

A thick dark blue vertical bar is positioned on the left side of the page. A blue arrow-shaped banner points to the right from this bar, containing the date '05/02/2017'. In the lower-left corner, there are several thin, curved, light blue lines that sweep upwards and to the right.

05/02/2017

Distribuzione dell'energia elettrica

Progetto impianto MT/BT

Michy Alice

POLITECNICO DI MILANO

SCUOLA DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE
CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA ELETTRICA

Relazione dimensionamento impianto BT e linea MT

La presente relazione contiene la descrizione della procedura seguita e le ipotesi di progetto per il dimensionamento dei seguenti elementi:

1. Linee BT (di proprietà dell'utente BT).
2. Impianto di rifasamento (di proprietà dell'utente BT).
3. Trasformatore MT/BT.
4. Cavo di collegamento e coordinamento CP-DG, DG-BT.
5. Linea MT di proprietà del DSO.

Laddove necessario sono stati riportati grafici e tabelle provenienti dalle schede tecniche dei fornitori, dalla guida BT Schneider e dalle Norme. Le schede tecniche e le Norme citate sono state aggiunte in allegato.

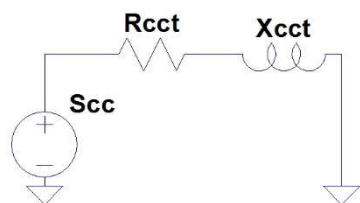
1. Dimensionamento linee BT:

Le operazioni da eseguire sono il dimensionamento delle sezioni dei cavi, il coordinamento cavo interruttore in sovraccarico ed in corto circuito. A valle della procedura seguita si è mostrato, a titolo di esempio, il dimensionamento della linea BT #5.

Si è deciso di utilizzare cavi multipolari isolati in EPR per tutte le linee allo scopo di contenere la sezione dei conduttori e il numero di linee posate in parallelo nel rispetto dei limiti termici dei materiali e dei limiti imposti dalle Norme. La procedura seguita è indicata di seguito:

1. Applicazione coefficienti K_u e K_c alla potenza nominale. K_c è stato assunto pari a 1 (in assenza di ulteriori informazioni) mentre K_u è fissato a 0.8 siccome le utenze verranno utilizzate all'80% in fascia F1 come da indicazioni.
2. Calcolo corrente di impiego $I_b = \frac{K_u K_c S_n}{\sqrt{3} V_n}$ nel caso trifase e $I_b = \frac{K_u K_c S_n}{V_n}$ nel caso monofase.
3. Scelta interruttore automatico tale per cui la corrente nominale dell'interruttore sia maggiore della corrente di impiego $I_n \geq I_b$.
4. Ricerca coefficienti K_1 e K_2 nelle tabelle appropriate (T1A e T2, rispettivamente) della guida BT Schneider e calcolo coefficiente complessivo $K_{tot} = K_1 K_2$.
5. Calcolo corrente fittizia $I'_n = \frac{I_n}{K_{tot}}$ come indicato nella guida. Scelta sezione del cavo multipolare con sezione I'_z in modo che valga $I'_n \leq I'_z$. La portata effettiva del cavo sarà data da $I_z = K_{tot} I'_z$.
6. Verifica che sia rispettata la condizione $I_b \leq I_n \leq I_z$.
7. Calcolo corrente di cortocircuito alla sbarra BT (unica per tutte le 5 utenze, quindi la corrente di cortocircuito trifase da calcolare è unica per tutte le utenze BT avendo ricevuto indicazione di considerare la corrente di cortocircuito trifase anche per le utenze monofase).

Assumendo rete di potenza infinita subito dopo il trasformatore MT/BT e rete a vuoto, il circuito equivalente da risolvere diventa il seguente



Da cui risulta evidente che (in valore assoluto e per unità, avendo assunto come potenza di riferimento la potenza nominale del trasformatore e come tensioni di riferimento la tensione lato MT e la tensione lato BT) $I_{cc_pu} = 1/Z_{cc_trafo_pu}$. Moltiplicando per la corrente di riferimento lato

- BT ($I_{rif_bt} = \frac{S_{rif}}{\sqrt{3}V_{rif_bt}}$), si ottiene la corrente di cortocircuito in valore fisico che risulta circa pari a 22.7 kA a seguito della scelta di un trasformatore caratterizzato da una tensione di corto circuito del 4%. (Per la procedura seguita per il dimensionamento del trasformatore vedere sotto).
- Verifica che il potere di interruzione dell'interruttore sia adeguato, ossia che valga $I_{cu} \geq I_{cc}$ per ogni interruttore scelto.
 - Verifica della condizione $\int_0^{t_i} i^2 dt \leq K^2 S^2$ dalle curve di limitazione di ciascun interruttore (gli interruttori scelti sono tutti limitatori), assumendo $K = 146$ siccome i cavi sono tutti isolati in EPR.
 - Infine, si è verificato che la caduta di tensione su ciascuna linea BT fosse inferiore al 4% (norma CEI 64-8) tramite la formula approssimata $cdt_{\%} = \frac{\sqrt{3}(R_L I_b \cos \varphi + X_L I_b \sin \varphi)}{V_n} 100$ nel caso trifase e $cdt_{\%} = \frac{2(R_L I_b \cos \varphi + X_L I_b \sin \varphi)}{V_n} 100$ nel caso monofase. I valori di resistenza e reattanza dei cavi sono stati ottenuti dalla norma CEI-UNEL 35023 allegata e opportunamente corretti in caso di più linee in parallelo.

Esempio: dimensionamento linea BT #5.

Dati dell'utenza sottesa:

- Potenza apparente: 333333 VA
- Potenza: 300 kW
- Fattore di potenza: 0.9
- Tensione nominale: 400 V (trifase)
- Coefficienti di utilizzo e di contemporaneità: $K_u = 0.8$, $K_c = 1$
- Tipo di posa: su passerella -> posa 13 e posa ravvicinata di 4 circuiti.
- Temperatura di posa: 40 °C
- Lunghezza linea: 30 m.

Calcolo corrente di impiego $I_b = \frac{K_u K_c S_n}{\sqrt{3} V_n} = \frac{0.8 (333333)}{\sqrt{3} (400)} = 384.90 \text{ A}$. Si sceglie un interruttore automatico con $I_n = 400 \text{ A}$.

Dalla tabella T1A si ottiene $K_1 = 1$ considerando 30 °C come temperatura ambiente e isolamento in EPR

| tabella T1A - influenza della temperatura fattore k1 | | |
|---|--------------------|------|
| temperatura ambiente | tipo di isolamento | |
| | PVC | EPR |
| 10 | 1,22 | 1,15 |
| 15 | 1,17 | 1,12 |
| 20 | 1,12 | 1,08 |
| 25 | 1,06 | 1,04 |
| 35 | 0,94 | 0,96 |
| 40 | 0,87 | 0,91 |
| 45 | 0,79 | 0,87 |
| 50 | 0,71 | 0,82 |
| 55 | 0,61 | 0,76 |
| 60 | 0,5 | 0,71 |
| 65 | | 0,65 |
| 70 | | 0,58 |
| 75 | | 0,5 |
| 80 | | 0,41 |

Dalla tabella T2 si ottiene $K_2 = 0.77$ considerata la modalità di posa (posa 13) e il numero complessivo di circuiti in posa ravvicinata (4 = 2 linee parallele per questa utenza + 1 linea per utenza BT#4 + 1 linea per

utenza BT#3)

tabella T2 - circuiti realizzati con cavi installati in fascio o strato fattore k2

| n° di posa CEI 64-8 | disposizione | numero di circuiti o di cavi multipolari | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 12 | 16 | 20 |
| tutte le altre pose | raggruppati a fascio, annegati | 1 | 0,8 | 0,7 | 0,65 | 0,6 | 0,57 | 0,54 | 0,52 | 0,5 | 0,45 | 0,41 | 0,38 |
| 11/12/25 | singolo strato su muro, pavimento o passerelle non perforate | 1 | 0,85 | 0,79 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,71 | 0,7 | nessuna ulteriore riduzione per più di 9 circuiti o cavi multipolari | | |
| 11A | strato a soffitto | 0,95 | 0,81 | 0,72 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,63 | 0,62 | 0,61 | | | |
| 13 | strato su passerelle perforate orizzontali o verticali (perforate o non perforate) | 1 | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | | | |
| 14-15-16-17 | strato su scala posa cavi o graffiato ad un sostegno | 1 | 0,87 | 0,82 | 0,8 | 0,8 | 0,79 | 0,79 | 0,78 | 0,78 | | | |

Si calcola il coefficiente complessivo $K_{tot} = K_1 K_2 = 0.77$ e la corrente fittizia $I'_n = \frac{I_n}{N K_{tot}} = \frac{400}{2 (0.77)} \cong 259.74 \text{ A}$ dove $N = 2$ indica il numero di linee parallele che si è deciso di posare.

Dalla tabella dei cavi unificati si sceglie un cavo con portata $I'_z = 298 \text{ A}$ e sezione pari a 95 mm^2 .

tabella T-B: cavi multipolari con isolamento in PVC o EPR ⁽¹⁾

| metodologia tipica di installazione | altri tipi di posa della CEI 64-8 | tipo di isolamento | numero cond. caricati | portata [A] | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------------------|-----------------------|----------------------------|------|------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | sezione [mm ²] | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 |
| cavo in tubo incassato in parete isolante | 2-51-73-74 | PVC | 2 | | 14,0 | 18,5 | 25 | 32 | 43 | 57 | 75 | 92 | 110 | 139 | 167 | 192 | 219 |
| | | | 3 | | 13,0 | 17,5 | 23 | 29 | 39 | 52 | 68 | 83 | 99 | 125 | 150 | 172 | 196 |
| | | EPR | 2 | | 18,5 | 25,0 | 33 | 42 | 57 | 76 | 99 | 121 | 145 | 183 | 220 | 253 | 290 |
| | | | 3 | | 16,5 | 22,0 | 30 | 38 | 51 | 68 | 89 | 109 | 130 | 164 | 197 | 227 | 259 |
| cavo in tubo in aria | 3A-4A-5A-21 22A-24A-25 33A-31-34A 43-32 | PVC | 2 | 13,5 | 16,5 | 23,0 | 30 | 38 | 52 | 69 | 90 | 111 | 133 | 168 | 201 | 232 | 258 |
| | | | 3 | 12,0 | 15,0 | 20,0 | 27 | 34 | 46 | 62 | 80 | 99 | 118 | 149 | 176 | 206 | 225 |
| | | EPR | 2 | 17,0 | 22,0 | 30,0 | 40 | 51 | 69 | 91 | 119 | 146 | 175 | 221 | 265 | 305 | 334 |
| | | | 3 | 15,0 | 19,5 | 26,0 | 35 | 44 | 60 | 80 | 105 | 128 | 154 | 194 | 233 | 268 | 300 |
| cavo in aria libera, distanziato dalla parete/soffitto o su passerella | 13-14-15-16-17 | PVC | 2 | 15,0 | 22,0 | 30,0 | 40 | 51 | 70 | 94 | 119 | 148 | 180 | 232 | 282 | 328 | 379 |
| | | | 3 | 13,6 | 18,5 | 25,0 | 34 | 43 | 60 | 80 | 101 | 126 | 153 | 196 | 238 | 276 | 319 |
| | | EPR | 2 | 19,0 | 26,0 | 36,0 | 49 | 63 | 86 | 115 | 149 | 185 | 225 | 289 | 352 | 410 | 473 |
| | | | 3 | 17,0 | 23,0 | 32,0 | 42 | 54 | 75 | 100 | 127 | 158 | 192 | 246 | 298 | 346 | 399 |
| cavo in aria libera, fissato alla parete/soffitto | 11-11A-52-53-12 | PVC | 2 | 15,0 | 19,5 | 27,0 | 36 | 46 | 63 | 85 | 112 | 138 | 168 | 213 | 258 | 299 | 344 |
| | | | 3 | 13,5 | 17,5 | 24,0 | 32 | 41 | 57 | 76 | 96 | 119 | 144 | 184 | 223 | 259 | 299 |
| | | EPR | 2 | 19,0 | 24,0 | 33,0 | 45 | 58 | 80 | 107 | 138 | 171 | 209 | 269 | 328 | 382 | 441 |
| | | | 3 | 17,0 | 22,0 | 30,0 | 40 | 52 | 71 | 96 | 119 | 147 | 179 | 229 | 278 | 322 | 371 |

(1) PVC: mescola termoplastica a base di polivinilcloruro (temperatura massima del conduttore uguale a 70 °C).

EPR: mescola elastomerica reticolata a base di gomma etilenpropilenica o similari (temperatura massima del conduttore uguale a 90 °C).

La portata effettiva della singola conduttura è pari $I_z = K_{tot} I'_z = 0.77(298) = 229.46 \text{ A}$. Il parallelo delle due condutture scelte garantisce una portata pari a $I_{zp} = 2I_z = 458.92 \text{ A}$. La condizione $I_b \leq I_n \leq I_z$ è rispettata. L'interruttore automatico scelto presenta le seguenti caratteristiche:

- Modello: NSX400F.
- Produttore: Schneider Electric.
- Tipologia: 3P + N, interruttore limitatore.
- Corrente nominale: 400 A.
- Potere di interruzione $I_{cu} = 36 \text{ kA}$.
- Tensione nominale: 400 V (massima di esercizio 800 V).

Per il coordinamento in corto circuito, si constata immediatamente che a fronte di una corrente di cortocircuito alla sbarra BT pari a 22.7 kA, il potere di interruzione dell'interruttore è adeguato e permette di rispettare la condizione $I_{cu} \geq I_{cc}$. Inoltre, considerando $k = 146$ per le condutture isolate in EPR, risulta verificata la condizione $\int_0^{t_i} i^2 dt \leq K^2 S^2$ infatti $2000000 \text{ A}^2\text{s}^2 < 4891169 \text{ A}^2\text{s}^2$.

I cavi scelti presentano una resistenza pari a $0.260 \frac{\Omega}{km}$ e una reattanza (a 50 Hz) pari a $0.069 \frac{\Omega}{km}$. La resistenza e reattanza della linea vengono calcolate come segue:

2. Dimensionamento impianto di rifasamento

Si è deciso di installare un banco di condensatori di rifasamento fisso, collegato a triangolo (la tensione nominale dei condensatori di rifasamento è quindi scelta pari a 400V). Ovviamente l'impianto di rifasamento dovrà essere disinserito quando le utenze sono inattive al fine di non immettere potenza reattiva in rete.

La potenza attiva considerata per il rifasamento è pari all'80% della potenza nominale (coefficiente K_u). La procedura è la seguente:

1. Calcolo della potenza reattiva necessaria tramite la relazione $Q_c = K_u P (\tan \varphi - \tan \varphi')$ dove φ' è l'arcoseno del fattore di potenza desiderato (pari a 0.95 per tutte le linee BT). La potenza reattiva totale richiesta è pari a 92.37 kVar e la capacità richiesta risulta pari a 1 mF.
2. Calcolo fusibile necessario per la protezione ricordando che per impianti di I categoria: la corrente nominale del fusibile del banco di rifasamento deve essere 1.5 volte la corrente nominale del banco di rifasamento ossia $I_{n_{fus}} = 1.5 I_{nc} = I_{bc}$. Si ottiene una corrente nominale minima del fusibile leggermente inferiore a 200 A. La taglia commerciale disponibile più vicina alla specifica è esattamente 200 A.
3. Dimensionamento linea banco di rifasamento seguendo i criteri per il dimensionamento di una linea BT come sopra ma modificando il criterio guida come segue per tenere conto dell'utilizzo di un fusibile al posto di un interruttore automatico: $I_b \leq I_n \leq \frac{1.45}{1.6} I_z$. La condizione risulta verificata con $133.32 A \leq 200 A \leq \frac{1.45}{1.6} 233 A = 211.15 A$.
4. La conduttura ottenuta ha una sezione di 95 mm². Siccome si tratta di una linea di soli tre metri non conviene mettere più linee in parallelo. Si mantiene la sezione pari a 95 mm².
5. Si verificano le condizioni $I_{cu} \geq I_{cc}$ e $\int_0^{t_i} i^2 dt \leq K^2 S^2$ utilizzando $K = 146$ (isolamento linea in EPR), $I_{cu} = 200 kA$ e energia specifica passante ricavata dalle curve di limitazione del fusibile del fornitore Italweber (vedere curva di limitazione sotto e scheda tecnica in allegato).
6. La caduta di tensione sulla linea è trascurata essendo molto piccola (abbondantemente inferiore al 4%).

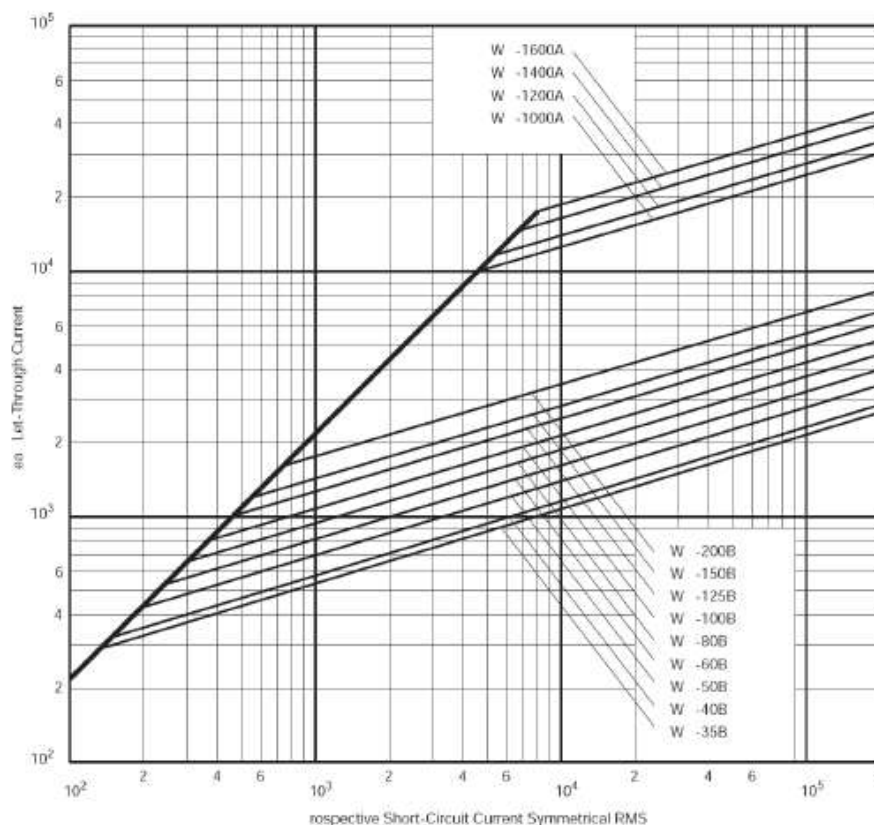
Il fusibile scelto presenta le seguenti caratteristiche:

- Modello: fusibile serie FWH W -200B
- Produttore: Italweber
- Tensione nominale: 400 V.
- Corrente nominale: 200 A.
- Potere di interruzione $I_{cu} = 200 kA$.

Curva di limitazione del fusibile:

Caratteristiche di limitazione:

Cut off characteristics:



3. Dimensionamento trasformatore MT/BT

Per il dimensionamento del trasformatore si è deciso di fare le seguenti ipotesi:

1. Coefficiente $K_u = 0.8$ e coefficiente $K_c = 1$.
2. L'impianto di rifasamento non viene considerato in quanto potrebbe guastarsi.
3. Si trascurano le perdite sulle linee BT.

La potenza apparente richiesta è circa 521 kVA. La potenza nominale disponibile più vicina al valore richiesto è pari a 630 kVA. Si sceglie quindi, dalla guida BT Schneider, un trasformatore a olio di potenza nominale 630 kVA, tensioni nominali 20 kV e 400 V e tensione di corto circuito pari a 4%.

| trasformatore in olio a norma CEI 14-34 lista A | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| potenza nominale [kVA] | 100 | 160 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 |
| corrente nominale secondaria [A] | 145 | 231 | 361 | 455 | 578 | 723 | 910 | 1156 | 1445 | 1806 | 2312 | 2890 |
| perdite [kW] | a vuoto | | | | | | | | | | | |
| | 0,32 | 0,46 | 0,65 | 0,77 | 0,93 | 1,10 | 1,30 | 1,50 | 1,70 | 2,10 | 2,60 | 3,20 |
| a carico (75°C) | 1,75 | 2,35 | 3,25 | 3,90 | 4,60 | 5,50 | 6,50 | 9,00 | 10,50 | 13,10 | 17,00 | 22,00 |
| | 26,50 | 30,50 | 36,13 | 43,35 | 50,50 | 57,8 | 64,00 | 72,3 | 80,0 | 89,0 | 99,0 | 110,0 |
| tensione di cortocircuito % (75°C) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| corrente a vuoto % | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 2 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 |
| resistenza equivalente a 75°C [mΩ] | 27,93 | 14,65 | 8,30 | 6,27 | 4,59 | 3,51 | 2,61 | 2,24 | 1,68 | 1,34 | 1,06 | 0,88 |
| reattanza equivalente [mΩ] | 57,58 | 37,22 | 24,22 | 19,32 | 15,33 | 12,31 | 9,82 | 11,79 | 9,45 | 7,56 | 5,91 | 4,72 |
| impedenza equivalente a 75°C [mΩ] | 64,00 | 40,00 | 25,60 | 20,32 | 16,00 | 12,80 | 10,16 | 12,00 | 9,60 | 7,68 | 6,00 | 4,80 |
| corrente di cortocircuito trifase a valle [kA] | 3,6 | 5,7 | 8,9 | 11,2 | 14,2 | 17,6 | 22,1 | 18,8 | 23,3 | 28,9 | 36,6 | 45,2 |
| condotto Canalis | tipo | | | | | | | | | | | |
| compatto Cu | In [A] | | | | | | | | | | | |
| condotto Canalis | tipo | | | | | | | | | | | |
| compatto Al | In [A] | | | | | | | | | | | |

Il trasformatore è evidentemente sovradimensionato rispetto al carico: ritengo la cosa accettabile in quanto l'alternativa sarebbe stata scegliere un trasformatore con potenza apparente pari a 500 kVA sotto le ipotesi che tutte le utenze BT non vengano utilizzate contemporaneamente ($K_c < 1$), l'impianto di

rifasamento non si guasti mai e l'impianto BT non venga mai ampliato. Siccome il trasformatore è una parte vitale dell'impianto, date le informazioni disponibili e anche in previsione di futuri possibili ampliamenti, è accettabile un margine nel dimensionamento della macchina.

4. Dimensionamento cavo di Collegamento

Il cavo di collegamento viene dimensionato seguendo le indicazioni della norma CEI-016. Si fissa una sezione pari a 95 mm^2 rispettando le condizioni $I_b \leq I_n \leq I_z$ per il coordinamento in sovraccarico, e le condizioni $\int_0^{t_i} i^2 dt \leq K^2 S^2$ e $I_{cu} \geq I_{cc}$ richieste per il coordinamento in corto circuito, scegliendo un opportuno interruttore automatico con le caratteristiche indicate nel foglio di calcolo.

L'interruttore da utilizzare deve presentare le seguenti caratteristiche:

- Tipologia: 3P, interruttore non limitatore, $t_i = 0.1 \text{ s}$.
- Corrente nominale: 20 A.
- Potere di interruzione $I_{cu} > 5.15 \text{ kA}$.
- Tensione nominale: 20 kV.

5. Dimensionamento linea MT

La linea MT da dimensionare presenta le seguenti caratteristiche:

1. Linea MT radiale.
2. Stato del neutro: neutro isolato.
3. Lunghezza: 4 km.
4. Modalità di posa: cavi in tubi protettivi interrati, codice posa da determinare in base alla tabella nella norma CEI-UNEL 35027 (vedere sotto nella parte di dimensionamento cavo).
5. Tensione nominale 20 kV.
6. Temperatura di installazione: 30°C . (Questa specifica è stata assunta siccome viene indicato nella consegna che dove non è fornita alcuna indicazione la temperatura da considerare è 30°C , in caso la temperatura fosse inferiore l'ipotesi di 30°C risulta conservativa e quindi accettabile).

Nel dimensionamento della linea MT si è scelto di trascurare le perdite del trasformatore MT/BT.

Dimensionamento cavo MT



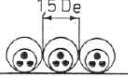
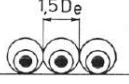
Il dimensionamento viene effettuato seguendo la norma CEI-UNEL 35027 allegata.

In assenza di informazioni più specifiche, si è deciso di considerare le condizioni nominali per il dimensionamento laddove nessuna specifica è stata indicata:

1. Temperatura di posa: 30°C . $K_{tt} = 0.88$.
2. Distanza di posa: 70 mm. Nessuna ulteriore correzione. Utilizzando 2 cavi tripolari in parallelo in tubi protettivi interrati, il codice identificativo della posa è E2 (CEI-UNEL 35027).
3. Profondità di posa: 0.8 m. $K_p = 1$.
4. Resistività termica del terreno pari a 1.5 Km/W . $K_r = 1$.
5. Si assume che i tubi siano in materiale plastico. Nessuna ulteriore correzione.

I coefficienti e la posa sono stati ottenuti seguendo le indicazioni della norma CEI-UNEL 35027. Si riporta la tabella contenente la codifica della posa scelta

E. Cavi entro tubo (interrato)

| RIF. | NUMERO E DISPOSIZIONE DEI CAVI | TRIPOLARI | UNIPOLARI |
|------|--|---|--|
| E 1 | Un solo cavo entro tubo |  | — |
| E 2 | Due cavi, ciascuno entro un tubo; tubi adiacenti, in orizzontale |  | — |
| E 3 | Tre cavi, ciascuno entro un tubo; tubi adiacenti, in orizzontale |  |  |

La corrente di impiego calcolata è pari a circa 246A.

Si sceglie un interruttore MT Schneider con corrente nominale pari a 400 A. Si calcola la corrente nominale fittizia $I'_n = \frac{I_n}{K_{tot}}$ dove $K_{tot} = K_{tt}K_pK_r$ ottenendo circa 455 A.

Si sceglie di posare 2 cavi tripolari RG7H10R con U0/U=12/20 kV e portata nominale $I'_z = 252$ A con sezione pari a 150 mm². La portata effettiva della conduttura risulta pari a circa 444 A soddisfacendo pertanto il criterio $I_b \leq I_n \leq I_z$. Di seguito la portata dei cavi MT U0/U=12/20 kV in condizioni nominali secondo la norma CEI-UNEL 35027:

Tabella 15 – Cavi tripolari – Posa interrata
Tensione di isolamento $U_0/U = 12/20$ kV

| Tipo di cavo Tensione nominale | Sezione mm ² | Modalità di posa e portate di corrente (A) | | | | | |
|---|----------------------------|--|---------|-----|-----|-----|-----|
| | | D1 | D2 | D3 | E1 | E2 | E3 |
| RG7H1OR <i>U₀/U=12/20 kV</i> | 10 | - | - | - | - | - | - |
| | 16 | - | - | - | - | - | - |
| | 25 | - | - | - | - | - | - |
| | 35 | 152 | 128 | 113 | 134 | 115 | 101 |
| | 50 | 180 | 151 | 133 | 159 | 135 | 119 |
| | 70 | 220 | 184 | 162 | 195 | 165 | 145 |
| | 95 | 263 | 220 | 193 | 234 | 198 | 173 |
| | 120 | 299 | 249 | 218 | 266 | 225 | 197 |
| | 150 | 334 | 278 | 243 | 298 | 252 | 220 |
| | 185 | 377 | 314 | 274 | 338 | 285 | 249 |
| | 240 | 437 | 362 | 316 | 392 | 331 | 288 |
| | 300 | 493 | 408 | 356 | 444 | 374 | 325 |
| Temperatura massima del conduttore | | 90 | °C | | | | |
| Temperatura ambiente | | 20 | °C | | | | |
| Profondità di posa (al centro del circuito) | | 0,8 | m | | | | |
| Resistività termica media radiale | | 1,5 | K · m/W | | | | |
| Connessione schermi metallici in cortocircuito e a terra ad entrambe le estremità | | | | | | | |

NGELET in data 09/10/2009 da CEI-Comitato Elettrotecnico Italiano

Si calcola la caduta di tensione sulla linea MT verificando che sia inferiore al 4%. I valori di resistenza e reattanza sono quelli indicati dal costruttore La Triveneta cavi (in allegato e riportati di seguito per comodità).

Caratteristiche elettriche

| Formazione | Resistenza elettrica a 20°C | Resistenza apparente a 90°C e 50Hz | Reattanza di fase | Capacità a 50Hz |
|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------|--------------------|
| n° x mm ² | Ω/Km | Ω/km | Ω/Km | μF/km |
| 3 x 35 | 0,524 | 0,669 | 0,13 | 0,17 |
| 3 x 50 | 0,387 | 0,494 | 0,12 | 0,18 |
| 3 x 70 | 0,268 | 0,342 | 0,11 | 0,21 |
| 3 x 95 | 0,193 | 0,247 | 0,10 | 0,23 |
| 3 x 120 | 0,153 | 0,197 | 0,10 | 0,25 |
| 3 x 150 | 0,124 | 0,159 | 0,10 | 0,27 |
| 3 x 185 | 0,0991 | 0,129 | 0,098 | 0,29 |
| 3 x 240 | 0,0754 | 0,0990 | 0,094 | 0,32 |
| 3 x 300 | 0,0601 | 0,0807 | 0,092 | 0,35 |

La caduta di tensione calcolata risulta pari allo 0.66% ed è quindi abbondantemente inferiore al 4%.

La corrente di corto circuito è calcolata ipotizzando rete di potenza infinita subito dopo il trasformatore AT/MT e risulta pari (lato MT) a circa 5.15 kA a fronte di una impedenza di corto circuito del trasformatore pari al 14%.

L'interruttore automatico scelto è il modello SF1 dal catalogo media tensione della Schneider con tensione nominale pari a 24 kV, corrente nominale 400 A e Icu pari a 25 kA.

Il calcolo dell'integrale di Joule è stato approssimato come $\int_0^{t_i} i^2 dt \cong I_{cc}^2 t_i$ è stato effettuato considerando un interruttore non limitatore e $t_i = 0.1$ s. Risultano soddisfatte le condizioni per il coordinamento in corto circuito $\int_0^{t_i} i^2 dt \leq K^2 S^2$ e $I_{cu} \geq I_{cc}$, utilizzando un interruttore automatico con le seguenti caratteristiche:

- Modello: SF1.
- Produttore: Schneider Electric.
- Tipologia: 3P, interruttore non limitatore, $t_i = 0.1$ s.
- Corrente nominale: 400 A.
- Potere di interruzione Icu = 25 kA.
- Tensione nominale: 20 kV.

The assets of a tried-and-tested technology

SF is an indoor SF6 circuit breaker range for use in medium voltage network applications, in new installations or renovation projects, and provides protection for all types of application up to 40.5 kV and 3150 A. It complies with IEC standard.



SF1 circuit breakers fixed version from 12 kV to 36 kV



SF2 circuit breakers fixed version from 24 kV to 40.5 kV



SF2 F400 circuit breakers withdrawable version from 24 kV to 40.5 kV

Main characteristics

- Range of three-pole circuit-breakers up to 40.5 kV
- Fixed switchgear, left or right MV connection, side or front operating mechanism
- Nominal current from 400 to 3150 A
- Short-circuit current from 12.5 to 40 kA
- SF1 Fixed: up to 36 kV, 1250 A and 25 kA breaking current
- SFset Fixed: up to 24 kV, 1250 A and 25 kA breaking current
- SF2 Fixed: up to 40.5 kV, 3150 A and 40 kA breaking current
- SF F400 Withdrawable: up to 40.5 kV, 3150 A and 40 kA breaking current
- Mechanical endurance: M2 (10000 operations)
- Electrical endurance: E2
- Capacitive current breaking: C2

Key applications

Utilities - Industry - Infrastructure
(please see page 12 for more details)



+ Comprehensive range
Field-proven expertise
Compact and reliable
Peace of mind

Technical characteristics

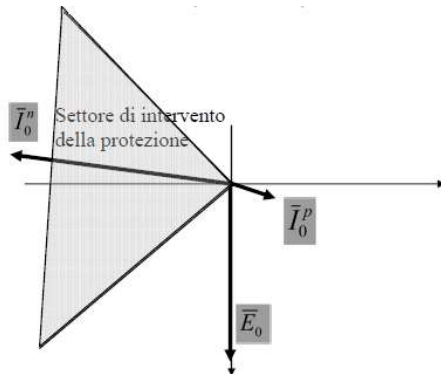
| | | SF1 | SFset | SF2 | SF1 | SFset | SF2 | SF1 | SFset | SF2 | SF1 | SFset | SF2 | SF1 | SFset | SF2 |
|------------------------------|-------------------------|------|-------|-----|------|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|------|-------|-----|
| Rated voltage | Ur (kV) | 12 | | | 17.5 | | | 24 | | | 36 | | | 40.5 | | |
| Rated insulation level | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Power frequency withstand | Ud 50Hz, 1 min (kV rms) | 28 | | | 38 | | | 50 | | | 70 | | | 95 | | |
| Lightning impulse withstand | Up 1.2/50 µs (kV peak) | 75 | | | 95 | | | 125 | | | 170 | | | 185 | | |
| Rated current | In (A) | 400 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 630 | ■ | ■ | - | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | - | | | | | | |
| | 1250 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | - | ■ |
| | 2500 | | | | | | | | | | - | - | ■ | | | |
| | 3150 | | | | | | | - | - | ■ | | | | | | |
| Short-time withstand current | Ith (kA/3s) | 12.5 | | | ■ | ■ | - | ■ | ■ | - | ■ | ■ | - | | | |
| | 16 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | - | | |
| | 20 | | | | ■ | ■ | - | ■ | ■ | - | ■ | ■ | - | | | |
| | 25 | ■ | ■ | - | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 31.5 | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| | 40 | | | | | | | - | - | ■ | - | - | ■ | | | |

■ Available.
- Non available.

Protezioni linea MT neutro isolato

Siccome la rete MT è a neutro isolato, si utilizzano le seguenti protezioni:

1. Protezioni direzionali di terra, codice ANSI 67N (protezioni direzionali varmetriche) per la protezione contro i guasti a terra. Settore di intervento qualitativo per NI:

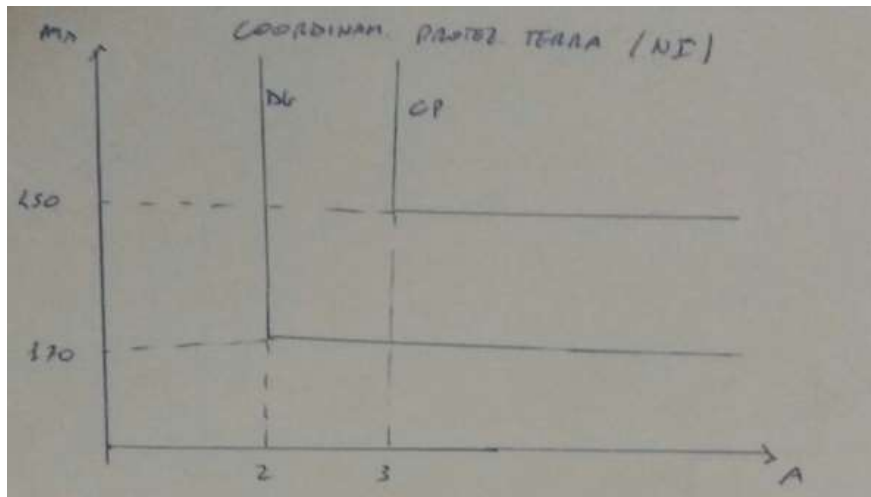


2. Protezioni di massima corrente di fase, codice ANSI 50-51 per guasti bifase e trifase non riguardanti la terra.

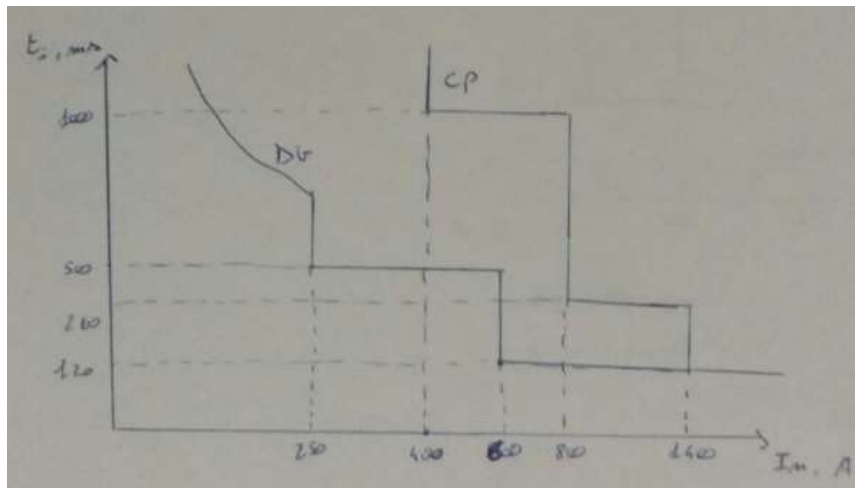
Curve coordinamento CP-DG e DG-BT(In max):

I coordinamenti sono stati effettuati secondo la norma CEI-016. L'interruttore di cabina primaria è di proprietà del DSO mentre il dispositivo generale è di proprietà dell'utente.

Coordinamento protezioni di terra interruttore di cabina primaria (CP) e dispositivo generale (DG):



Coordinamento protezioni di fase interruttore di cabina primaria (CP) e dispositivo generale (DG):



Coordinamento dispositivo generale (DG) e interruttore BT associato alla corrente nominale massima:

