamento delle linee MT è stato sviluppato, per ciascuna tratta di collegamento tra cabine, secondo i seguenti criteri:

- calcolo della potenza attiva (kVA) trasportata in funzione delle potenze di ciascuna cabina di tratta
- verifica della portata e scelta della sezione idonea del cavo MT
- verifica della c.d.t operativa
- verifica della temperatura di esercizio del cavo

Nell'allegato n.1 alla presente relazione sono riassunti i risultati dei calcoli relativi alle tratte considerate ovvero:

- collegamento tra US3 e US1
- collegamento tra US3 e US2
- collegamento tra US3 e US4

Il cavo utilizzato è di tipo RG7H1M 12/20 kV unipolare non armato con le seguenti sezioni:

- 3x1x50 mmq., per tutte le tratte

#### **3.2. Selettività della rete MT**

Stante la complessità e lo sviluppo esteso della rete MT è prevista la selettività amperometrica e cronometrica tra le protezioni previste nei quadri MT delle varie cabine.

##### **3.2.1. Tipi di selettività**

Le protezioni costituiscono tra loro un insieme coerente dipendente dalla struttura di rete e dal suo regime di neutro. Devono essere considerate sotto l'ottica di un sistema basato sul principio di selettività che consiste nell'isolare il più velocemente possibile la parte della rete soggetta al guasto ed unicamente questa parte, lasciando sotto tensione tutte le parti sane della rete. Differenti modalità possono essere messe in atto per assicurare una buona selettività tra le protezioni di una rete elettrica:

- selettività amperometrica (per le correnti)
- selettività cronometrica (per i tempi)
- selettività con scambio di informazioni, detta anche selettività logica.



### Selettività amperometrica

Essa è basata sul fatto che in un impianto, le correnti di guasto è tanto più bassa quanto il punto di guasto è lontano dalla sorgente. Una protezione amperometrica è posta in partenza di ciascun tronco di linea: la sua soglia è regolata a un valore inferiore al valore di corrente di cortocircuito minima provocata da un guasto sulla sezione sorvegliata e superiore al valore massimo della corrente circolante per un guasto situato al di fuori della zona sorvegliata. Così regolata, ciascuna protezione non funziona che per i guasti situati immediatamente a valle di questa posizione ed è insensibile ai guasti posti al di là. Tuttavia, in pratica, è difficile definire le regolazioni di due protezioni in cascata (pure assicurando una buona selettività) quando la corrente non decresce in modo importante tra due zone in cascata (ciò che è il caso della media tensione). Invece, per i tratti di impianto divise da un trasformatore, questo sistema semplice è utilizzato vantaggiosamente, di costo ridotto e veloce (apertura senza ritardo).

### Selettività cronometrica

Essa consiste nell'assegnare dei tempi di intervento differenti alle protezioni amperometriche scaglionate lungo la rete. Questi tempi sono tanto più lunghi quanto le protezioni sono più prossime alla sorgente. La differenza dei tempi di funzionamento  $dt$  tra due protezioni in cascata è l'intervallo di selettività. Esso deve tener conto di:

- del tempo di apertura  $T_c$  dell'interruttore
- della tolleranza del temporizzatore
- del tempo di ricaduta delle protezioni  $tr$ .

Tenuto conto delle prestazioni attuali delle apparecchiature e dei relè, si può adottare come  $dt$  un tempo di 0.20 s. Questo sistema di selettività ha due vantaggi:

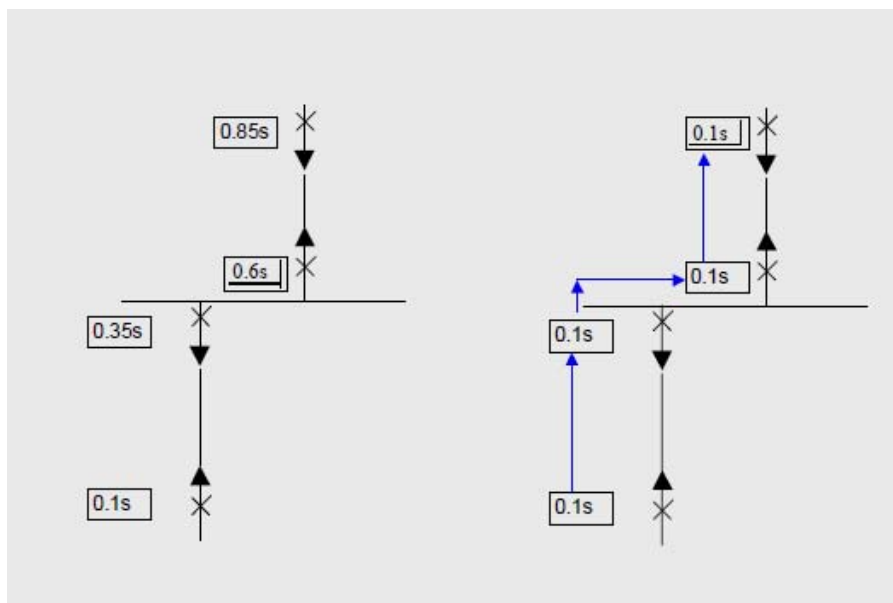
- funziona come ricalzo (eliminando una parte sana dell'impianto)
- è semplice.

Per contro, quando il numero di protezioni in cascata è grande, per il fatto che la protezione posizionata a monte ha la temporizzazione più lunga, si finisce ad un tempo di eliminazione del guasto proibitivo ed incompatibile con la tenuta dei materiali alla corrente di cortocircuito, o con le imposizioni di enti esterni, (per esempio collegamento alla rete elettrica di un distributore).

### Selettività logica

Questo principio è utilizzato quando si vuole ottenere tempi di eliminazione del guasto corti. Lo scambio di informazioni logiche tra le protezioni in cascata permette la soppressione degli intervalli di selettività  $dt$ . In effetti dentro una rete con distribuzione radiale, le protezioni situate a monte del

punto di guasto sono sollecitate dalla corrente, quelle a valle non lo sono; ciò permette di localizzare senza ambiguità il punto di guasto e l'interruttore da comandare. Ogni protezione interessata dalla corrente di guasto invia: - un comando di blocco logico al livello di protezioni superiore (ordine di blocco apertura interruttore) - un ordine di apertura all'interruttore associato solo se non ha ricevuto un segnale di blocco dal livello di protezione a valle. Un'apertura temporizzata è prevista in soccorso. In questo modo il tempo di apertura è indipendente dalla posizione del guasto sull'impianto.



Nella figura di sinistra possiamo vedere evidenziata l'applicazione della selettività cronometrica classica: le regolazioni delle temporizzazioni di intervento, proprio per favorire l'eliminazione selettiva del guasto, devono necessariamente essere aumentate via via che ci si avvicina alla sorgente di energia.

Utilizzando la selettività logica è possibile operare sui tempi di intervento, figura di destra, riducendoli in tutti i casi al valore minimo  $t_b$  (classicamente 0,1s) necessario allo scambio di informazioni tra le protezioni installate: il segnale di blocco scambiato tra le varie unità è di tipo digitale (chiusura o apertura di contatto) e pertanto necessita solamente di un semplice collegamento elettrico tra le varie unità.

### 3.2.2. Studio di selettività

In sede di progetto costruttivo dovrà essere redatto, a cura dell'impresa appaltatrice, lo studio di selettività, a seguito di:

- acquisizione dei parametri di guasto e dei tempi di intervento da parte del fornitore presso il punto di fornitura (US3)
- definizione delle specifiche tecniche (marca, modello e numero di serie) dei sistemi di protezione previsti (relè) sui quadri di media tensione.

Lo studio di selettività è la definizione delle regolazioni sulle protezioni installate nei quadri elettrici di media tensione a 15 kV dell'impianto in oggetto.

Lo scopo dello studio è quello di ottenere delle regolazioni tali da assicurare la tempestività degli interventi e la selettività fra essi così da ottenere la massima continuità del servizio. La selettività consiste nel far sì che solo le protezioni relative alla parte d'impianto interessata dal guasto intervengano, escludendola dal servizio, continuando però a mantenere in servizio le parti d'impianto non interessate dal guasto.

Lo studio, visti i dati e il tipo di configurazione dell'impianto, dovrà portare a dimostrare i limiti di selettività nell'intervento fra le protezioni tramite commenti e grafici (curve di selettività) e produrrà delle tabelle di regolazione per ogni relè, che permetteranno una facile messa in servizio delle protezioni d'impianto.

Dovrà essere garantita la selettività tra le cabine MT dell'impianto sia per guasto trifase che per guasto a terra della rete MT.

## **4. CRITERI DI CALCOLO DELLE CORRENTI DI CORTO CIRCUITO DELLA RETE BT**

### **4.1. Premessa**

I conduttori elettrici di un circuito devono essere protetti da uno o più dispositivi che interrompono automaticamente l'alimentazione, quando in un punto qualunque del circuito elettrico si produce un corto circuito, a meno che le linee alimentate siano:

- di collegamento tra trasformatori, generatori o batterie con i rispettivi quadri a valle destinate a taluni carichi particolari come elettrosollevatori, ecc.
- relative a taluni circuiti di misura (per esempio i TA).

Per definire i dispositivi di protezione è fondamentale conoscere, oltre ai valori della  $I_n$  che devono portare, i valori delle correnti di guasto che possono verificarsi sia a valle del quadro generale del trasformatore MT/BT, sia nei vari punti del circuito elettrico. Il procedimento nel seguito illustrato permette di calcolare con buona approssimazione il valore di tali correnti.

In sede progettuale, nello sviluppo del calcolo, sono state assunte le seguenti semplificazioni peraltro cautelative.

- impedenza rete M.T.: trascurabile
- potenza di corto circuito rete M.T.: infinita
- contributo macchine rotanti: 4 volte la corrente nominale del motore equivalente per il valore simmetrico, 8 volte la corrente nominale del motore per il valore di cresta.
- contributo generatori: 5 volte la corrente nominale del motore equivalente per il valore simmetrico, 8 volte per il valore di cresta.

### **4.2. Corrente di corto circuito trifase simmetrica**

$$I''_k = \frac{U}{\sqrt{3} \times \sqrt{((R_T + R_{L1} + R_{L2})^2 + (X_T + X_{L1} + X_{L2})^2)}} + I_M + I_G$$

dove:

- $I''_k$  = corrente di corto circuito trifase simmetrica (A)
- $U$  = tensione concatenata (V)
- $R_T$  = resistenza equivalente del trasformatore ( $\Omega$ )

- RL1 = resistenza della linea di collegamento tra il trasformatore ed il quadro generale BT alla massima temperatura di esercizio ( $\Omega$ )
- RL2 = resistenza della linea di collegamento tra il quadro generale BT ed il sottoquadro alla massima temperatura di esercizio ( $\Omega$ )
- XT = reattanza equivalente del trasformatore ( $\Omega$ )
- XL1 = reattanza della linea di collegamento tra il trasformatore ed il quadro generale BT ( $\Omega$ )
- XL2 = reattanza della linea di collegamento tra il quadro generale BT ed il sottoquadro ( $\Omega$ )
- IM = contributo degli eventuali motori equivalenti alla corrente di corto circuito (A)
- IG = contributo dell'eventuale generatore equivalente alla corrente di corto circuito (A)

#### 4.3. Corrente di corto circuito bifase

$$I''_{k2} = \sqrt{3} \times \frac{I''_k}{\sqrt{2}}$$

dove:

- $I''_{k2}$  = corrente di corto circuito bifase (A)
- $I''_k$  = corrente di corto circuito trifase simmetrica (A)

#### 4.4. Corrente di corto circuito monofase

$$I''_{k1} = \frac{U}{\sqrt{3} * \sqrt{((R_T + R_{F1} + R_{N1} + R_{F2} + R_{N2})^2 + (X_T + X_{F1} + X_{N1} + X_{F2} + X_{N2})^2)}}$$

dove:

- $I''_{k1}$  = corrente di corto circuito monofase (A)
- U = tensione concatenata (V)
- RT = resistenza equivalente del trasformatore ( $\Omega$ )
- RF1 = resistenza di fase della linea di collegamento tra il trasformatore ed il quadro generale BT alla massima temperatura di esercizio ( $\Omega$ )
- RN1 = resistenza di neutro della linea di collegamento tra il trasformatore ed il quadro generale BT alla massima temperatura di esercizio ( $\Omega$ )

- RF2 = resistenza di fase della linea di collegamento tra il quadro generale BT ed il sottoquadro alla massima temperatura di esercizio ( $\Omega$ )
- RN2 = resistenza di neutro della linea di collegamento tra il quadro generale BT ed il sottoquadro alla massima temperatura di esercizio ( $\Omega$ )
- XT = reattanza equivalente del trasformatore ( $\Omega$ )
- XF1 = reattanza di fase della linea di collegamento tra il trasformatore ed il quadro generale BT ( $\Omega$ )
- XN1 = reattanza di neutro della linea di collegamento tra il trasformatore ed il quadro generale BT ( $\Omega$ )
- XF2 = reattanza di fase della linea di collegamento tra il quadro generale BT ed il sottoquadro ( $\Omega$ )
- XN2 = reattanza di neutro della linea di collegamento tra il quadro generale BT ed il sottoquadro ( $\Omega$ )

## 5. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE CONDUTTURE BT

### 5.1. Portata del conduttore

$$I_z = I_0 \times K_1 \times K_2$$

dove:

- $I_z$  = portata nominale nelle reali condizioni di posa (A)
- $I_0$  = portata ordinaria in aria a 30°C (valori indicati nelle tabelle I e II delle norme CEI 35024) (A)
- $K_1$  = fattore per temperature diverse da 30°C (tabella III delle norme CEI 35024)
- $K_2$  = fattore di posa (tabelle IV, V e VI delle norme CEI 35024)

Nel calcolo della portata si presuppone che:

- solo i cavi attivi producono riscaldamento e le linee si considerano equilibrate;
- con carichi squilibrati si debba studiare la fase più caricata e verificare la tenuta del neutro, soprattutto in presenza di armoniche;
- la temperatura ambiente sia di 30°C
- la temperatura per la posa interrata sia di 20°C.

### 5.2. Scelta della sezione del conduttore

Le tabelle della norma CEI 35024 quindi permettono di calcolare, in determinate posa e ambientali:

- la corrente massima  $I_z$  che il cavo può sopportare ininterrottamente, data la sua sezione  $S$ ;
- la sezione minima del cavo, data la corrente massima ammissibile  $I_z$ .

### 5.3. Caduta di tensione

La caduta di tensione fra l'origine di un impianto e qualunque apparecchio utilizzatore sarà contenuta entro il 4% riferita al valore della  $U_n$  dell'impianto. Cadute di tensione più elevate saranno ammesse solo per motori alla messa in servizio o per altri componenti elettrici che richiedono assorbimenti più elevati, purché le variazioni di tensione restino entro i limiti indicati nelle relative Norme CEI.

$$\Delta U = k \times (R' \cos \varphi + X' \sin \varphi) \times I_b$$

dove:

- $\Delta U$  = caduta di tensione (V/km o mV/m)
- $I_b$  = corrente assorbita dal carico (A)
- $K$  = coefficiente (1,73 per linee trifasi e 2 per linee monofasi)
- $R'$  = resistenza per fase alla temperatura di regime ( $\Omega/\text{km}$  o  $\text{m}\Omega/\text{m}$ )
- $X'$  = reattanza di fase a 50 Hz ( $\Omega/\text{km}$  o  $\text{m}\Omega/\text{m}$ )
- $\cos\varphi$  = fattore di potenza del carico
- $L$  = lunghezza della linea (km o m)

da cui in percentuale:

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_n} \times 100$$

#### 5.4. Verifica della protezione contro i sovraccarichi

Secondo la Norma CEI 64-8 le sezioni minime dei conduttori devono essere tali da resistere alle sollecitazioni meccaniche e, in caso di guasto, non devono raggiungere temperature pericolose sia per l'ambiente circostante, sia per la buona conservazione dei conduttori stessi e delle relative giunzioni.

Per la protezione dei conduttori contro le sovracorrenti si dovranno coordinare gli stessi con i dispositivi di protezione in modo da soddisfare le seguenti relazioni:

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

dove:

- $I_z$  = portata massima del conduttore secondo le condizioni di posa (A)
- $I_f$  = corrente convenzionale di funzionamento dell'interruttore (A)
- $I_n$  = corrente nominale o di taratura dell'interruttore (A)
- $I_b$  = corrente di impiego dell'utilizzatore (A)

Dalle condizioni di coordinamento sopra citate, ne consegue che il conduttore non risulta protetto se il sovraccarico è compreso tra  $I_z$  e  $I_f$  in quanto esso può permanere a lungo senza provocare



l'intervento della protezione. Ciò può essere evitato fissando il valore di  $I_b$  in modo che  $I_z$  non venga superato frequentemente.

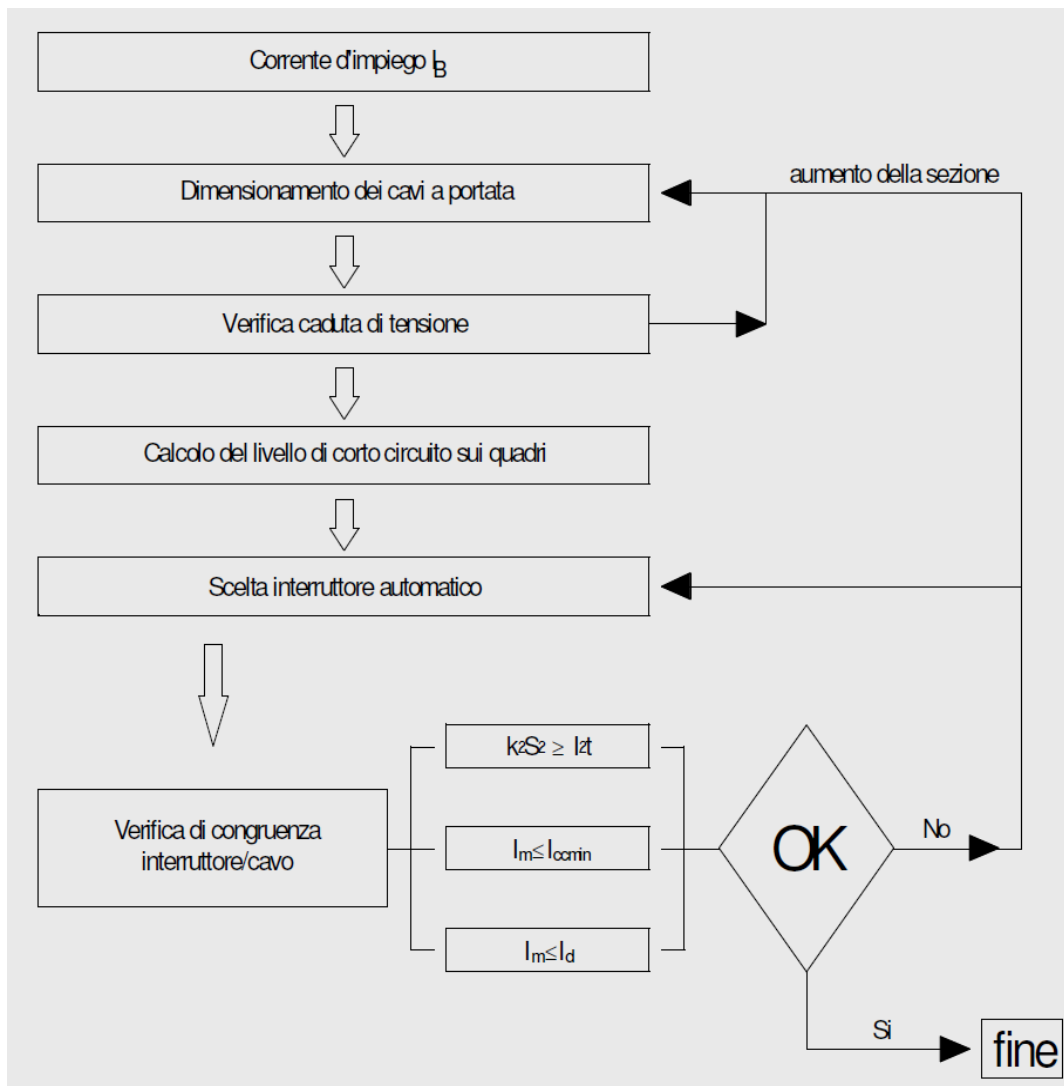
$$I^2t = K^2 \times S^2$$

dove:

- $I^2t$  = integrale di Joule o energia specifica lasciata passare, dal dispositivo di protezione, per la durata del corto circuito ( $A^2s$ );
- $K$  = fattore dipendente dal tipo di conduttore (Cu o Al) e isolamento che, per una durata di corto circuito non superiore a 5 s, è pari a:
  - 115 per conduttori in Cu isolati con PVC
  - 135 per conduttori in Cu isolati con gomma ordinaria o gomma butilica
  - 143 per conduttori in Cu isolati con gomma etilenpropilenica e propilene reticolato
  - 74 per conduttori in Al isolati con PVC
  - 87 per conduttori in Al isolati con gomma ordinaria, gomma butilica, gomma etilenpropilenica o propilene reticolato
  - 115 corrispondente ad una temperatura di 160°C per le giunzioni saldate a stagno tra conduttori in Cu
- $S$  = sezione del conduttore (mmq)

## 5.5. Conclusioni

Il dimensionamento dei conduttori sarà dunque effettuato tenendo conto dei parametri esposti nei precedenti paragrafi e con riferimento al seguente diagramma di flusso:



## **6. CRITERI DI SCELTA E DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI**

### **BT**

#### **6.1. Protezione contro le sovracorrenti**

I conduttori attivi di un circuito elettrico devono essere protetti da uno o più dispositivi che interrompono automaticamente l'alimentazione quando si produce sovracorrente (sovraccarico o corto circuito). La protezione contro i sovraccarichi e i corto circuiti può essere assicurata sia in modo separato, con dispositivi distinti, sia in modo unico con dispositivi che assicurano entrambe le protezioni. In ogni caso essi devono essere tra loro coordinati.

Per assicurare la protezione il dispositivo deve:

- interrompere sia la corrente di sovraccarico sia quella di corto circuito, interrompendo, nel secondo caso, tutte le correnti di corto circuito che si presentano in un punto qualsiasi del circuito, prima che esse provochino nel conduttore un riscaldamento tale da danneggiare l'isolamento;
- essere installato in generale all'origine di ogni circuito e di tutte le derivazioni aventi portate differenti (diverse sezioni dei conduttori, diverse condizioni di posa e ambientali, nonché un diverso tipo di isolamento del conduttore).

##### **6.1.1. Condizioni di sovraccarico**

Gli interruttori per la protezione contro i sovraccarichi sono dimensionati in modo da soddisfare le seguenti relazioni:

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

dove:

- $I_z$  = portata massima del conduttore secondo le condizioni di posa (A)
- $I_f$  = corrente convenzionale di funzionamento dell'interruttore (A)
- $I_n$  = corrente nominale o di taratura dell'interruttore (A)
- $I_b$  = corrente di impiego dell'utilizzatore (A)

Dalle condizioni di coordinamento sopra citate, ne consegue che il conduttore non risulta protetto se il sovraccarico è compreso tra  $I_z$  e  $I_f$  in quanto esso può permanere a lungo senza provocare

l'intervento della protezione. Ciò può essere evitato fissando il valore di  $I_b$  in modo che  $I_z$  non venga superato frequentemente.

### 6.1.2. Condizioni di corto circuito

Per quanto concerne le condizioni di corto circuito, il dispositivo di protezione:

- può essere installato lungo la condotta ad una distanza dall'origine non superiore a 3 m, purché questo tratto sia rinforzato in modo da ridurre al minimo il rischio di corto circuito;
- non deve essere posto vicino a materiale combustibile o in luoghi con pericolo di esplosione;
- deve avere un potere di interruzione non inferiore alla corrente di corto circuito presunta nel punto in cui è installato. È ammesso tuttavia l'impiego di un dispositivo di protezione con un potere di interruzione inferiore se a monte è installato un altro dispositivo che abbia il necessario potere di interruzione (protezione di sostegno o back-up). In questo caso l'energia specifica ( $I^2t$ ) lasciata passare dal dispositivo a monte non deve superare quella ( $I^2t$ ) che può essere ammessa senza danni dal dispositivo o dalle condutture situate a valle;
- deve intervenire in un tempo inferiore a quello che farebbe superare al conduttore la massima temperatura ammessa. Deve cioè essere verificata, qualunque sia il punto della condotta interessata al corto circuito, la condizione:

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

Per corto circuiti di durata non superiore a 5 s, il tempo necessario affinché una data corrente di corto circuito porti in condizioni di servizio ordinario un conduttore alla temperatura limite, può essere calcolato in prima approssimazione con la formula (derivata dalla precedente):

$$\sqrt{t} = \frac{K \times S}{I}$$

dove:

- $I^2t$  = integrale di Joule o energia specifica lasciata passare, dal dispositivo di protezione, per la durata del corto circuito ( $A^2s$ );
- $K$  = fattore dipendente dal tipo di conduttore (Cu o Al) e isolamento che, per una durata di corto circuito non superiore a 5 s, è pari a:
  - 115 per conduttori in Cu isolati con PVC

- 135 per conduttori in Cu isolati con gomma ordinaria o gomma butilica
  - 143 per conduttori in Cu isolati con gomma etilenpropilenica e propilene reticolato
  - 74 per conduttori in Al isolati con PVC
  - 87 per conduttori in Al isolati con gomma ordinaria, gomma butilica, gomma etilenpropilenica o propilene reticolato
  - 115 corrispondente ad una temperatura di 160°C per le giunzioni saldate a stagno tra conduttori in Cu
- $S$  = sezione del conduttore (mmq)
  - $t$  = tempo di intervento del dispositivo di protezione assunto  $< 5$  s

## **6.2. Coordinamento tra le protezioni contro i sovraccarichi e corto circuiti**

### **6.2.1. Protezione assicurata da dispositivi separati**

Si applicano separatamente le prescrizioni viste ai capitoli precedenti sia al dispositivo di protezione contro i sovraccarichi sia al dispositivo di protezione contro i corti circuiti.

### **6.2.2. Protezione assicurata da un unico dispositivo**

Se il dispositivo unico è coordinato secondo le prescrizioni di cui al capitolo precedente ( $I_b \leq I_n \leq I_z$  e  $I_f \leq 1,45 I_z$ ) con il conduttore ed ha un potere di interruzione almeno uguale alle correnti di corto circuito nel punto in cui è installato, si considera che esso assicuri anche la protezione contro i corti circuiti alla condotta posta a valle di quel punto.

La scelta dei dispositivi di protezione contro i sovraccarichi deve essere effettuata in modo che:

- la corrente nominale deve essere scelta in accordo alla condizione  $I_b \leq I_n \leq I_z$ ;
- nel caso di carichi ciclici, i valori di  $I_n$  e di  $I_f$  devono essere scelti sulla base dei valori di  $I_b$  e di  $I_z$  corrispondenti a carichi termicamente equivalenti.

Per la scelta dei dispositivi di protezione contro i corti circuiti, l'applicazione delle prescrizioni di cui sopra, per la durata del guasto sino a 5 s, deve tenere conto delle correnti minime e massime di corto circuito.

### **6.2.3. Note**

Per circuiti che alimentano utenze in cui l'apertura intempestiva del circuito potrebbe essere causa di pericolo sarà omessa o sovradimensionata la protezione contro i sovraccarichi. Essi possono essere:

- circuiti di eccitazione di macchine rotanti;
- circuiti che alimentano elettromagneti di sollevamento;
- circuiti secondari di trasformatori di corrente;
- circuiti che alimentano dispositivi di estinzione di incendio.

In tutti questi casi si raccomanda un dispositivo di allarme (acustico e/o visivo) che segnali eventuali sovraccarichi. Nei casi sopra descritti, in cui non sia prevista la protezione contro i sovraccarichi, deve essere fatta la verifica in corrispondenza della corrente di corto circuito minima.

La protezione contro i corti circuiti sarà invece omessa:

- per le condutture che collegano generatori, trasformatori, raddrizzatori, batterie di accumulatori ai rispettivi quadri;
- per circuiti la cui apertura intempestiva potrebbe comportare pericoli di funzionamento e per la sicurezza degli impianti interessati;
- alcuni circuiti di misura, a condizione che la condotta sia realizzata in modo da ridurre al minimo il rischio di corto circuito e la condotta non sia posta in vicinanza di materiali combustibili.

### **6.3. Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TN**

La protezione contro i contatti indiretti, nel caso specifico di un sistema TN, consiste nel prendere misure intese a proteggere le persone contro i pericoli risultanti dal contatto di parti conduttrici che possono andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale. Gli utilizzatori per i quali è prevista la protezione contro le tensioni di contatto mediante il collegamento a terra, saranno collegati al conduttore di protezione.

La protezione sarà coordinata in modo tale da assicurare la tempestiva interruzione del circuito se la tensione di contatto assume valori pericolosi, e ciò sarà ottenuto mediante l'installazione di dispositivi di massima corrente a tempo inverso o dispositivi differenziali di caratteristiche tali da avvalorare la seguente relazione:

$$Z_s \times I_a \leq U_0$$

dove:

- $U_0$  = tensione nominale in c.a., valore efficace tra fase e terra;

- $I_a$  = corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione entro il tempo definito in tabella, in funzione della tensione nominale  $U_0$  oppure entro un tempo convenzionale non superiore a 5 s; se si utilizza un dispositivo differenziale  $I_a$  è la corrente differenziale  $I_{dn}$ ;
- $Z_s$  = impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto ed il conduttore di protezione tra il punto di guasto e la sorgente.

| $U_0$<br>[V] | Tempo di interruzione<br>[s] |
|--------------|------------------------------|
| 120          | 0,8                          |
| 230          | 0,4                          |
| 400          | 0,2                          |
| >400         | 0,1                          |

#### 6.4. Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TT

La protezione contro i contatti indiretti, nel caso specifico di un sistema TT, consiste nel prendere misure intese a proteggere le persone contro i pericoli risultanti dal contatto di parti conduttrici che possono andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale. Gli utilizzatori per i quali è prevista la protezione contro le tensioni di contatto mediante il collegamento a terra, saranno collegati al conduttore di protezione.

In particolare dovrà essere realizzato il coordinamento fra l'impianto di terra e gli interruttori differenziali che assicurino l'apertura dei circuiti da proteggere non appena eventuali correnti di guasto creino situazioni di pericolo. Affinchè detto coordinamento sia efficiente deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$R_t \leq 50/I_d$$

dove  $R_t$  è il valore in ohm della resistenza dell'impianto di terra nelle condizioni più sfavorevoli e  $I_d$  il più elevato fra i valori in ampere delle correnti differenziali nominali di intervento delle protezioni poste a protezione dei singoli impianti utilizzatori.

## 6.5. Dimensionamento degli interruttori automatici

### 6.5.1. Interruttore generale di impianto

#### Corrente nominale

$$I_n \leq I_z$$
$$I_n \geq 1,3I_r$$

dove:

- $I_n$  = corrente nominale dell'interruttore (A);
- $I_z$  = corrente nominale del cavo delle reali condizioni di posa (A);
- $I_r$  = corrente nominale secondaria del trasformatore (A).

#### Relè Termico

$$I_{te} \leq 1,1I_r$$

dove:

- $I_{te}$  = corrente di taratura del relè termico (A);
- $I_r$  = corrente nominale secondaria del trasformatore (A).

#### Relè Magnetico

$$I_m < I_{ccmin}$$
$$t = 0.2s$$

dove:

- $I_m$  = corrente di taratura del relè magnetico (A);
- $I_{ccmin}$  = corrente di corto circuito minima (A);
- $t$  = tempo di ritardo (s).

#### Potere di interruzione

$$P_i > I_{ccmax}$$

dove:

- $P_i$  = potere di interruzione (A);
- $I_{ccmax}$  = corrente di corto circuito massima (A).
-



### 6.5.2. Interruttori magnetotermici

#### Corrente nominale

$$I_n \leq I_z$$
$$I_n > I_b \times (a \times T_a + b)$$

dove:

- $I_n$  = corrente nominale dell'interruttore (A)
- $I_z$  = corrente nominale del cavo delle reali condizioni di posa (A);
- $I_b$  = corrente nominale assorbita dal carico (A);
- $T_a$  = temperatura dell'ambiente di posa dell'interruttore (°C);
- $a, b$  = coefficienti numeri per riportare la corrente di funzionamento dell'interruttore alla temperatura di riferimento.

#### Relè Termico

$$I_{te} \leq I_r$$

dove:

- $I_{te}$  = corrente di taratura del relè termico (A);
- $I_r$  = corrente nominale secondaria del trasformatore (A).

#### Relè Magnetico

$$I_m < I_{ccmin}$$
$$t = 0.2s$$

dove:

- $I_m$  = corrente di taratura del relè magnetico (A);
- $I_{ccmin}$  = corrente di corto circuito minima (A);
- $t$  = tempo di ritardo (s).

#### Potere di interruzione

$$P_i > I_{ccmax}$$

dove:

- $P_i$  = potere di interruzione (A);
- $I_{ccmax}$  = corrente di corto circuito massima (A).

## 6.6. Selettività differenziale

### 6.6.1. Sensibilità differenziale

Per interruttori differenziali ad alta sensibilità si intendono quelli aventi corrente differenziale nominale non superiore ad 1A ( $I_{dn} < 1A$ ). Gli impianti elettrici devono tuttavia essere dotati di interruttori differenziali con livello di sensibilità più idoneo ai fini della sicurezza nell'ambiente da proteggere e tale da consentire un regolare funzionamento degli stessi". Nella tabella 1 viene evidenziata la sensibilità differenziale che l'interruttore deve avere in relazione all'ambiente, mentre nelle Tab. 2 e 3 vengono riportati rispettivamente i tempi di intervento in relazione al tipo di differenziale ed i valori delle resistenze massime di terra in relazione alla corrente differenziale  $I_{dn}$ .

| <b>Tab. 1 - Sensibilità differenziale ed ambiente</b> |                          |                   |
|---|--------------------------|-------------------|
| Tipo di ambiente                                      | $I_{dn}$                 | Sensibilità       |
| Domestico e/o ambienti speciali                       | $I_{dn} \leq 30mA$       | alta sensibilità  |
| Terziario e piccola industria                         | $I_{dn}$ da 30mA a 500mA | bassa sensibilità |
| Grande industria                                      | $I_{dn}$ da 500mA a 1A   | bassa sensibilità |

| <b>Tab. 2 – tempi di intervento rispetto al tipo di differenziale e della <math>I_{dn}</math></b> |              |                 |  |                   |                   |           |
|---|--------------|-----------------|--|-------------------|-------------------|-----------|
| Tipo  | $I_n$<br>[A] | $I_{dn}$<br>[A] | Tempi di intervento (s) per correnti pari a: |                   |                   |           |
|   |              |                 | $1 \times I_{dn}$                            | $2 \times I_{dn}$ | $5 \times I_{dn}$ | 500A      |
| generico  | qualsiasi    | Qualsiasi       | 0,3  | 0,15              | 0,04              | 0,04      |
| selettivo   | $\geq 25$    | $> 0,030$       | 0,5±0,13                                     | 0,2±0,06          | 0,15±0,05         | 0,15±0,04 |

| <b>Tab. 3 – resistenze massime di terra rispetto alla <math>I_{dn}</math> e alla tensione di sicurezza</b> |  |      |      |
|--|--|------|------|
| Soglia di sgancio del differenziale<br>$I_{dn}$ [mA]   | Resistenza massima di terra [Ω]<br>Tensione di sicurezza ammissibile |      |      |
|  | 12V  | 25V  | 50V  |
| 0,01A  | 1200   | 2500 | 5000 |
| 0,03A  | 400  | 830  | 1660 |
| 0,3A   | 40   | 83   | 166  |
| 0,5A   | 24   | 50   | 100  |
| 1A   | 12   | 25   | 50   |
| 3A   | 4  | 8    | 16   |

### 6.6.2. Coordinamento della selettività differenziale

In un impianto elettrico come quello in oggetto, si è optato di installare, onde evitare spiacevoli disservizi, in luogo di un solo interruttore generale differenziale, diversi interruttori differenziali sulle derivazioni principali, con a monte un interruttore generale non differenziale.

Così facendo si realizza una certa "selettività orizzontale", evitando che con un guasto a terra in un punto qualunque del circuito o per effetto di quelle piccole dispersioni, comunque presenti, si abbia un intervento intempestivo dell'interruttore generale con la conseguente messa fuori servizio di tutto l'impianto.

Per garantire oltre alla “selettività orizzontale” anche una “selettività verticale” tra le varie protezioni differenziali poste in serie, bisogna coordinare l’intervento dei vari dispositivi per non compromettere la “continuità del servizio” e “la sicurezza”. La selettività in questo caso può essere amperometrica (parziale) o cronometrica (totale).

#### Selettività amperometrica (parziale)

La selettività amperometrica si può realizzare disponendo a monte interruttori differenziali a bassa sensibilità e a valle interruttori a sensibilità più elevata.

In questo caso la selettività è parziale. Difatti se la  $I_{dn}$  dell’interruttore posto a monte (interruttore generale) è maggiore a tre volte la  $I_{dn}$  dell’interruttore posto a valle (condizione necessaria per avere un coordinamento selettivo), per correnti di guasto verso terra maggiori della  $I_{dn}$  dell’interruttore a valle, si avrà l’intervento sia dell’interruttore a monte che dell’interruttore a valle, salvo il caso in cui il guasto verso terra non sia franco, ma evolva lentamente.

#### Selettività cronometrica (totale)

Per ottenere una selettività totale è necessario quindi realizzare oltre ad una selettività amperometrica anche una selettività detta cronometrica. Tale selettività si ottiene utilizzando interruttori differenziali ritardati intenzionalmente o del tipo “selettivi”.

I tempi di intervento dei due dispositivi posti in serie, devono essere coordinati in modo che il tempo “ $t_2$ ” di quello a valle sia inferiore al tempo limite di non risposta “ $t_1$ ” dell’interruttore a monte, per qualsiasi valore di corrente, in modo che quello a valle abbia concluso l’apertura prima che inizi il funzionamento di quello a monte.

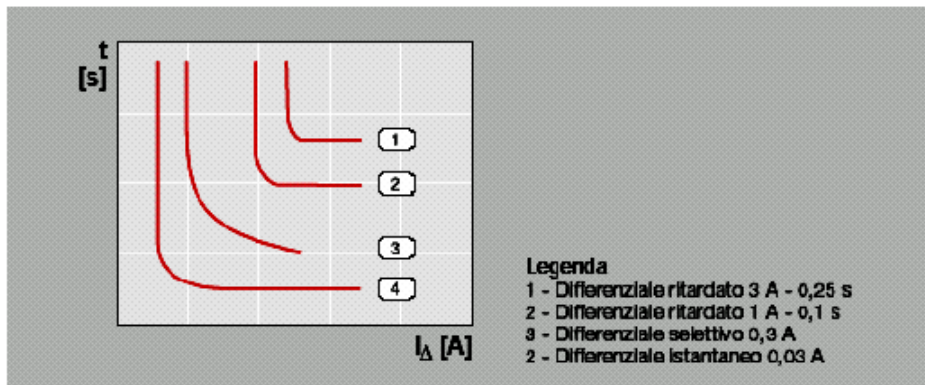
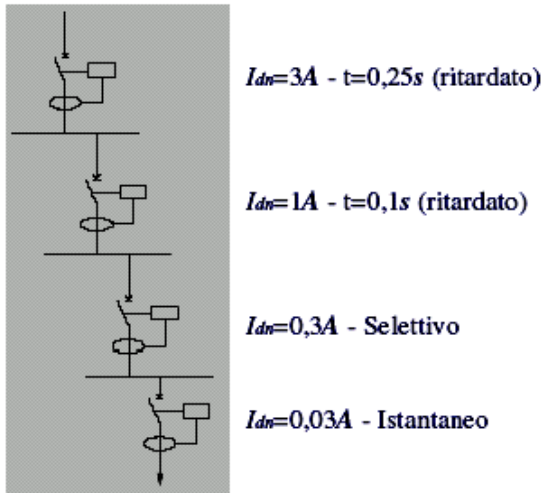
Ovviamente i tempi di intervento ritardati dell’interruttore posto a monte, ai fini della sicurezza, dovranno collocarsi sempre al di sotto della curva di sicurezza.

### **6.6.3. Livelli di selettività totale**

La selettività può essere:

- a 2 livelli
- a 3 o 4 livelli

Di seguito riportiamo un esempio di selettività totale su 4 livelli.



## **7. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE CONDUTTURE PORTACAVI**

### **7.1. Tubazioni circolari**

In accordo alla normativa vigente, le tubazioni sono state dimensionate per consentire il regolare smaltimento di calore, la completa sfilabilità dei conduttori, e pertanto sono dimensionati con la seguente relazione:

$$D_{int} = K_c \times D_{sev}$$

dove:

- $D_{int}$  = diametro interno del tubo (mm);
- $D_{sev}$  = diametro esterno del cavo (mm);
- $K_c$  = coefficiente di maggiorazione.

| <b>N° conduttori</b> | <b>Kc</b> |
|----------------------|-----------|
| 1                    | 1,4       |
| 2                    | 2,5       |
| 3                    | 2,7       |
| 4                    | 3,1       |
| 5                    | 3,5       |
| 7                    | 3,9       |
| 8                    | 4,5       |
| 9                    | 4,9       |

La sezione delle tubazioni è determinata in modo da garantire uno spazio libero non inferiore al 30% e comunque non inferiore a quanto specificato nelle seguenti tabelle.

**Tabella - Diametro esterno dei tubi pieghevoli in relazione al numero di cavi contenuti**

| CAVI              |  |                      | SEZIONE (mm <sup>2</sup> ) |     |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------|--|----------------------|----------------------------|-----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| U <sub>o</sub> /U | TIPO                                       |                      | NUM.                       | 1,5 |    |    | 2,5 |    |    | 4  |    |    | 6  |    |    | 10 |    |    |    |
|                   |  |                      |                            | A   | B  | C  | A   | B  | C  | A  | B  | C  | A  | B  | C  | A  | B  | C  |    |
| 450/750 V         | Cavo unipolare pvc<br>(senza guaina)       |                      | 1                          | 16  | 16 | 16 | 16  | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 20 | 20 | 20 | 20 |    |
|                   |  |                      | 2                          | 16  | 20 | 20 | 20  | 20 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 |
|                   |  |                      | 3                          | 20  | 20 | 20 | 20  | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 |
|                   |  |                      | 4                          | 20  | 20 | 25 | 25  | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 |
|                   |  |                      | 5                          | 25  | 25 | 25 | 25  | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 |
|                   |  |                      | 6                          | 25  | 25 | 32 | 32  | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 | 63 |
|                   |  |                      | 7                          | 25  | 25 | 32 | 32  | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 | 63 |
|                   |  |                      | 8                          | 25  | 32 | 32 | 32  | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 |
|                   |  |                      | 9                          | 32  | 32 | 32 | 32  | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | -  |
|                   |  | Cavo multipolare pvc | bipol.                     | 1   | 20 | 25 | 25  | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | -  | -  | -  |
|                   | 2  |                      |                            | 40  | 40 | 50 | 50  | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  |    |
|                   | 3  |                      |                            | 40  | 50 | 50 | 50  | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   |  | Cavo multipolare pvc | tripol.                    | 1   | 25 | 25 | 25  | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | -  | -  | -  |
|                   | 2  |                      |                            | 40  | 50 | 50 | 50  | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   | 3  |                      |                            | 50  | 50 | 50 | 50  | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | 63 | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   |  |                      | quadr.                     | 1   | 25 | 25 | 32  | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | -  | -  | -  |
|                   | 2  |                      |                            | 50  | 50 | 50 | 50  | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   | 3  |                      |                            | 50  | 50 | 63 | 63  | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |    |
| 0,6/1 kV          | Cavo unipolare pvc o gomma<br>(con guaina) |                      | 1                          | 16  | 20 | 20 | 20  | 20 | 20 | 20 | 20 | 25 | 20 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |    |
|                   |  |                      | 2                          | 32  | 32 | 40 | 32  | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 40 | 50 | 50 |    |
|                   |  |                      | 3                          | 32  | 40 | 40 | 32  | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |    |
|                   |  |                      | 4                          | 40  | 40 | 40 | 40  | 40 | 50 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 |    |
|                   |  |                      | 5                          | 40  | 40 | 50 | 40  | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 |    |
|                   |  |                      | 6                          | 50  | 50 | 50 | 50  | 50 | 63 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | -  |    |
|                   |  |                      | 7                          | 50  | 50 | 50 | 50  | 50 | 63 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | -  |    |
|                   |  |                      | 8                          | 50  | 63 | 63 | 50  | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | 63 | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   |  |                      | 9                          | 63  | 63 | 63 | 63  | 63 | -  | 63 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   |  | Cavo multipolare     | bipol.                     | 1   | 25 | 32 | 32  | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 |
|                   | 2  |                      |                            | 50  | 50 | 63 | 50  | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | 63 | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   | 3  |                      |                            | 50  | 63 | 63 | 63  | 63 | 63 | 63 | -  | -  | 63 | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   |  |                      | tripol.                    | 1   | 32 | 32 | 32  | 32 | 32 | 40 | 32 | 40 | 40 | 32 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 |
|                   | 2  |                      |                            | 50  | 63 | 63 | 63  | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | 63 | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   | 3  |                      |                            | 63  | 63 | 63 | 63  | 63 | -  | 63 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   |  |                      | quadr.                     | 1   | 32 | 32 | 32  | 32 | 32 | 40 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 |
|                   | 2  |                      |                            | 63  | 63 | 63 | 63  | 63 | -  | 63 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   | 3  |                      |                            | 63  | 63 | -  | 63  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |    |

<sup>(1)</sup> Il diametro esterno del tubo (D) indicato in tabella è tale da soddisfare la condizione relativa al diametro interno  $d \geq 1,5 f$ , dove  $f$  è il diametro del cerchio circoscritto al fascio di cavi. Le lettere A, B, C, hanno il seguente significato:

- A: lunghezza tratta  $\leq 10$  m (max due curve a 90°) - B: lunghezza tratta  $> 10$  m (max due curve a 90°)
- C: tratta con più di due curve a 90°.

Per "tratta" si intende la parte di tubo, priva di interruzioni, che collega due punti distinti, ad es. due scatole di derivazione, due scatole portafrutti, due quadri. Se il fascio è costituito da cavi di diversa sezione, assumere, in via cautelativa, che i cavi abbiano tutti la sezione maggiore.

**Tabella - Diametro esterno dei tubi rigidi in relazione al numero di cavi contenuti**

| CAVI              |   |                              | SEZIONE (mm <sup>2</sup> ) |     |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------|---|------------------------------|----------------------------|-----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| U <sub>0</sub> /U | TIPO                                    |                              | NUM.                       | 1,5 |    |    | 2,5 |    |    | 4  |    |    | 6  |    |    | 10 |    |    |    |
|                   |   |                              |                            | A   | B  | C  | A   | B  | C  | A  | B  | C  | A  | B  | C  | A  | B  | C  |    |
| 450/750 V         | Cavo unipolare pvc (senza guaina)       |                              | 1                          | 16  | 16 | 16 | 16  | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 20 |    |
|                   |   |                              | 2                          | 16  | 16 | 16 | 16  | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 |
|                   |   |                              | 3                          | 16  | 16 | 20 | 20  | 20 | 20 | 20 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 |
|                   |   |                              | 4                          | 16  | 20 | 20 | 20  | 20 | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 |
|                   |   |                              | 5                          | 20  | 20 | 25 | 25  | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 |
|                   |   |                              | 6                          | 20  | 25 | 25 | 25  | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 |
|                   |   |                              | 7                          | 20  | 25 | 25 | 25  | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 |
|                   |   |                              | 8                          | 25  | 25 | 32 | 32  | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 |
|                   |   |                              | 9                          | 25  | 32 | 32 | 32  | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 |
|                   |   | Cavo multipolare pvc         | bipol.                     | 1   | 20 | 20 | 20  | 20 | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | -  | -  | -  |
|                   | 2                                       |                              |                            | 40  | 40 | 40 | 40  | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | -  | -  | -  |    |
|                   | 3                                       |                              |                            | 40  | 40 | 50 | 50  | 50 | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  |
|                   |   | tripol.                      | 1                          | 20  | 20 | 25 | 25  | 25 | 32 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | -  | -  | -  |    |
|                   | 2                                       |                              | 40                         | 40  | 40 | 50 | 50  | 50 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  |    |
|                   | 3                                       |                              | 40                         | 40  | 50 | 50 | 50  | 63 | 50 | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   |   | quadr.                       | 1                          | 20  | 25 | 25 | 25  | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | -  | -  | -  |    |
|                   | 2                                       |                              | 40                         | 50  | 50 | 50 | 50  | 63 | 50 | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  | -  |    |    |
|                   | 3                                       |                              | 50                         | 50  | 50 | 50 | 63  | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |    |
| 0,6/1 kV          | Cavo unipolare pvc o gomma (con guaina) |                              | 1                          | 16  | 16 | 16 | 16  | 16 | 20 | 16 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 25 |    |
|                   |   |                              | 2                          | 25  | 32 | 32 | 32  | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |    |
|                   |   |                              | 3                          | 32  | 32 | 32 | 32  | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 |    |
|                   |   |                              | 4                          | 32  | 40 | 40 | 32  | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |    |
|                   |   |                              | 5                          | 40  | 40 | 40 | 40  | 40 | 50 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 |    |
|                   |   |                              | 6                          | 40  | 40 | 50 | 40  | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 50 | 63 | 63 |    |
|                   |   |                              | 7                          | 40  | 40 | 50 | 40  | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 63 | 50 | 63 | 63 |    |
|                   |   |                              | 8                          | 50  | 50 | 50 | 50  | 50 | 63 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | 63 | -  |    |
|                   |   |                              | 9                          | 50  | 50 | 63 | 50  | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | 63 | -  | -  | -  | -  | -  |    |
|                   |   | Cavo multipolare pvc o gomma | bipol.                     | 1   | 25 | 25 | 32  | 25 | 32 | 32 | 25 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 |    |
|                   | 2                                       |                              |                            | 50  | 50 | 50 | 50  | 50 | 63 | 50 | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | 63 | -  |    |    |
|                   | 3                                       |                              |                            | 50  | 50 | 63 | 50  | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | 63 | 63 | -  | -  | -  | -  |    |
|                   |   | tripol.                      | 1                          | 25  | 25 | 32 | 25  | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 40 | 40 |    |    |
|                   | 2                                       |                              | 50                         | 50  | 63 | 50 | 63  | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | -  | -  | -  |    |    |    |
|                   | 3                                       |                              | 50                         | 63  | 63 | 50 | 63  | 63 | 63 | 63 | -  | 63 | -  | -  | -  | -  |    |    |    |
|                   |   | quadr.                       | 1                          | 25  | 32 | 32 | 32  | 32 | 32 | 32 | 32 | 40 | 32 | 40 | 40 | 40 | 40 |    |    |
|                   | 2                                       |                              | 50                         | 50  | 63 | 50 | 63  | 63 | 63 | 63 | -  | 63 | -  | -  | -  | -  |    |    |    |
|                   | 3                                       |                              | 50                         | 63  | 63 | 63 | 63  | -  | 63 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |    |    |    |

(1) Il diametro esterno del tubo (D) indicato in tabella è tale da soddisfare la condizione relativa al diametro interno  $d \geq 1,5 f$ , dove  $f$  è il diametro del cerchio circoscritto al fascio di cavi. Le lettere A, B, C, hanno il seguente significato:

- A: lunghezza tratta  $\leq 10$  m (max due curve a 90°) - B: lunghezza tratta  $> 10$  m (max due curve a 90°)
- C: tratta con più di due curve a 90°.

Per "tratta" si intende la parte di tubo, priva di interruzioni, che collega due punti distinti, ad es. due scatole di derivazione, due scatole portafrutti, due quadri. Se il fascio è costituito da cavi di diversa sezione, assumere, in via cautelativa, che i cavi abbiano tutti la sezione maggiore.

## 7.2. Canali metallici ed isolanti

In accordo alla normativa vigente, i canali sono dimensionati per consentire il regolare smaltimento di calore, la completa sfilabilità dei conduttori, e pertanto sono dimensionati con la seguente relazione:

$$L_{can} \geq 1,5 \times \sum D_{ecv}$$
$$H_{can} \geq 1,6 \times \sum D_{ecv}$$

dove:

- $L_{can}$  = larghezza del canale (mm);
- $H_{can}$  = altezza del canale (mm);
- $D_{ecv}$  = diametro esterno del cavo (mm);

La sezione del canale è determinata in modo da garantire uno spazio libero almeno pari al 50 %.



## **8. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE A 48VDC PER ILLUMINAZIONE DI GALLERIA**

Trattasi degli impianti di illuminazione sussidiaria e di emergenza posti lungo i marciapiedi delle gallerie (sia naturale che artificiale), ad interdistanza pari a 10 m con passo alternato (una sussidiaria e quella successiva di emergenza e così via).

Gli apparecchi previsti sono conformi alla specifica di FN ST 7.5-04 Q "apparecchio illuminante a LED per gallerie ferroviarie" ed in particolare si fa riferimento a:

- tensione di alimentazione 48V dc (range ammesso 38-52 Vdc)
- potenza massima 12 W

La sorgente di alimentazione degli impianti è prevista all'interno dei locali tecnici delle US di pertinenza dei vari tratti di galleria (massimo 500 m), mediante raddrizzatori con uscita a 48V dc.

I calcoli, di cui all'allegato n.2, riguardano i seguenti circuiti tipologici:

- LS luce sussidiaria, di lunghezza massima 600 m con n.max di apparecchi pari a 30
- LE luce emergenza, di lunghezza massima 600 m con n.max di apparecchi pari a 30

Entrambi i circuiti tipologici sono quelli più significativi ed i risultati sono applicabili a tutti i circuiti previsti nell'impianto.

Il calcolo è finalizzato alla verifica della sezione e della caduta di tensione del circuito a 48V dc, in modo da contenere la stessa entro la tensione limite di 38V dc all'ultimo apparecchio della fila.

La formula utilizzata per il calcolo è la seguente:

$$\Delta U = k \times R \times I_b$$

dove:

- $\Delta U$  = caduta di tensione (V/km o mV/m)
- $I_b$  = corrente assorbita dal carico (A)
- $K$  = coefficiente (2 per linee monofasi)
- $R$  = resistenza per fase alla temperatura di regime ( $\Omega$ /km o  $m\Omega$ /m)

Essendo circuiti in corrente continua, la reattanza  $X$  è pari a zero ed il fattore di potenza è pari a 1.

## 9. ALLEGATI

### 9.1. Premessa

Si specifica che i calcoli delle reti di cui ai successivi allegati sono stati sviluppati con i seguenti programmi di calcolo:

- JDC© release 3.1.1 di Prysmian Cavi per le reti MT
- j-proiect© release 6 di Schneider Electric per le reti BT

### 9.2. Allegato n.1

L'allegato n.1 riassume i risultati dei calcoli delle reti elettriche MT delle tratte di cui al paragrafo 3.1

### 9.3. Allegato n.2

L'allegato n.2 riassume i risultati dei calcoli della caduta di tensione relativa al circuito tipico a 48Vdc per illuminazione sussidiaria ed emergenza di galleria, secondo i criteri di calcolo di cui al capitolo 7.

### 9.4. Allegato n.3

L'allegato n.3 ha per oggetto il dimensionamento e coordinamento delle protezioni relative alla rete BT afferente all'uscita di sicurezza tipica (vale per US1, US, US e US4).

Per ogni linea vengono indicate le caratteristiche principali (portata, sezione, caduta di tensione, tipo di posa, ecc.), le correnti di corto circuito nei vari livelli dell'impianto, nonché le caratteristiche dei dispositivi di protezione e la verifica del corretto coordinamento per la protezione contro le sovracorrenti e la protezione delle persone contro i contatti indiretti.

### 9.5. Allegato n.4

L'allegato n.4 ha per oggetto il dimensionamento e coordinamento delle protezioni relative alla rete BT afferente all'uscita di sicurezza US5 - rete normale (da trafo TSA1).

Per ogni linea vengono indicate le caratteristiche principali (portata, sezione, caduta di tensione, tipo di posa, ecc.), le correnti di corto circuito nei vari livelli dell'impianto, nonché le caratteristiche dei dispositivi di protezione e la verifica del corretto coordinamento per la protezione contro le sovracorrenti e la protezione delle persone contro i contatti indiretti.

#### **9.6. Allegato n.5**

L'allegato n.5 ha per oggetto il dimensionamento e coordinamento delle protezioni relative alla rete BT afferente all'uscita di sicurezza US5 - rete riserva (da contatore bt).

Per ogni linea vengono indicate le caratteristiche principali (portata, sezione, caduta di tensione, tipo di posa, ecc.), le correnti di corto circuito nei vari livelli dell'impianto, nonché le caratteristiche dei dispositivi di protezione e la verifica del corretto coordinamento per la protezione contro le sovracorrenti e la protezione delle persone contro i contatti indiretti.

#### **9.7. Allegato n.6**

L'allegato n.6 ha per oggetto il dimensionamento e coordinamento delle protezioni relative alla rete BT afferente all'uscita di sicurezza US6.

Per ogni linea vengono indicate le caratteristiche principali (portata, sezione, caduta di tensione, tipo di posa, ecc.), le correnti di corto circuito nei vari livelli dell'impianto, nonché le caratteristiche dei dispositivi di protezione e la verifica del corretto coordinamento per la protezione contro le sovracorrenti e la protezione delle persone contro i contatti indiretti.

#### **9.8. Allegato n.7**

L'allegato n.7 ha per oggetto il dimensionamento e coordinamento delle protezioni relative alla rete BT afferente all'uscita di sicurezza US7.

Per ogni linea vengono indicate le caratteristiche principali (portata, sezione, caduta di tensione, tipo di posa, ecc.), le correnti di corto circuito nei vari livelli dell'impianto, nonché le caratteristiche dei dispositivi di protezione e la verifica del corretto coordinamento per la protezione contro le sovracorrenti e la protezione delle persone contro i contatti indiretti.

#### **9.9. Allegato n.8**

L'allegato n.8 ha per oggetto il dimensionamento e coordinamento delle protezioni relative alla rete BT afferente alla Cabina TE RFI.

Per ogni linea vengono indicate le caratteristiche principali (portata, sezione, caduta di tensione, tipo di posa, ecc.), le correnti di corto circuito nei vari livelli dell'impianto, nonché le caratteristiche dei dispositivi di protezione e la verifica del corretto coordinamento per la protezione contro le sovracorrenti e la protezione delle persone contro i contatti indiretti.

**9.10. Allegato n.9**

L'allegato n.9 ha per oggetto il dimensionamento e coordinamento delle protezioni relative alla rete BT afferente al fabbricato ACS lato Domodossola.

Per ogni linea vengono indicate le caratteristiche principali (portata, sezione, caduta di tensione, tipo di posa, ecc.), le correnti di corto circuito nei vari livelli dell'impianto, nonché le caratteristiche dei dispositivi di protezione e la verifica del corretto coordinamento per la protezione contro le sovracorrenti e la protezione delle persone contro i contatti indiretti.

**9.11. Allegato n.10**

L'allegato n.10 ha per oggetto il dimensionamento e coordinamento delle protezioni relative alla rete BT afferente alla nuova viabilità SS33 (sottopasso).

Per ogni linea vengono indicate le caratteristiche principali (portata, sezione, caduta di tensione, tipo di posa, ecc.), le correnti di corto circuito nei vari livelli dell'impianto, nonché le caratteristiche dei dispositivi di protezione e la verifica del corretto coordinamento per la protezione contro le sovracorrenti e la protezione delle persone contro i contatti indiretti.

**9.12. Allegato n.11**

L'allegato n.11 ha per oggetto il dimensionamento e coordinamento delle protezioni relative all'alimentazione della nuova elettropompa antincendio della US8 Terminal T2, con allacciamento diretto "a monte" dell'interruttore generale FN.