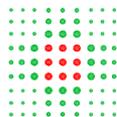


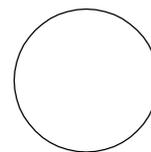
COMUNE DI BENTIVOGLIO



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA
Azienda Unità Sanitaria Locale di Bologna
Dipartimento Tecnico Patrimoniale

Istituto delle Scienze Neurologiche
Istituto di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico

N° Progr.



CONSEGNA

VERIFICA/VALIDAZIONE/APPROVAZIONE

DATA E PROT.

DATA E PROT.

TIMBRI E FIRME DI ATTESTAZIONE DELLA VERIFICA/VALIDAZIONE

SOSTITUZIONE GRUPPO FRIGORIFERO A SERVIZIO OSPEDALE DI BENTIVOGLIO

PROGETTO ESECUTIVO

SPAZIO RISERVATO PER APPROVAZIONE TITOLO EDILIZIO



PROGETTO ARCHITETTONICO

PROGETTO STRUTTURALE

PROPRIETA'
AZIENDA USL
DI BOLOGNA
DELEGATO CON DELIBERA
N. 302 del 2/10/2018
IL DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO
TECNICO PATRIMONIALE
(Ing. Francesco Rainaldi)

PROGETTO IMPIANTI ELETTRICI

PROGETTO IMPIANTI MECCANICI

DIRETTORE GENERALE
Dott. ssa Chiara Gibertoni

Ing. Davide Canarini

Per. Ind. Giovanni Bonfiglioli

COORDINATORE SICUREZZA FASE PROGETTAZIONE

COORDINATORE SICUREZZA FASE ESECUZIONE

RESPONSABILE
RESPONSABILE PROCEDIMENTO
Ing. Pasquale Romio

Ing. Francesco Maria Francavilla

PRESIDIO: **OSPEDALE DI BENTIVOGLIO**

COLLABORATORE/ESTENSORE

EDIFICIO: **CENTRALE FRIGORIFERA**

CODICE EDIFICIO
140C

PIANO: **TERRA E COPERTURA**

DIREZIONE LAVORI

ELABORATO:

**RELAZIONE DI CALCOLO
IMPIANTI ELETTRICI**

CODICE PROG. ELAB. N.
PE IE RC

SOSTITUISCE IL N.

SOSTITUITO DAL N.

ARCHIVIO USL N.:

DATA: GENNAIO 2019

SCALA:
1:50 1:200

REFERENTE AMMINISTRATIVO:

AGGIORNAMENTI

ARCHIVIO N.:

FILE:

MOD01 PsqB01 ADT
Rev. 5.1 del 26/10/2016

1		3	
2		4	

RELAZIONE SUL CALCOLO ESEGUITO

RELAZIONE SUL CALCOLO ESEGUITO

Calcolo delle correnti di impiego

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

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

nella quale:

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

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

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

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

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

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

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

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

Per le utenze terminali la potenza P_n è la potenza nominale del carico, mentre per le utenze di distribuzione P_n rappresenta la somma vettoriale delle P_d delle utenze a valle (ΣP_d a valle).

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

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

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

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

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

Dimensionamento dei cavi

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

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

$$\begin{aligned} a) \quad & I_b \leq I_n \leq I_z \\ b) \quad & I_f \leq 1.45 \cdot I_z \end{aligned}$$

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

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

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

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Elenchiamo alcune tabelle, indicate per il mercato italiano:

- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR);
- IEC 60364-5-52 (Mineral);
- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026;
- CEI 20-91 (HEPR).

Im media tensione, la gestione del calcolo si divide a seconda delle tabelle scelte:

- CEI 11-17;
- CEI UNEL 35027 (1-30kV).
- EC 60502-2 (6-30kV)
- IEC 61892-4 off-shore (fino a 30kV)

Il programma gestisce ulteriori tabelle, specifiche per alcuni paesi. L'elenco completo è disponibile nei Riferimenti normativi.

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

declassamento.

La portata minima del cavo viene calcolata come:

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

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

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

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

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

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

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

Integrale di Joule

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

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

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

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

Cavo in rame e isolato in PVC:	$K = 115$
Cavo in rame e isolato in gomma G:	$K = 135$
Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7:	$K = 143$
Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	$K = 115$
Cavo in rame serie L nudo:	$K = 200$
Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	$K = 115$
Cavo in rame serie H nudo:	$K = 200$
Cavo in alluminio e isolato in PVC:	$K = 74$
Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7:	$K = 92$

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

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

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

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

Dimensionamento dei conduttori di neutro

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

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

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

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

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore in questione secondo i seguenti

vincoli dati dalla norma:

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

Il secondo criterio consiste nell'impostare il rapporto tra le portate del conduttore di fase e il conduttore di neutro, e il programma determinerà la sezione in base alla portata.

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

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

Dimensionamento dei conduttori di protezione

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

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

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

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

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

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

dove:

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

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

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

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

- 2,5 mm² rame o 16 mm² alluminio se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm² o 16 mm² alluminio se non è prevista una protezione meccanica;

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

Nei sistemi TT, la sezione dei conduttori di protezione può essere limitata a:

- 25 mm², se in rame;
- 35 mm², se in alluminio;

Calcolo della temperatura dei cavi

La valutazione della temperatura dei cavi si esegue in base alla corrente di impiego e alla corrente nominale tramite le seguenti espressioni:

$$T_{cavo}(I_b) = T_{ambiente} + \left(\alpha_{cavo} \cdot \frac{I_b^2}{I_z^2} \right)$$

$$T_{cavo}(I_n) = T_{ambiente} + \left(\alpha_{cavo} \cdot \frac{I_n^2}{I_z^2} \right)$$

esprese in °C.

Esse derivano dalla considerazione che la sovratemperatura del cavo a regime è proporzionale alla potenza in esso dissipata.

Il coefficiente α_{cavo} è vincolato dal tipo di isolamento del cavo e dal tipo di tabella di posa che si sta usando.

Cadute di tensione

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

$$c.d.t(ib) = \max \left(\left| \sum_{i=1}^k \dot{Z}f_i \cdot \dot{I}f_i - \dot{Z}n_i \cdot \dot{I}n_i \right| \right)_{f=R,S,T}$$

con f che rappresenta le tre fasi R, S, T;

con n che rappresenta il conduttore di neutro;

con i che rappresenta le k utenze coinvolte nel calcolo;

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

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

con:

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

I parametri R_{cavo} e X_{cavo} sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione del tipo di cavo (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a 70° C per i cavi con isolamento PVC, a 90° C per i cavi con isolamento EPR; mentre il secondo è riferito a 50Hz, ferme restando le unità di misura in Ω/km .

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

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

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

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

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

Rifasamento

Il rifasamento è quell'operazione che tende a limitare la potenza reattiva assorbita, portando il valore del fattore di potenza al di sopra di una soglia ritenuta "buona" e normalmente riconosciuta pari ad un valore da 0,9 a 0,95. Con $\cos \varphi = 0.9$, la potenza prelevata ha una componente attiva del 90%, mentre quella reattiva è del 43%. Con $\cos \varphi = 0.95$, la potenza prelevata ha una componente attiva del 95%, mentre quella reattiva è del 31%.

In generale il rifasamento si esegue con dei condensatori che compensano la potenza reattiva che di solito è di tipo induttiva. Se un carico assorbe la potenza attiva P_n e la potenza reattiva Q , per diminuire φ e quindi aumentare $\cos \varphi$ senza variare P_n (cioè per passare a $\Theta < \varphi$) si deve mettere in gioco una potenza Q_{rif} di segno opposto a quello di Q tale che:

$$Q_{rif} = P_n \cdot (\tan \varphi - \tan \Theta)$$

nella quale Θ è l'angolo corrispondente al fattore di potenza a cui si vuole rifasare. Tale valore oscilla tra 0.9 e 0.95 a seconda del tipo di contratto di fornitura.

Il rifasamento può essere eseguito in due modalità:

- distribuito;
- centralizzato.

Tale scelta va valutata al fine di ottimizzare i costi ed i risultati finali, quindi le batterie di condensatori

potranno essere inseriti localmente in parallelo ad un carico terminale, oppure centralizzato per rifasare un determinato nodo della rete.

Se la rete dispone di trasformatori, possono essere inserite anche batterie di rifasamento a valle degli stessi per compensare l'energia reattiva assorbita a vuoto dalla macchina.

La corrente nominale della batteria di condensatori viene calcolata tramite la:

$$I_{nc} = \frac{Q_{rif}}{k_{ca} \cdot V_n}$$

nella quale Q_{rif} viene espressa in kVAR.

Le correnti nominali e di taratura delle protezioni devono tenere conto (CEI 33-5) che ogni batteria di condensatori può sopportare costantemente un sovraccarico del 30% dovuto alle armoniche; inoltre deve essere ammessa una tolleranza del +15% sul valore reale della capacità dei condensatori.

Pertanto la corrente nominale dell'interruttore deve essere almeno di $I_{arth} = 1.53 I_{nc}$.

Infine la taratura della protezione magnetica non dovrà essere inferiore a $I_{tarmag} = 10 I_{nc}$

Fornitura della rete

La conoscenza della fornitura della rete è necessaria per l'inizializzazione della stessa al fine di eseguire il calcolo dei guasti.

Le tipologie di fornitura possono essere:

- in bassa tensione
- in media tensione
- in alta tensione
- ad impedenza nota
- in corrente continua

I parametri trovati in questa fase servono per inizializzare il calcolo dei guasti, ossia andranno sommati ai corrispondenti parametri di guasto della utenza a valle. Noti i parametri alle sequenze nel punto di fornitura, è possibile inizializzare la rete e calcolare le correnti di cortocircuito secondo le norme CEI EN 60909-0.

Tali correnti saranno utilizzate in fase di scelta delle protezioni per la verifica dei poteri di interruzione delle apparecchiature.

Media e Alta tensione

Nel caso in cui la fornitura sia in media o alta tensione si considerano i seguenti dati di partenza:

- Tensione di fornitura V_{mt} (in kV);
- Corrente di corto circuito trifase massima, I_{kmax} (in kA);
- Corrente di corto circuito monofase a terra massima, $I_{k1ftmax}$ (in kA);

Se si conoscono si possono aggiungere anche le correnti:

- Corrente di corto circuito trifase minima, I_{kmin} (in kA);
- Corrente di corto circuito monofase a terra minima, $I_{k1ftmin}$ (in kA);

Dai dati si ricavano le impedenze equivalenti della rete di fornitura per determinare il generatore equivalente di tensione.

$$Z_{ccmt} = \frac{1,1 \cdot V_{mt}}{\sqrt{3} \cdot I_{k \max}} \cdot 1000$$

da cui si ricavano le componenti dirette:

$$\cos \varphi_{ccmt} = \sqrt{1 - (0,995)^2}$$

$$X_{dl} = 0,995 \cdot Z_{ccmt}$$

$$R_{dl} = \cos \varphi_{ccmt} \cdot Z_{ccmt}$$

e le componenti omopolari:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot V_{mt}}{I_{k1ft \max}} \cdot 1000 \cdot \cos \varphi_{ccmt} - (2 \cdot R_{dl})$$

$$X_0 = R_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{(\cos \varphi_{ccmt})^2} - 1}$$

Trasformatori

Se nella rete sono presenti dei trasformatori a due avvolgimenti, i dati di targa richiesti sono:

- Potenza nominale P_n (in kVA);
- Perdite di cortocircuito P_{cc} (in W);
- Tensione di cortocircuito V_{cc} (in %)
- Rapporto tra la corrente di inserzione e la corrente nominale I_{lr}/I_{rt} ;
- Rapporto tra la impedenza alla sequenza omopolare e quella di corto circuito;
- Tipo di collegamento;
- Tensione nominale del primario V_1 (in kV);
- Tensione nominale del secondario V_{02} (in V).

Dai dati di targa si possono ricavare le caratteristiche elettriche dei trasformatori, ovvero:

Impedenza di cortocircuito del trasformatore espressa in $m\Omega$:

$$Z_{cct} = \frac{V_{cc}}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

Resistenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

$$R_{cct} = \frac{P_{cc}}{1000} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n^2}$$

Reattanza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

$$X_{cct} = \sqrt{Z_{cct}^2 - R_{cct}^2}$$

L'impedenza a vuoto omopolare del trasformatore viene ricavata dal rapporto con l'impedenza di cortocircuito dello stesso:

$$Z_{vot} = Z_{cct} \cdot \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)$$

dove il rapporto Z_{vot}/Z_{cct} vale usualmente 10-20.

In uscita al trasformatore si otterranno pertanto i parametri alla sequenza diretta, in mΩ:

$$Z_d = |\dot{Z}_{cct}| = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

nella quale:

$$R_d = R_{cct}$$

$$X_d = X_{cct}$$

I parametri alla sequenza omopolare dipendono invece dal tipo di collegamento del trasformatore in quanto, in base ad esso, abbiamo un diverso circuito equivalente.

Pertanto, se il trasformatore è collegato triangolo/stella (Dy), si ha:

$$R_{ot} = R_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}$$

$$X_{ot} = X_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}$$

$$Z_{ot} = Z_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)}$$

Diversamente, se il trasformatore è collegato stella/stella (Yy) avremmo:

$$R_{ot} = R_{cct} \cdot \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)$$

$$X_{ot} = X_{cct} \cdot \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)$$

$$Z_{ot} = Z_{cct} \cdot \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}}\right)$$

Fattore di correzione per trasformatori, CEI EN 60909-0 (3.3.3)

Per i trasformatori con verso di potenza positiva, a due avvolgimenti con e senza variazione sotto carico, si deve introdurre un fattore di correzione di impedenza K_T tale che:

$$\begin{aligned} Z_{cctK} &= K_T \cdot Z_{cct} \\ Z_{otK} &= K_T \cdot Z_{ot} \\ K_T &= 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} \end{aligned}$$

dove

$$x_T = \frac{X_{cct}}{V_{02}^2 / P_n}$$

è la reattanza relativa del trasformatore e C_{\max} è preso dalla tabella 1 ed è relativo alla tensione lato bassa del trasformatore.

Tale fattore deve essere applicato sia alla impedenza diretta che a quelle omopolari.

Non va applicato agli autotrasformatori.

Generatori sincroni

In media tensione ed in bassa tensione è possibile inserire più generatori.

I dati di targa richiesti per i generatori sono:

- potenza nominale P_n (in kVA);

- reattanza sincrona percentuale x_s ;
- reattanza subtransitoria percentuale x'' ;
- reattanza subtransitoria in quadratura percentuale x''_q ;
- reattanza alla sequenza omopolare percentuale x_0 .

La reattanza subtransitoria si calcola con la formula:

$$X'' = \frac{x''}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

dalla quale si ricavano le componenti alla sequenza diretta da usare nel calcolo dei guasti subtransitori:

$$\begin{aligned} R_d &= 0 \\ X_d &= X'' \end{aligned}$$

La componente resistiva si trascura rispetto alla componente reattiva del generatore.

L'impedenza sincrona, da usare nei guasti simmetrici permanenti, si calcola con la formula:

$$X_s = \frac{x_s}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

Per i guasti asimmetrici, sia subtransitorio che permanente, servono le sequenze inverse ed omopolari. Per il calcolo dell'impedenza alla sequenza inversa, con la reattanza subtransitoria in quadratura:

$$X''_q = \frac{x''_q}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

si applica la formula:

$$X_i = \frac{X'' + X''_q}{2}$$

Infine, si ricava la reattanza omopolare come:

$$\begin{aligned} R_0 &= 0 \\ X_0 &= \frac{x_0}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n} \end{aligned}$$

Attenuazione della corrente di guasto per guasti simmetrici e vicini

Vedere Motori sincroni.

Generatori asincroni

[Olivieri e Ravelli, Elettrotecnica II° vol., Edizioni CEDAM]

Come ogni altra macchina elettrica, anche il motore asincrono è reversibile, quindi può diventare un

generatore di energia elettrica. Quando la macchina funziona a vuoto, essa assorbe energia per la magnetizzazione del campo rotante e per le perdite. Se si applica al rotore una coppia motrice si passa ad uno scorrimento negativo ed una conseguente produzione di energia.

Il programma Ampère simula il funzionamento del generatore asincrono tramite lo studio del diagramma circolare. Impostata la potenza attiva, viene ricavata la potenza reattiva corrispondente assorbita dalla rete, da cui si calcolano le correnti erogate. La potenza attiva sarà quindi erogata dalla macchina, mentre quella reattiva assorbita dalla rete.

La generatrice asincrona può erogare solo correnti sfasate di un certo angolo in anticipo rispetto alla f.e.m. che genera: e questo sfasamento non può essere in alcun modo regolato, ma assume un valore suo proprio per ogni valore della corrente erogata.

I parametri caratteristici da richiedere sono:

- Potenza meccanica
- Rendimento N - nominale
- Rendimento 3/4 N
- Rendimento 2/4 N
- Fattore di potenza N - nominale
- Fattore di potenza 3/4 N
- Fattore di potenza 2/4 N
- P numero di coppie polari

Si individuano così tre punti appartenenti al diagramma circolare della macchina asincrona.

Altrimenti vengono richiesti i seguenti dati, sempre necessari per determinare il diagramma circolare:

- Potenza meccanica
- Rendimento N - nominale
- Fattore di potenza N - nominale
- Potenza assorbita a vuoto
- Fattore di potenza a vuoto
- P numero di coppie polari

I generatori asincroni trifasi contribuiscono al guasto transitorio per tutti i punti della rete dai quali sono "visti". Condizione necessaria per il calcolo del contributo al guasto è che il generatore sia alimentato da un'altra fonte, che gli fornisce la potenza reattiva necessaria al suo funzionamento.

I calcoli dei guasti seguono le stesse procedure utilizzate per i Motori asincroni.

Attenuazione della corrente di guasto per guasti simmetrici e vicini

Vedere Motori asincroni.

Calcolo dei guasti

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

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

- guasto trifase (simmetrico);
- guasto bifase (disimmetrico);

- guasto bifase-neutro (disimmetrico);
- guasto bifase-terra (disimmetrico);
- guasto fase terra (disimmetrico);
- guasto fase neutro (disimmetrico).

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

Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito massime viene condotto come descritto nella norma CEI EN 60909-0. Sono previste le seguenti condizioni generali:

- guasti con contributo della fornitura e dei generatori in regime di guasto subtransitorio. Eventuale gestione della attenuazione della corrente per il guasto trifase 'vicino' alla sorgente.
- tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione C_{max} ;
- impedenza di guasto minima della rete, calcolata alla temperatura di 20°C.

La resistenza diretta, del conduttore di fase e di quello di protezione, viene riportata a 20 °C, partendo dalla resistenza data dalle tabelle UNEL 35023-2012 che può essere riferita a 70 o 90 °C a seconda dell'isolante, per cui esprimendola in mΩ risulta:

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

dove ΔT è 50 o 70 °C.

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

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

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

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

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

La reattanza è invece:

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

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

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

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

$$R_{0cavoNeutro} = R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoNeutro}$$

$$X_{0cavoNeutro} = 3 \cdot X_{dcavo}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$R_{0cavoPE} = R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoPE}$$

$$X_{0cavoPE} = 3 \cdot X_{dcavo}$$

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

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

Per il conduttore di neutro si ha:

$$R_{0sbarraNeutro} = R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraNeutro}$$

$$X_{0sbarraNeutro} = 3 \cdot X_{dsbarra}$$

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

$$R_{0sbarraPE} = R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraPE}$$

$$X_{0sbarraPE} = X_{dsbarra} + 3 \cdot (X_{anello_guasto} - X_{dsbarra})$$

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

$$R_d = R_{dcavo} + R_{dmonte}$$

$$X_d = X_{dcavo} + X_{dmonte}$$

$$R_{0Neutro} = R_{0cavoNeutro} + R_{0monteNeutro}$$

$$X_{0Neutro} = X_{0cavoNeutro} + X_{0monteNeutro}$$

$$R_{0PE} = R_{0cavoPE} + R_{0montePE}$$

$$X_{0PE} = X_{0cavoPE} + X_{0montePE}$$

Per le utenze in condotto in sbarre basta sostituire *sbarra* a *cavo*.

Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

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

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

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

Fase terra:

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

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase $I_{k\max}$, fase neutro $I_{k1Neutr\max}$, fase terra $I_{k1PE\max}$ e bifase $I_{k2\max}$ espresse in kA:

$$I_{k\max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\min}}$$

$$I_{k1Neutr\max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutr\min}}$$

$$I_{k1PE\max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE\min}}$$

$$I_{k2\max} = \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k\min}}$$

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti (CEI EN 60909-0 par. 9.1.1.):

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

$$I_{p1Neutro} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutr\max}$$

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

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

dove:

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

Calcolo della corrente di cresta per guasto trifase secondo la norma IEC 61363-1: Electrical installations of ships. Se richiesto, I_p può essere calcolato applicando il metodo semplificato della norma riportato al paragrafo 6.2.5 Neglecting short-circuit current decay. Esso prevede l'utilizzo di un coefficiente $k = 1.8$ che tiene conto della massima asimmetria della corrente dopo il primo semiperiodo di guasto.

Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI EN 60909-0 par 2.5 per quanto riguarda:

- guasti con contributo della fornitura e dei generatori. Il contributo dei generatori è in regime permanente per i guasti trifasi 'vicini', mentre per i guasti 'lontani' o asimmetrici si considera il contributo subtransitorio;
- la tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione di 0.95 (tab. 1 della norma CEI EN 60909-0); in media e alta tensione il fattore è pari a 1;

Per la temperatura dei conduttori si può scegliere tra:

- il rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in servizio ordinario del cavo;
- la norma CEI EN 60909-0, che indica le temperature alla fine del guasto.

Le temperature sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

Isolante	Cenelec R064-003 [°C]	CEI EN 60909-0 [°C]
PVC	70	160
G	85	200
G5/G7/G10/EPR	90	250
HEPR	120	250
serie L rivestito	70	160
serie L nudo	105	160
serie H rivestito	70	160
serie H nudo	105	160

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

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

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

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

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

Valutate le impedenze mediante le stesse espressioni delle impedenze di guasto massime, si possono calcolare le correnti di cortocircuito trifase I_{k1min} e fase terra, espresse in kA:

$$I_{k \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \max}}$$

$$I_{k1Neutromin} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutromax}}$$

$$I_{k1PE \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE \max}}$$

$$I_{k2 \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{2 \cdot Z_{k \max}}$$

Calcolo guasti bifase-neutro e bifase-terra

Riportiamo le formule utilizzate per il calcolo dei guasti. Chiamiamo con Z_d la impedenza diretta della rete, con Z_i l'impedenza inversa, e con Z_0 l'impedenza omopolare.

Nelle formule riportate in seguito, Z_0 corrisponde all'impedenza omopolare fase-neutro o fase-terra.

$$I_{k2} = \left| -j \cdot V_n \cdot \frac{\dot{Z}_0 - \alpha \cdot \dot{Z}_i}{\dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_i + \dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_0 + \dot{Z}_i \cdot \dot{Z}_0} \right|$$

e la corrente di picco:

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

Scelta delle protezioni

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

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

Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

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

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

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

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

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

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

- a) Le intersezioni sono due:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters\ min}$ (quest'ultima riportata nella norma come I_a);

- $I_{ccmax} \leq I_{inters\ max}$ (quest'ultima riportata nella norma come I_b).
- b) L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters\ min}$.
- c) L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:
 - $I_{cc\ max} \leq I_{inters\ max}$.

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

Note:

- La rappresentazione della curva del cavo è una iperbole con asintoti K^2S^2 e la I_z dello stesso.
- La verifica della protezione a cortocircuito eseguita dal programma consiste in una verifica qualitativa, in quanto le curve vengono inserite riprendendo i dati dai grafici di catalogo e non direttamente da dati di prova; la precisione con cui vengono rappresentate è relativa.

Verifica di selettività

E' verificata la selettività tra protezioni mediante la sovrapposizione delle curve di intervento. I dati forniti dalla sovrapposizione, oltre al grafico sono:

- Corrente I_a di intervento in corrispondenza ai massimi tempi di interruzione previsti dalla CEI 64-8: pertanto viene sempre data la corrente ai 5s (valido per le utenze di distribuzione o terminali fisse) e la corrente ad un tempo determinato tramite la tabella 41A della CEI 64.8 par 413.1.3. Fornendo una fascia di intervento delimitata da una caratteristica limite superiore e una caratteristica limite inferiore, il tempo di intervento viene dato in corrispondenza alla caratteristica limite inferiore. Tali dati sono forniti per la protezione a monte e per quella a valle;
- Tempo di intervento in corrispondenza della minima corrente di guasto alla fine dell'utenza a valle: minimo per la protezione a monte (determinato sulla caratteristica limite inferiore) e massimo per la protezione a valle (determinato sulla caratteristica limite superiore);
- Rapporto tra le correnti di intervento magnetico: delle protezioni;
- Corrente al limite di selettività: ossia il valore della corrente in corrispondenza all'intersezione tra la caratteristica limite superiore della protezione a valle e la caratteristica limite inferiore della protezione a monte (CEI 23.3 par 2.5.14).
- Selettività: viene indicato se la caratteristica della protezione a monte si colloca sopra alla caratteristica della protezione a valle (totale) o solo parzialmente (parziale a sovraccarico se l'intersezione tra le curve si ha nel tratto termico).
- Selettività cronometrica: con essa viene indicata la differenza tra i tempi di intervento delle protezioni in corrispondenza delle correnti di cortocircuito in cui è verificata.

Nelle valutazioni si deve tenere conto delle tolleranze sulle caratteristiche date dai costruttori.

Quando possibile, alla selettività grafica viene affiancata la selettività tabellare tramite i valori forniti dalle case costruttrici. I valori forniti corrispondono ai limiti di selettività in A relativi ad una coppia di protezioni poste una a monte dell'altra. La corrente di guasto minima a valle deve risultare inferiore a tale parametro per garantire la selettività.

Funzionamento in soccorso

Se necessario, è verificata la rete o parte di essa in funzionamento in soccorso, quando la fornitura è disinserita e l'alimentazione è fornita da sorgenti alternative come generatori o UPS.

Vengono calcolate le correnti di guasto, la verifica delle protezioni con i nuovi parametri di alimentazione.

Riferimenti normativi

Norme di riferimento per la Bassa tensione:

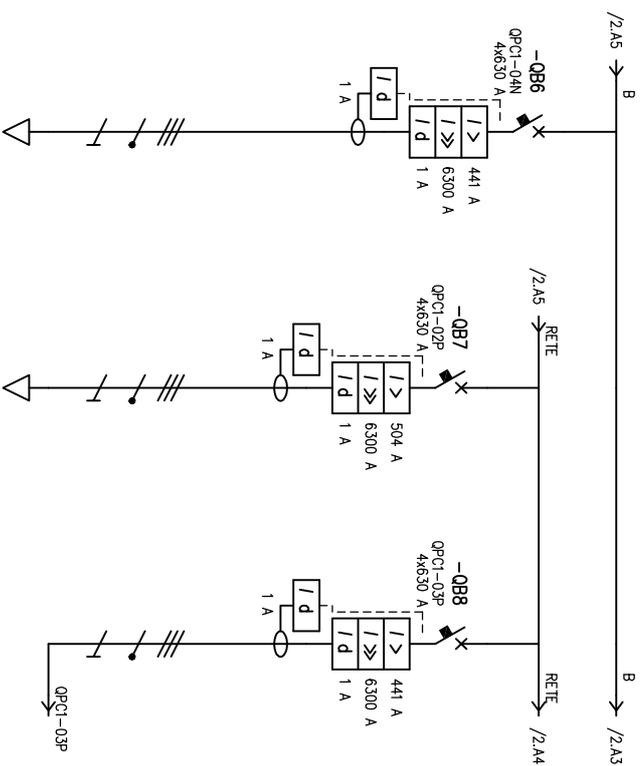
- CEI 0-21: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 11-20 IVa Ed. 2000-08: Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI EN 60909-0 IIa Ed. (IEC 60909-0:2001-07): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60090-4 First ed. 2000-7: Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 4: Esempi per il calcolo delle correnti di cortocircuito.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI EN 60947-2 (CEI 17-5) VIIIa Ed. 2007-07: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 20-91 2010: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- CEI EN 60898-1 (CEI 23-3/1 Ia Ed.) 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI EN 60898-2 (CEI 23-3/2) 2007: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari Parte 2: Interruttori per funzionamento in corrente alternata e in corrente continua.
- CEI 64-8 VIIa Ed. 2012: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52 IIIa Ed. 2009: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35016 2016: Classe di Reazione al fuoco dei cavi in relazione al Regolamento EU "Prodotti da Costruzione" (305/2011).
- CEI UNEL 35023 2012: Cavi di energia per tensione nominale U uguale ad 1 kV - Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in

- regime permanente per posa interrata.
- CEI EN 61439 2012: Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT).
- CEI 17-43 IIa Ed. 2000: Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante estrapolazione, per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie (ANS).
- CEI 23-51 2016: Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare.
- NF C 15-100 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento dei cavi secondo norme francesi.
- UNE 20460 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento (UNE 20460-5-523) dei cavi secondo regolamento spagnolo.
- British Standard BS 7671:2008: Requirements for Electrical Installations;
- ABNT NBR 5410, Segunda edição 2004: Instalações elétricas de baixa tensão;

Norme di riferimento per la Media tensione

- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 99-2 (CEI EN 61936-1) 2011: Impianti con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI-UNEL 35027 IIa Ed. 2009: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV.
- CEI 99-4 2014: Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale.
- CEI 17-1 VIIa Ed. (CEI EN 62271-100) 2013: Apparecchiatura ad alta tensione Parte 100: Interruttori a corrente alternata.
- CEI 17-130 (CEI EN 62271-103) 2012: Apparecchiatura ad alta tensione Parte 103: Interruttori di manovra e interruttori di manovra sezionatori per tensioni nominali superiori a 1 kV fino a 52 kV compreso.
- IEC 60502-2 2014: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV – Part 2.
- IEC 61892-4 Ia Ed. 2007-06: Mobile and fixed offshore units – Electrical installations. Part 4: Cables.

**DIMENSIONAMENTI CAVI, TABELLA DI
COORDINAMENTO CAVI – PROTEZIONI**



D		C		B		A	
UTENZA		GRUPPO FRIGO N°2 (NUOVA ALIMENTAZIONE PROGETTO)		NUOVO GRUPPO FRIGO N°1 (NUOVA ALIMENTAZIONE PROGETTO)		Q.E. CENTRALE FRIGORIFERA	
SIGLA	POTENZA TOT. kVA	TN-S	305,5	TN-S	349,2	TN-S	305,5
POTENZA kW	222,6	lb	378	266	421,9	200,6	368,2
COEF. CONTEMP.	COS φ	1	0,85	1	0,91	1	0,798
COSTRUTTORE		ABB SpA		ABB SpA		ABB SpA	
TIPO	In	In	4	In	4	In	4
N.POLI	4	4	630	4	630	4	630
Ith	A Ith	A TIPO DIFF.	441	1	504	1	441
In (o curvo)	A Pdi	kA	3150	36	3150	36	3150
FUSIBILE		TIPO		TIPO		TIPO	
CALIBRO		A		A		A	
CONTATTORE		TIPO		TIPO		TIPO	
RELE' TERMICO		In		A Pn		kW	
TARATURA		TIPO		A		A	
TIPO CAVO		FGTR 0,6/1 kV		FGTR 0,6/1 kV		FGTR 0,6/1 kV	
FORMAZIONE		3x(2x240)+1x240+1G240		3x(2x240)+1x240+1G240		3x(2x185)+1x185+1G185	
LUNGHEZZA		m		30		30	
Iz		A		558,6		475,4	
C.d.T. a In		% C.d.T. a Ib		%		%	
Zk	mΩ	Zs	mΩ	2,12	0,275	2,23	0,363
Ik trifase/monof. kA	k1 fase/terra	kA	25,8	19,7	25,1	18,7	24,8
LINEA DI POTENZA		NIMERAZIONE MORSETTIERA		NIMERAZIONE MORSETTIERA		NIMERAZIONE MORSETTIERA	
REV.		MODIFICA		DATA		FIRMA	
1		2		3		4	
F		F		F		F	
Sostituzione gruppo frigo		Sostituzione gruppo frigo		Sostituzione gruppo frigo		Sostituzione gruppo frigo	
AZIENDA USL DI BOLOGNA OSPEDALE DI BENTIVOGLIO		AZIENDA USL DI BOLOGNA OSPEDALE DI BENTIVOGLIO		AZIENDA USL DI BOLOGNA OSPEDALE DI BENTIVOGLIO		AZIENDA USL DI BOLOGNA OSPEDALE DI BENTIVOGLIO	
FOGLIO 1 DI 1		FOGLIO 1 DI 1		FOGLIO 1 DI 1		FOGLIO 1 DI 1	
SECQUE		SECQUE		SECQUE		SECQUE	
8		8		8		8	

Dati completi utenza

Data: 12/02/2019

Responsabile:

Identificazione

Sigla utenza:	+QPC01-QPC1-04N
Denominazione 1:	GRUPPO FRIGO N°2
Denominazione 2:	(NUOVA ALIMENTAZIONE PROGETTO)
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Terminale generica	Sistema distribuzione:	TN-S
Potenza nominale:	222,6 kW	Collegamento fasi:	3F+N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	222,6 kW	Pot. trasferita a monte:	261,9 kVA
Potenza reattiva:	138 kVAR	Potenza totale:	305,5 kVA
Corrente di impiego Ib:	378 A	Potenza disponibile:	43,7 kVA
Fattore di potenza:	0,85	Numero carichi utenza:	1
Tensione nominale:	400 V		

Cavi

Formazione:	3x(2x240) + 1x240 + 1G240	K²S² conduttore fase:	4,711E+09 A²s
Tipo posa:	34A - cavi unipolari con guaina in canali sospesi	K²S² neutro:	1,178E+09 A²s
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati	K²S² PE:	1,784E+09 A²s
Designazione cavo:	FG7R 0.6/1 kV	Caduta di tens. parziale a Ib:	0,275 %
Tipo isolante:	EPR	Caduta di tens. totale a Ib:	1,78 %
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	Temperatura ambiente:	30 °C
Materiale conduttore:	RAME	Temperatura cavo a Ib:	51,1 °C
Lunghezza linea:	25 m	Temperatura cavo a In:	58,8 °C
Corrente ammissibile Iz:	637 A	Coordinamento Ib<In<Iz:	378 <= 441 <= 637 A
Corrente ammissibile neutro:	343 A		
Coefficiente di prossimità:	0,65 (Numero circuiti: 3)		
Coefficiente di temperatura:	1		
Coefficiente totale:	0,65		

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	32,5 kA	Ik1ftmax:	19,7 kA
Ikv max a valle:	28,4 kA	Ip1ft:	35,9 kA
I magnetica massima:	16445 A	Ik1ftmin:	16,4 kA
Ik max:	25,8 kA	Ik1fnmax:	22,6 kA
Ip:	40,8 kA	Ip1fn:	41 kA
Ik min:	23,6 kA	Ik1fnmin:	18,4 kA
Ik2ftmax:	25,5 kA	Zk min:	8,9 mohm
Ip2ft:	39,3 kA	Zk max:	9,3 mohm
Ik2ftmin:	23,5 kA	Zk1ftmin:	11,7 mohm
Ik2max:	22,4 kA	Zk1ftmax:	13,3 mohm
Ip2:	37,2 kA	Zk1fnmin:	10,2 mohm
Ik2min:	20,5 kA	Zk1fnmx:	11,9 mohm

Protezione

Costruttore protezione:	ABB Spa	Taratura termica neutro:	441 A
Sigla protezione:	Tmax T6 N PR221DS-LS/I + RCQ 185 mm CH	Taratura magnetica neutro:	3150 A
Tipo protezione:	MT+D	Taratura differenziale:	1 A
Corrente nominale protez.:	630 A	Potere di interruzione PdI:	36 kA
Numero poli:	4	Verifica potere di interruzione:	36 >= 32,5 kA
Classe d'impiego:	B	Norma:	Icu-EN60947
Taratura termica:	441 A		
Taratura magnetica:	3150 A		
Sg. magnetico < I mag. massima:	3150 < 16445 A		

Dati completi utenza

Data: 12/02/2019

Responsabile:

Identificazione

Sigla utenza:	+QPC01-QPC1-02P
Denominazione 1:	NUOVO GRUPPO FRIGO N°1
Denominazione 2:	(NUOVA ALIMENTAZIONE PROGETTO)
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Terminale generica Preferenziale		
Potenza nominale:	266 kW	Sistema distribuzione:	TN-S
Coefficiente:	1	Collegamento fasi:	3F+N
Potenza dimensionamento:	266 kW	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza reattiva:	121,2 kVAR	Pot. trasferita a monte:	292,3 kVA
Corrente di impiego Ib:	421,9 A	Potenza totale:	349,2 kVA
Fattore di potenza:	0,91	Potenza disponibile:	56,9 kVA
Tensione nominale:	400 V	Numero carichi utenza:	1

Cavi

Formazione:	3x(2x240) + 1x240 + 1G240		
Tipo posa:	34A - cavi unipolari con guaina in canali sospesi		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo:	FG16R16 0.6/1 kV Cca-s3,d1,a3		
Tipo isolante:	EPR	K ² S ² conduttore fase:	4,711E+09 A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K ² S ² neutro:	1,178E+09 A²s
Materiale conduttore:	RAME	K ² S ² PE:	1,784E+09 A²s
Lunghezza linea:	30 m	Caduta di tens. parziale a Ib:	0,363 %
Corrente ammissibile Iz:	558,6 A	Caduta di tens. totale a Ib:	1,86 %
Corrente ammissibile neutro:	294 A	Temperatura ambiente:	30 °C
Coefficiente di prossimità:	0,57 (Numero circuiti: 5)	Temperatura cavo a Ib:	64,2 °C
Coefficiente di temperatura:	1	Temperatura cavo a In:	78,8 °C
Coefficiente totale:	0,57	Coordinamento Ib < In < Iz:	421,9 <= 504 <= 558,6 A

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

I _{km} max a monte:	32,5 kA	I _{k1ft} max:	18,7 kA
I _{kv} max a valle:	27,5 kA	I _{p1ft} :	35,9 kA
I magnetica massima:	15261 A	I _{k1ft} min:	15,3 kA
I _k max:	25,1 kA	I _{k1fn} max:	21,4 kA
I _p :	40,8 kA	I _{p1fn} :	41 kA
I _k min:	22,8 kA	I _{k1fn} min:	16,8 kA
I _{k2ft} max:	24,9 kA	Z _k min:	9,2 mohm
I _{p2ft} :	39,3 kA	Z _k max:	9,6 mohm
I _{k2ft} min:	22,6 kA	Z _{k1ft} min:	12,3 mohm
I _{k2} max:	21,8 kA	Z _{k1ft} max:	14,4 mohm
I _{p2} :	37,2 kA	Z _{k1fn} min:	10,8 mohm
I _{k2} min:	19,7 kA	Z _{k1fn} mx:	13 mohm

Protezione

Costruttore protezione:	ABB Spa		
Sigla protezione:	Tmax T6 N PR221DS-LS/I + RCQ 185 mm CH		
Tipo protezione:	MT+D		
Corrente nominale protez.:	630 A	Taratura termica neutro:	504 A
Numero poli:	4	Taratura magnetica neutro:	3150 A
Classe d'impiego:	B	Taratura differenziale:	1 A
Taratura termica:	504 A	Potere di interruzione PdI:	36 kA
Taratura magnetica:	3150 A	Verifica potere di interruzione:	36 >= 32,5 kA
Sg. magnetico < I mag. massima:	3150 < 15261 A	Norma:	Icu-EN60947

Dati completi utenza

Data: 12/02/2019

Responsabile:

Identificazione

Sigla utenza: **+QPC01-QPC1-03P**
Denominazione 1: **Q.E. CENTRALE FRIGORIFERA**
Denominazione 2:
Informazioni aggiuntive/Note 1:
Informazioni aggiuntive/Note 2:

Utenza

Tipologia utenza:	Distribuzione generica Preferenziale		
Potenza nominale:	200,6 kW	Sistema distribuzione:	TN-S
Coefficiente:	1	Collegamento fasi:	3F+N
Potenza dimensionamento:	200,6 kW	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza reattiva:	151,5 kVAR	Pot. trasferita a monte:	251,4 kVA
Corrente di impiego Ib:	368,2 A	Potenza totale:	305,5 kVA
Fattore di potenza:	0,798	Potenza disponibile:	54,1 kVA
Tensione nominale:	400 V		

Cavi

Formazione:	3x(2x185) + 1x185 + 1G185		
Tipo posa:	34A - cavi unipolari con guaina in canali sospesi		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo:	FG7R 0.6/1 kV		
Tipo isolante:	EPR	K ² S ² conduttore fase:	2,799E+09 A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K ² S ² neutro:	6,999E+08 A²s
Materiale conduttore:	RAME	K ² S ² PE:	1,06E+09 A²s
Lunghezza linea:	30 m	Caduta di tens. parziale a Ib:	0,421 %
Corrente ammissibile Iz:	475,4 A	Caduta di tens. totale a Ib:	1,92 %
Corrente ammissibile neutro:	250,2 A	Temperatura ambiente:	30 °C
Coefficiente di prossimità:	0,57 (Numero circuiti: 5)	Temperatura cavo a Ib:	66 °C
Coefficiente di temperatura:	1	Temperatura cavo a In:	81,6 °C
Coefficiente totale:	0,57	Coordinamento Ib < In < Iz:	368,2 <= 441 <= 475,4 A

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

I _{km} max a monte:	31,2 kA	I _{k1ft} max:	17,9 kA
I _{kv} max a valle:	27,6 kA	I _{p1ft} :	35,9 kA
I magnetica massima:	13877 A	I _{k1ft} min:	13,9 kA
I _k max:	24,8 kA	I _{k1fn} max:	20,2 kA
I _p :	40,8 kA	I _{p1fn} :	41 kA
I _k min:	22 kA	I _{k1fn} min:	15,1 kA
I _{k2ft} max:	24,6 kA	Z _k min:	9,3 mohm
I _{p2ft} :	39,3 kA	Z _k max:	9,9 mohm
I _{k2ft} min:	21,7 kA	Z _{k1ft} min:	12,9 mohm
I _{k2} max:	21,4 kA	Z _{k1ft} max:	15,8 mohm
I _{p2} :	37,2 kA	Z _{k1fn} min:	11,4 mohm
I _{k2} min:	19,1 kA	Z _{k1fn} mx:	14,6 mohm

Protezione

Costruttore protezione:	ABB Spa		
Sigla protezione:	Tmax T6 N PR221DS-LS/I + RCQ 185 mm CH		
Tipo protezione:	MT+D		
Corrente nominale protez.:	630 A	Taratura termica neutro:	441 A
Numero poli:	4	Taratura magnetica neutro:	3150 A
Classe d'impiego:	B	Taratura differenziale:	1 A
Taratura termica:	441 A	Potere di interruzione PdI:	36 kA
Taratura magnetica:	3150 A	Verifica potere di interruzione:	36 >= 31,2 kA
Sg. magnetico < I mag. massima:	3150 < 13877 A	Norma:	Icu-EN60947

Stato utenze

Data: 12/02/2019

Responsabile:

Utenza		+QPC01-QPC1-04N		GRUPPO FRIGO N°2 (NUOVA ALIMENTAZIONE PROGETTO)		
Coord. Ib <= Ins <= Iz [A]		1) Utenza +QPC01-QPC1-04N: Ins = 441 [A] (sgancio protezione termica)				
	Ib	<=	Ins	<=	Iz	
Fase	377,995		441		637	
Neutro	0,000		441		343	
Verifica contatti indiretti		Sistema distribuzione: TN-S				
la c.i. [A]	Verificato	16445				
Tempo di interruzione [s]	5	(Nota: l'analisi termina alla prima protezione utile trovata)				
VT a la c.i. [V]	90,33	La protezione dell'utenza +QPC01-QPC1-04N				
VT a Iccft [V]	90,33	interviene tramite sgancio differenziale; I prot. = 1 <= la c.i. = 16445				
Potere di interruzione [kA]		Sg. mag.<Imagmax [A]		Protezione		
Verificato		Verificato		ABB Spa - Tmax T6 N PR221DS-LS/I - 630 A		
A transitorio inizio linea	PdI >= Ikmax	fi(Ikmax) [°]	Sg. mag. < Imagmax			
36	32,508	n.c.	3150			16445
	Deltakm	fi(Deltakm) [°]				
	1,549	n.c.				
Cavo		K²S²>I²t [A²s]				
Designazione	FG7R 0.6/1 kV	Verificato				
Formazione	3x(2x240)+1x240+1G240	4,711E+09				
Temperatura cavo a Ib [°C]	30 <= 51 <= 90	1,178E+09				
Temperatura cavo a In [°C]	30 <= 59 <= 90	1,784E+09				
Caduta di tensione [%]		Correnti di guasto [kA]				
Tensione nominale [V]	400	A regime fondo linea, Picco a inizio linea				
Cdt Ib	CdtTot Ib	Cdt max	Max	Min	Picco	
0,275	1,775	4	Trifase	25,84	23,644	40,764
Cdt In	CdtTot In		Bifase	22,378	20,476	37,188
0,321	2,123		Bifase-N	27,45	24,813	41,487
			Bifase-PE	25,519	23,527	39,34
			Fase-N	22,633	18,368	41,036
			Fase-PE	19,672	16,445	35,939
			A transitorio fondo linea			
			Ikmax	fi(Ikmax) [°]		
			28,436	n.c.		

Stato utenze

Data: 12/02/2019

Responsabile:

Utenza						
+QPC01-QPC1-03P		Q.E. CENTRALE FRIGORIFERA				
Coord. $I_b < I_{ns} < I_z$ [A]						
	I_b	I_{ns}	I_z			
Fase	368,232	441	475,38			
Neutro	20,356	441	250,2			
1) Utenza +QPC01-QPC1-03P: $I_{ns} = 441$ [A] (sgancio protezione termica)						
Verifica contatti indiretti						
la c.i. [A]	Verificato 13877,4	Sistema distribuzione: TN-S				
Tempo di interruzione [s]	5	(Nota: l'analisi termina alla prima protezione utile trovata)				
VT a la c.i. [V]	104,37	La protezione dell'utenza +QPC01-QPC1-03P				
VT a I_{ccft} [V]	104,37	interviene tramite sgancio differenziale; $I_{prot.} = 1 <=$ la c.i. = 13877,4				
Potere di interruzione [kA]		Sg. mag. $< I_{magmax}$ [A]				
Verificato		Verificato				
A transitorio inizio linea		Sg. mag.	I_{magmax}			
PdI $>=$ I_{kmmax}	$f_i(I_{kmmax})$ [°]	3150	13877,4			
36	n.c.					
	$f_i(\Delta I_{tkm})$ [°]					
	n.c.					
Cavo		$K^2S^2 > I^2t$ [A ² s]				
Designazione	FG7R 0.6/1 kV	Verificato				
Formazione	3x(2x185)+1x185+1G185	K^2S^2 conduttore fase	2,799E+09			
Temperatura cavo a I_b [°C]	30 $<=$ 66 $<=$ 90	K^2S^2 neutro	6,999E+08			
Temperatura cavo a I_n [°C]	30 $<=$ 82 $<=$ 90	K^2S^2 PE	1,06E+09			
Caduta di tensione [%]		Correnti di guasto [kA]				
Tensione nominale [V]	400	A regime fondo linea, Picco a inizio linea				
Cdt I_b	CdtTot I_b	Cdt max	Max	Min	Picco	
0,421	1,92	4	Trifase	24,755	22,05	40,764
			Bifase	21,439	19,096	37,188
			Bifase-N	26,082	22,498	41,487
			Bifase-PE	24,562	21,708	39,34
			Fase-N	20,211	15,073	41,036
			Fase-PE	17,912	13,877	35,939
			A transitorio fondo linea			
			I_{kvmax}	$f_i(I_{kvmax})$ [°]		
			27,606	n.c.		
Protezione						
ABB Spa - Tmax T6 N PR221DS-LS/I - 630 A						

OSPEDALE DI BENTIVOGLIO - Sostituzione Gruppo Frigo

TABELLA DEI COORDINAMENTI

<i>Dati utenza</i>											<i>Apparecchi di protezione</i>				
<i>Nome utenza</i>	<i>Potenza nom.</i> <i>[kW]</i>	<i>Formazione cavo</i>	<i>Lungh.</i> <i>[m]</i>	<i>Sistema</i>	<i>Ib</i> <i>[A]</i>	<i>I_{ns}</i> <i>[A]</i>	<i>I_z</i> <i>[A]</i>	<i>Cdt total</i> <i>[%]</i>	<i>I_{mag max}</i> <i>[A]</i>	<i>I_{km monte}</i> <i>[kA]</i>	<i>Sigla</i>	<i>I_n</i> <i>[A]</i>	<i>I_m</i> <i>[A]</i>	<i>P.d.i.</i> <i>[kA]</i>	<i>I_{dn}</i> <i>[A]</i>
GRUPPO FRIGO N°2	222,6	3x(2x240)+1x240+1G240	25	TN-S	378,0	441	637	1,78	16445	32,5	Tmax T6 N PR221DS-LS/I	630	3150	36	1
NUOVO GRUPPO FRIGO N°1	266	3x(2x240)+1x240+1G240	30	TN-S	421,9	504	558,6	1,86	15260,7	32,5	Tmax T6 N PR221DS-LS/I	630	3150	36	1
Q.E. CENTRALE FRIGORIFERA	200,6	3x(2x185)+1x185+1G185	30	TN-S	368,2	441	475,4	1,92	13877,4	31,2	Tmax T6 N PR221DS-LS/I	630	3150	36	1