

PROGETTO:

C.I. 15477 - INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE
IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE PRESSO LA SEDE
DELL'AVVOCATURA
CIVICA DI PALAZZO CAVALLI E DELLA BIBLIOTECA DI
FAVARO
CUP: F72H25000170004

OGGETTO:

RELAZIONE DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI



ISO 9001 · ISO 14001 · ISO 45001

LL-C (Certification)

Progettista

COMMITTENTE:



CITTA' DI
VENEZIA

settore:
"Viabilità di Quartiere e
Locale Terraferma, Energia e Impianti"

dirigente e RUP ing. Francesco Dittadi
direttore ing. Simone Agrondi

SCALA:

FASE:

PROGETTO ESECUTIVO
comprensivo del PFTE

COMMESSA:

FILE:

03GNRCI003.pdf

TAVOLA n°

03

0	emissione	20.09.25			
REVISIONE	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

SOMMARIO

1.	GENERALITÀ.....	2
1.1.	Avvocatura Civica di Venezia.....	2
1.2.	Biblioteca di Favaro Veneto.....	3
2.	IMPIANTI MECCANICI	4
2.1.	CARICHI TERMICI ESTIVI.....	4
2.1.1.	Generalità.....	4
2.1.2.	Potenze termiche e frigorifere – tabella riassuntiva.....	7
3.	IMPIANTI ELETTRICI	9
3.1.	CALCOLO DELLE CORRENTI DI IMPIEGO	9
3.2.	DIMENSIONAMENTO DEI CAVI	10
3.3.	INTEGRALE DI JOULE	11
3.4.	DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI NEUTRO.....	12
3.5.	DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI PROTEZIONE.....	13
3.6.	CALCOLO DELLA TEMPERATURA DEI CAVI	14
3.7.	CADUTE DI TENSIONE	14
3.8.	BASSA TENSIONE	15
3.9.	CALCOLO DEI GUASTI.....	16
3.9.1.	CALCOLO DELLE CORRENTI MASSIME DI CORTOCIRCUITO	17
3.9.2.	Calcolo delle correnti minime di cortocircuito	19
3.9.3.	Calcolo guasti bifase-neutro e bifase-terra	20
3.10.	SCELTA DELLE PROTEZIONI.....	21
3.10.1.	Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture.....	21
3.10.2.	Verifica di selettività	22
3.11.	PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI.....	22
3.11.1.	Sistemi TN.....	23
3.12.	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	24
	ALLEGATO A1 – Schede dati dei risultati di calcolo “dati completi utenze”	A

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

1. GENERALITÀ

Trattasi di interventi di ristrutturazione dell'impianto di climatizzazione della sede dell'Avvocatura Civica di Venezia e di nuova realizzazione dell'impianto di climatizzazione della biblioteca di Favaro Veneto.

1.1. Avvocatura Civica di Venezia

L'avvocatura di Venezia ha sede al secondo piano dell'edificio denominato Palazzo Cavalli, sito in San Marco civ. 4089 in Venezia centro storico.

Il palazzo si affaccia sul Canal Grande non lontano dal Ponte di Rialto e si sviluppa su 4 livelli fuori terra.

E' uno storico edificio del XVI secolo la cui facciata è caratterizzata da una sequenza di mensoloni in pietra sopra la parte basamentale, che sorreggono i due piani nobili con quadrifore e monofore.

L'edificio è tutelato ai sensi del D.Lgs. 22/01/2004 n.42, Parte seconda "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137"



RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

1.2. Biblioteca di Favaro Veneto

Nella città di Favaro Veneto, in zona centrale, è presente la biblioteca "Bruno Bruni" la quale è collocata all'interno del giardino pubblico sul retro della sede della Municipalità di Favaro Veneto in piazza Pastrello.

L'edificio è ubicato al civico 3 di Piazza don Agnoletto e si sviluppa in unico livello su 462 mq lordi di superficie; la costruzione tipica dei primi anni '80.



RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

2. IMPIANTI MECCANICI

2.1. CARICHI TERMICI ESTIVI

2.1.1. Generalità

Prima di eseguire i calcoli di dimensionamento degli elementi costituenti gli impianti necessari per la climatizzazione degli ambienti, è essenziale definire il carico termico estivo dei singoli locali. Per determinare il massimo carico termico nel periodo estivo, sarà analizzata ogni singolo ambiente a cui saranno applicate le formule e tabelle riportate successivamente.

Carico termico estivo

Il carico termico estivo dei singoli ambienti viene eseguito nelle ore di punta, ovvero nei periodi in cui si suppone massima la produzione del calore; tale energia prodotta sarà la somma del calore prodotto da varie fonti, in particolare

$$Q_{TOT}=Q_P+Q_{ILL}+Q_{VEN}+Q_{FIN}+Q_{MUR}+Q_{ELE}$$

Dove:

Q_{TOT} $\Rightarrow$ Carico termico estivo totale (sensibile + latente) del singolo ambiente

Q_P $\Rightarrow$ Carico termico totale prodotto dagli occupanti (sensibile + latente)

Q_{ILL} $\Rightarrow$ Carico termico sensibile prodotto dai corpi illuminanti

Q_{VEN} $\Rightarrow$ Carico termico totale di ventilazione (sensibile + latente)

Q_{FIN} $\Rightarrow$ Carico termico sensibile trasmesso dai componenti finestrati

Q_{MUR} $\Rightarrow$ Carico termico sensibile trasmesso dai componenti opachi

Q_{ELE} $\Rightarrow$ Carico termico prodotto da eventuali apparecchiature elettriche

Carico termico prodotto dagli occupanti

La presenza di persone all'interno di un ambiente produce energia termica sensibile (calore immesso nell'ambiente) e latente (energia sotto forma di vapore d'acqua); la quantità di energia generata è funzione del tipo di attività fisica svolta. Nel caso specifico, il calore emesso dalle persone oscilla da 112 a 134 W (tra sensibile e latente). Per semplificare il calcolo, in relazione all'attività fisica degli occupanti che si intende assimilabile a persone sedute a riposo co in attività moderata, si prende come valore di riferimento il valore medio di 120 W a persona di cui circa il 55% rappresenta il calore sensibile.

L'affollamento massimo considerato per il calcolo del carico termico delle singole zone viene definito in relazione alla destinazione d'uso degli ambienti e alle postazioni presenti per ogni locale.

Carico termico prodotto dai corpi illuminanti

E' lecito pensare che tutta l'energia elettrica assorbita dai corpi illuminanti venga irradiata nell'ambiente (effetto Joule); in fase progettuale si è ipotizzato valga 10 W/mq per ambienti principali e 5 W/mq per locali di deposito, servizi igienici, ecc.

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

Carico termico totale di ventilazione

L'aria esterna immessa all'interno del locale climatizzato in modo forzato (aspirazione, espulsione, trattamenti d'aria particolari) o naturale (infiltrazione, apertura porte ecc.) avrà caratteristiche termoigrometriche diverse da quelle interne al locale in regime di funzionamento estivo. Infatti nella zona di Venezia, in base a controlli medi stagionali forniti dalle stazioni meteo, nel mese di luglio si ha una temperatura esterna di 31°C con il 51% di umidità relativa. D'altra parte, le condizioni termoigrometriche di benessere previste in fase progettuale corrispondono a 26°C, 50% U.R. e 10,5 g/Kg di umidità assoluta.

La potenza frigorifera da erogare per abbattere il carico termico presente nell'aria esterna immessa in ambiente sarà dato da

$$Q_{VEN}=Q_S+Q_L$$

Cioè, il carico termico totale di ventilazione è dato dalla somma del carico termico sensibile e da quello latente.

In considerazione della destinazione d'uso degli ambienti si è considerato un ricambio d'aria naturale pari a 0,5 volumi all'ora.

Carico termico sensibile

$$Q_S=MxCx\Delta T$$

dove:

M ⇒ Massa oraria d'aria da raffreddare – volume x 1,2 (Kg/h)

C ⇒ Calore specifico dell'aria, pari a 0,275 (W/kg °C)

ΔT ⇒ Differenza di temperatura tra l'aria esterna e l'aria ambiente (°C)

Carico termico latente

$$Q_L=MxP_Lx\Delta X/1000$$

dove:

M ⇒ Massa oraria d'aria da raffreddare – volume x 1,2 (Kg/h)

P_L ⇒ Calore di condensazione pari a 625,3 (W/Kg)

ΔX ⇒ Differenza di umidità assoluta tra l'aria esterna e l'aria ambiente (g/Kg)

Carico termico sensibile trasmesso dai componenti finestrati

Il calcolo con alta precisione del carico termico irradiato attraverso i componenti finestrati è di difficile valutazione, in quanto bisogna tenere conto di molteplici fattori concomitanti, quali:

- Dimensioni della superficie trasparente;
- Orientamento;
- Inclinazione del serramento;
- Tipo di vetro;
- Tipo e colore del tendaggio;

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

inoltre, la quantità di energia solare che investe una superficie viene in parte riflessa, in parte assorbita dalla struttura e nella maggior parte trasmessa. Senza commettere grossi errori di valutazione si possono semplificare i calcoli applicando la seguente formula

$$Q_{FIN}=S \times I_r \times C$$

dove:

S ⇒ Superficie finestrata

I_r ⇒ Valore gabbellato in funzione dell'orientamento e della latitudine

C ⇒ Coefficiente di riduzione

Valori di C (coefficiente di riduzione)

- Superfici trasparenti senza protezione C=0,95
- Superfici trasparenti con tende interne C=0,50
- Superfici trasparenti con tende esterne C=0,35
- Superfici trasparenti con tapparelle esterne C=0,25
- Superfici trasparenti con veneziane interne C=0,6

Valori di I_r (45° di latitudine il 21 Luglio)

- Superfici verticali esposte a Sud I_r=260
- Superfici verticali esposte a Sud-Est I_r=390
- Superfici verticali esposte a Est I_r=410
- Superfici verticali esposte a Sud-Ovest I_r=390
- Superfici verticali esposte a Ovest I_r=410
- Superfici orizzontali I_r=570

Si precisa che, per il calcolo di picco dei singoli locali, viene valutata l'irradiazione di tutti i componenti finestrati orientati nei diversi quadranti e, una volta individuato il valore di massima irradiazione relativa ad uno specifico orientamento, si procede con il valutare le restanti superfici trasparenti come se protette da irraggiamento diretto (tendaggi interni).

Carico termico sensibile trasmesso dai componenti opachi

La trasmissione del calore attraverso le strutture opache avviene in due modi:

- trasmissione
- irraggiamento

$$Q_{MUR}=Q_{TRASM}+Q_{IRRAG}$$

Per il calcolo del calore che si trasmette per differenza di temperatura tra esterna ed interna si procede in modo analogo al calcolo delle dispersioni di calore per il dimensionamento degli impianti di riscaldamento; si utilizzerà quindi la seguente formula

$$Q_{TRASM}=K \times S \times \Delta T$$

con

K ⇒ coefficiente globale di trasmissione

S ⇒ superficie disperdente

ΔT ⇒ salto termico di temperatura esterno-interno

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

Per il calcolo del calore che si trasmette per irraggiamento si dovrà applicare una formula analoga a quella utilizzata per le superfici finestrate, dove il valore "C" di riduzione sarà notevolmente minore

$$Q_{\text{IRRAG}} = S \cdot I_r \cdot C$$

Valori di C (coefficiente di riduzione)

- | | |
|------------------------------|---------|
| • Pareti opache chiare | C=0,016 |
| • Pareti opache semichiare | C=0,03 |
| • Pareti opache scure | C=0,035 |
| • Pareti nere o assimilabili | C=0,045 |

Valori di I_r (45° di latitudine il 21 Luglio)

- | | |
|---|---------------------|
| • Superfici verticali esposte a Sud | I _r =260 |
| • Superfici verticali esposte a Sud-Est | I _r =390 |
| • Superfici verticali esposte a Est | I _r =410 |
| • Superfici verticali esposte a Sud-Ovest | I _r =390 |
| • Superfici verticali esposte a Ovest | I _r =410 |
| • Superfici orizzontali | I _r =570 |

Carico termico prodotto da eventuali apparecchiature elettriche

Oltre al calore proveniente dall'energia elettrica utilizzata per l'illuminazione degli ambienti, esistono altre apparecchiature che immettono calore sensibile (fotocopiatrici, stampanti, PC, ecc.) o calore latente (non pertinente).

Si avrà quindi che l'energia termica immessa in ambiente sarà pari a

$$Q_{\text{ELE}} = \Sigma Q_s + \Sigma Q_L$$

Essendo molto oneroso se non impossibile determinare analiticamente il valore dei carichi termici emessi dalle suddette apparecchiature si utilizzeranno per il calcolo i dati desumibili dalle targhe delle apparecchiature o da tabulati a disposizione su manuali tecnici e testi specifici.

2.1.2. Potenze termiche e frigorifere – tabella riassuntiva

Nel calcolo dei fabbisogni frigoriferi si è provveduto a calcolare i carichi termici derivanti dalle varie componenti, di seguito i principali risultati

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

PALAZZO CAVALLI

DENOMINAZIONE		Fin. N-E	Fin. N-W	Fin. S-E	Fin. S-W	Illuminaz.	Ricambio	Affollamento	Carichi int.	TOTALE
N. loc.	Nome	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)
001	Ufficio	0	0	0	2156	255	425	120	400	3356
003	Sala stampe	185	0	0	0	197	329	0	1500	2211
006	Ufficio	0	0	634	0	173	288	240	800	2134
007	Corridoio	0	0	0	0	50	83	0	0	133
008	Ufficio	0	0	634	0	126	211	120	400	1491
009	Sala riunioni	0	1700	0	0	377	628	1440	500	4645
010	Atrio	0	0	0	0	281	468	240	0	989
011	Ufficio	1133	0	0	0	150	250	240	800	2573
012	Corridoio	0	0	0	0	132	220	0	0	352
013	Ufficio Dirigente	0	1133	0	0	272	454	360	400	2620
014	Ufficio	0	0	1267	0	321	535	360	1200	3683
015	Ufficio	0	666	0	0	161	268	120	400	1614
021	Ufficio	795	0	0	496	303	506	240	800	3140
TOTALE GENERALE										28941

BIBLIOTECA DI FAVARO VENETO

Nella tabella riportata di seguito, si è calcolato un valore per ambiente dei carichi termici pari alla somma dei valori di tutti i componenti di calcolo e un valore totale per ogni ambiente corretto in relazione alla contemporaneità dei carichi dovuto alla radiazione solare. Quest'ultimo è stato preso a riferimento per il calcolo degli impianti di condizionamento. Si fa presente inoltre che si è considerato per gli ambienti un indice di affollamento pari a 0,6 (come specificato nelle tabelle seguenti).

DENOMINAZIONE		Postazioni	indice	Fin. N	Fin. S	Fin. E	Fin. W	Copertura	Ricambio	Affollamento	Carichi int.	TOTALE	TOTALE
N. loc.	Nome	(n. persone)	affollamento	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	CORRETTO
002	Lettura-Consultazione	16	0,6	110	0	0	0	2872	1066	1152	900	6100	6100
004	Ufficio	2	1	0	825	0	0	1203	446	240	1300	4014	4014
005	Magazzino	4	1	18	0	0	0	1377	428	480	600	2902	2902
008	Area Centrale	6	1	0	0	0	0	4508	1674	720	600	7502	7502
009	Lettura-Consultazione	16	0,6	0	1650	0	2200	2885	1071	1152	900	9857	8207
010	Lettura bambini	16	0,6	0	1650	2200	0	2885	1071	1152	0	8957	7307
011	Lettura-Consultazione	20	0,6	0	0	2200	0	2789	1035	1440	900	8364	8364
TOTALE GENERALE												47696	44396

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

3. IMPIANTI ELETTRICI

3.1. CALCOLO DELLE CORRENTI DI IMPIEGO

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

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

nella quale:

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

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

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

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

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

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

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot \text{coeff}$$

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:

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

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

3.2. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI

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

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

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

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).

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.

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

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.

3.3. INTEGRALE DI JOULE

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

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

La costante K viene data dalla norma CEI 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

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

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

3.4. DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI NEUTRO

La norma CEI 64-8 par. 524.2 e par. 524.3, prevede che la sezione del conduttore di neutro, nel caso di circuiti polifasi, 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 mm²;
- 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 mm² se il conduttore è in rame e a 25 mm² 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 mm² se conduttore in rame e 25 mm² 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.

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

3.5. DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI PROTEZIONE

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

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

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

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

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

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

dove:

- S_p è la sezione del conduttore di protezione (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 mm^2 rame o 16 mm^2 alluminio se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm^2 o 16 mm^2 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 mm^2 , se in rame;
- 35 mm^2 , se in alluminio;

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

3.6. 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.

3.7. 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:

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

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:

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

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

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

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

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.

3.8. BASSA TENSIONE

Questa può essere utilizzata quando il circuito è alimentato dalla rete di distribuzione in bassa tensione, oppure quando il circuito da dimensionare è collegato in sottoquadro ad una rete preesistente di cui si conosca la corrente di cortocircuito sul punto di consegna.

I dati richiesti sono:

- tensione concatenata di alimentazione espressa in V;
- corrente di cortocircuito trifase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente 10 kA).
- corrente di cortocircuito monofase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente 6 kA).

Dai primi due valori si determina l'impedenza diretta corrispondente alla corrente di cortocircuito I_{cctrif} , in mΩ:

$$Z_{cctrif} = \frac{V_2}{\sqrt{3} \cdot I_{cctrif}}$$

In base alla tabella fornita dalla norma CEI 17-5 che fornisce il $\cos\phi_{cc}$ di cortocircuito in relazione alla corrente di cortocircuito in kA, si ha:

$50 < I_{cctrif}$	$\cos\phi_{cc} = 0.2$
$20 < I_{cctrif} \leq 50$	$\cos\phi_{cc} = 0.25$
$10 < I_{cctrif} \leq 20$	$\cos\phi_{cc} = 0.3$
$6 < I_{cctrif} \leq 10$	$\cos\phi_{cc} = 0.5$
$4.5 < I_{cctrif} \leq 6$	$\cos\phi_{cc} = 0.7$
$3 < I_{cctrif} \leq 4.5$	$\cos\phi_{cc} = 0.8$
$1.5 < I_{cctrif} \leq 3$	$\cos\phi_{cc} = 0.9$
$I_{cctrif} \leq 1.5$	$\cos\phi_{cc} = 0.95$

da questi dati si ricava la resistenza alla sequenza diretta, in mΩ:

$$R_d = Z_{cctrif} \cdot \cos\phi_{cc}$$

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

ed infine la relativa reattanza alla sequenza diretta, in $m\Omega$:

$$X_d = \sqrt{Z_{cctrif}^2 - R_d^2}$$

Dalla conoscenza della corrente di guasto monofase I_{k1} , è possibile ricavare i valori dell'impedenza omopolare.

Invertendo la formula:

$$I_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_2}{\sqrt{(2 \cdot R_d + R_0)^2 + (2 \cdot X_d + X_0)^2}}$$

con le ipotesi $\frac{R_0}{X_0} = \frac{Z_0}{X_0} \cdot \cos \varphi_{cc}$, cioè l'angolo delle componenti omopolari uguale a quello delle componenti dirette, si ottiene:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{I_{k1}} \cdot \cos \varphi_{cc} - 2 \cdot R_d$$

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

3.9. 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 dell'utenza a monte che, a loro volta, inizializzano i parametri della linea a valle.

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

3.9.1. 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:

$$R_{dc} = \frac{R_c}{1000} \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot \left(\frac{1}{1 + (\alpha \cdot \Delta T)} \right)$$

dove ΔT è 50 o 70 °C e $\alpha = 0.004$ a 20 °C.

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

$$X_{dc} = \frac{X_c}{1000} \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

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:

$$R_{db} = \frac{R_b}{1000} \cdot \frac{L_b}{1000}$$

La reattanza è invece:

$$X_{db} = \frac{X_b}{1000} \cdot \frac{L_b}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} R_{0cN} &= R_{dc} + 3 \cdot R_{dcN} \\ X_{0cN} &= 3 \cdot X_{dc} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$\begin{aligned} R_{0cPE} &= R_{dc} + 3 \cdot R_{dcPE} \\ X_{0cPE} &= 3 \cdot X_{dc} \end{aligned}$$

dove le resistenze R_{dcN} e R_{dcPE} vengono calcolate come la R_{dc} .

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

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

Per il conduttore di neutro si ha:

$$\begin{aligned} R_{0bN} &= R_{db} + 3 \cdot R_{dbN} \\ X_{0bN} &= 3 \cdot X_{db} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_{0bPE} &= R_{db} + 3 \cdot R_{dbPE} \\ X_{0bPE} &= X_{db} + 3 \cdot (X_{b-ring} - X_{db}) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_d &= R_{dc} + R_{d-up} \\ X_d &= X_{dc} + X_{d-up} \\ R_{0N} &= R_{0cN} + R_{0N-up} \\ X_{0N} &= X_{0cN} + X_{0N-up} \\ R_{0PE} &= R_{0cPE} + R_{0PE-up} \\ X_{0PE} &= X_{0cPE} + X_{0PE-up} \end{aligned}$$

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

Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

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

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

$$Z_{k1N \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0N})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0N})^2}$$

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_{kmax} , fase neutro I_{k1Nmax} , fase terra $I_{k1PEmax}$ e bifase I_{k2max} espresse in kA:

$$\begin{aligned} I_{k \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \min}} \\ I_{k1N \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1N \min}} \end{aligned}$$

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

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

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

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti:

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

$$I_{p1N} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1N\ max}$$

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

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

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.

3.9.2. Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI EN 60909-0 par 7.1.2 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 C_{min} , che può essere 0.95 se $C_{max} = 1.05$, oppure 0.90 se $C_{max} = 1.10$ (Tab. 1 della norma CEI EN 60909-0); in media e alta tensione il fattore C_{min} 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:

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

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:

$$R_{d\max} = R_d \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_{0N\max} = R_{0N} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_{0PE\max} = R_{0PE} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

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

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

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

$$I_{k1N\min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1N\max}}$$

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

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

3.9.3. 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:

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

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

3.10. SCELTA DELLE PROTEZIONI

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

- corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- numero poli;
- tipo di protezione;
- tensione di impiego, pari alla tensione nominale dell'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 ($I_{mag\ max}$).

3.10.1. 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:

- 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).
- L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters\ min}$.
- L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:
 - $I_{ccmax} \leq I_{inters\ max}$.

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.

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

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.

3.10.2. 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.

3.11. PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI

Secondo la norma 64-8 par. 413, un dispositivo di protezione deve interrompere automaticamente l'alimentazione per proteggere contro i contatti indiretti i circuiti e i componenti elettrici, in modo che, in caso di guasto, non possa persistere una tensione di contatto pericolosa per una persona.

E' definita la tensione di contatto limite convenzionale a 50 V in c.a. e 120 V in c.c. non ondulata, oltre la quale esiste pericolo. Tuttavia, in alcune circostanze, è possibile superare tale valore purché la protezione intervenga entro 5 secondi o tempi definiti dalla norma, a seconda del sistema elettrico adottato.

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

3.11.1. Sistemi TN

Tutte le masse dell'impianto devono essere collegate al punto di messa a terra del sistema di alimentazione con conduttori di protezione che devono essere messi a terra in corrispondenza o in prossimità di ogni trasformatore o generatore di alimentazione.

La norma richiede che deve essere soddisfatta la condizione:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

dove:

U_0 è la tensione nominale verso terra;

Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, ed in Ampère corrisponde alla variabile $Zk1(ft)_{max}$;

I_a è la corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione, entro il tempo definito nella Tab. 41A della norma.

Il programma verifica che:

$$I_a \leq I_{a.c.i.} = \frac{U_0}{Z_s}$$

Dove $I_{a.c.i.}$ è una variabile (Corrente contatti indiretti I_a) utilizzata per il confronto con i valori di sgancio delle protezioni.

$I_{a.c.i.}$ normalmente è pari alla corrente di guasto a terra $Ik1(ft)_{min}$ calcolata dal programma.

Esso calcola anche la corrente:

$$I_{50V} = \frac{50}{Z_E}$$

dove Z_E è l'impedenza che collega la massa del dispositivo al punto di messa a terra del sistema.

$I_{a.c.i.}$ assume il valore di I_{50V} se quest'ultima è maggiore della $Ik1(ft)_{min}$, in pratica si accettano correnti di sgancio superiori fino al valore che porta le masse alla tensione limite convenzionale, quindi:

$$I_{a.c.i.} = \max\left(\frac{50}{Z_E}, \frac{U_0}{Z_s}\right)$$

Se richiesto dal progetto, è possibile imporre a ciascuna utenza il valore di $I_{a.c.i.}$ a I_{50V} o I_{25V} e assicurare di non superare mai le tensioni di contatto limite.

Per i sistemi TN-C, il programma verifica la continuità del PEN e che non vi siano protezioni o sezionatori inseriti nel conduttore.

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

3.12. RIFERIMENTI NORMATIVI

- 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 IV^a Ed. 2000-08: Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI EN 60909-0 IIIa Ed. (IEC 60909-0:2016-12): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60909-4 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) Ed. 2018-04: 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 VII^a 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 2020: Cavi di energia per tensione nominale U uguale ad 1 kV - Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 2020: 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.
- 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.

Chioggia, 20/09/2025

RELAZIONE DI CALCOLO – impianti meccanici ed elettrici

ALLEGATO A1 – Schede dati dei risultati di calcolo "dati completi utenze"

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

IMPIANTI ELETTRICI - RETE DISTRIBUZIONE ENERGIA

RELAZIONE DI CALCOLO

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:

$$P_d = P_n \cdot \text{coeff}$$

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:

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

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

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).

In 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 software 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.

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

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 CEI 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:

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

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 mm²;
- 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 mm² se il conduttore è in rame e a 25 mm² 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 mm² se conduttore in rame e 25 mm² 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:

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

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

Il secondo criterio consiste nell'impostare il rapporto tra le portate del conduttore di fase e il conduttore di neutro, e il software 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, deve essere adottata la sezione unificata più vicina al valore calcolato.

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 mm^2 rame o 16 mm^2 alluminio se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm^2 o 16 mm^2 alluminio se non è prevista una protezione meccanica;

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

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. Esso è pari a:

$$\alpha_{cavo} = T_z - T_{ambiente}$$

dove T_z è la massima temperatura di esercizio del cavo.

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:

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

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:

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

- $K_{cdt} = 2$ 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.

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.

Bassa tensione

Questa può essere utilizzata quando il circuito è alimentato dalla rete di distribuzione in bassa tensione, oppure quando il circuito da dimensionare è collegato in sottoquadro ad una rete preesistente di cui si conosca la corrente di cortocircuito sul punto di consegna.

I dati richiesti sono:

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

- tensione concatenata di alimentazione espressa in V;
- corrente di cortocircuito trifase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente 10 kA).
- corrente di cortocircuito monofase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente 6 kA).

Dai primi due valori si determina l'impedenza diretta corrispondente alla corrente di cortocircuito I_{cctrif} , in mΩ:

$$Z_{cctrif} = \frac{V_2}{\sqrt{3} \cdot I_{cctrif}}$$

In base alla tabella fornita dalla norma CEI 17-5 che fornisce il $\cos\phi_{cc}$ di cortocircuito in relazione alla corrente di cortocircuito in kA, si ha:

$50 < I_{cctrif}$	$\cos\phi_{cc} = 0.2$
$20 < I_{cctrif} \leq 50$	$\cos\phi_{cc} = 0.25$
$10 < I_{cctrif} \leq 20$	$\cos\phi_{cc} = 0.3$
$6 < I_{cctrif} \leq 10$	$\cos\phi_{cc} = 0.5$
$4.5 < I_{cctrif} \leq 6$	$\cos\phi_{cc} = 0.7$
$3 < I_{cctrif} \leq 4.5$	$\cos\phi_{cc} = 0.8$
$1.5 < I_{cctrif} \leq 3$	$\cos\phi_{cc} = 0.9$
$I_{cctrif} \leq 1.5$	$\cos\phi_{cc} = 0.95$

da questi dati si ricava la resistenza alla sequenza diretta, in mΩ:

$$R_d = Z_{cctrif} \cdot \cos\phi_{cc}$$

ed infine la relativa reattanza alla sequenza diretta, in mΩ:

$$X_d = \sqrt{Z_{cctrif}^2 - R_d^2}$$

Dalla conoscenza della corrente di guasto monofase I_{k1} , è possibile ricavare i valori dell'impedenza omopolare.

Invertendo la formula:

$$I_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_2}{\sqrt{(2 \cdot R_d + R_0)^2 + (2 \cdot X_d + X_0)^2}}$$

con le ipotesi $\frac{R_0}{X_0} = \frac{Z_0}{X_0} \cdot \cos\phi_{cc}$, cioè l'angolo delle componenti omopolari uguale a quello delle componenti dirette, si ottiene:

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{I_{k1}} \cdot \cos \varphi_{cc} - 2 \cdot R_d$$

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

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:

$$R_{dc} = \frac{R_c}{1000} \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot \left(\frac{1}{1 + (\alpha \cdot \Delta T)} \right)$$

dove ΔT è 50 o 70 °C e $\alpha = 0.004$ a 20 °C.

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

$$X_{dc} = \frac{X_c}{1000} \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

possiamo sommare queste ai parametri diretti della utenza a monte ottenendo così la impedenza di

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

guasto minima a fine utenza.

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

$$R_{db} = \frac{R_b}{1000} \cdot \frac{L_b}{1000}$$

La reattanza è invece:

$$X_{db} = \frac{X_b}{1000} \cdot \frac{L_b}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} R_{0cN} &= R_{dc} + 3 \cdot R_{dcN} \\ X_{0cN} &= 3 \cdot X_{dc} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$\begin{aligned} R_{0cPE} &= R_{dc} + 3 \cdot R_{dcPE} \\ X_{0cPE} &= 3 \cdot X_{dc} \end{aligned}$$

dove le resistenze R_{dcN} e R_{dcPE} vengono calcolate come la R_{dc} .

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

Per il conduttore di neutro si ha:

$$\begin{aligned} R_{0bN} &= R_{db} + 3 \cdot R_{dbN} \\ X_{0bN} &= 3 \cdot X_{db} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_{0bPE} &= R_{db} + 3 \cdot R_{dbPE} \\ X_{0bPE} &= X_{db} + 3 \cdot (X_{b-ring} - X_{db}) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_d &= R_{dc} + R_{d-up} \\ X_d &= X_{dc} + X_{d-up} \\ R_{0N} &= R_{0cN} + R_{0N-up} \\ X_{0N} &= X_{0cN} + X_{0N-up} \\ R_{0PE} &= R_{0cPE} + R_{0PE-up} \\ X_{0PE} &= X_{0cPE} + X_{0PE-up} \end{aligned}$$

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

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 $m\Omega$) di guasto trifase:

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

$$Z_{k1N \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0N})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0N})^2}$$

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 $I_{k1N \max}$, fase terra $I_{k1PE \max}$ e bifase $I_{k2 \max}$ espresse in kA:

$$\begin{aligned} I_{k \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \min}} \\ I_{k1N \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1N \min}} \\ I_{k1PE \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE \min}} \\ I_{k2 \max} &= \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k \min}} \end{aligned}$$

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti:

$$\begin{aligned} I_p &= \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k \max} \\ I_{p1N} &= \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1N \max} \\ I_{p1PE} &= \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1PE \max} \\ I_{p2} &= \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max} \end{aligned}$$

dove:

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

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

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 7.1.2 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 C_{min} , che può essere 0.95 se $C_{max} = 1.05$, oppure 0.90 se $C_{max} = 1.10$ (Tab. 1 della norma CEI EN 60909-0); in media e alta tensione il fattore C_{min} è pari a 1;

Per la temperatura dei conduttori si può scegliere tra:

- la norma FD C15-500, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in servizio ordinario del cavo; con protezione di tipo fusibile la temperatura è la media con la temperatura di fine guasto. Vedere Tableau 3 della norma per maggiori dettagli.
- la norma CEI EN 60909-0, che indica le temperature alla fine del guasto.

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

$$R_{d \max} = R_d \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_{0N \max} = R_{0N} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_{0PE \max} = R_{0PE} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

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

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

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

$$I_{k1N \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1N \max}}$$

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

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

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

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 sovracorrente, il cui valore deve provocare l'interruzione automatica del dispositivo di protezione, entro il tempo definito nella Tabella 41A in funzione della tensione nominale U_0 o entro i 5s per garantire la protezione contro i contatti indiretti.

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);

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

- $I_{ccmax} \leq I_{inters\ max}$ (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 $K^2 S^2$ e la I_z dello stesso.
- La verifica della protezione a cortocircuito eseguita dal software 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.

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

Protezione contro i contatti indiretti

Secondo la norma 64-8 par. 413, un dispositivo di protezione deve interrompere automaticamente l'alimentazione per proteggere contro i contatti indiretti i circuiti e i componenti elettrici, in modo che, in caso di guasto, non possa persistere una tensione di contatto pericolosa per una persona.

E' definita la tensione di contatto limite convenzionale a 50 V in c.a. e 120 V in c.c. non ondulata, oltre la quale esiste pericolo. Tuttavia, in alcune circostanze, è possibile superare tale valore purché la protezione intervenga entro 5 secondi o tempi definiti dalla norma, a seconda del sistema elettrico adottato.

Sistemi TN

Tutte le masse dell'impianto devono essere collegate al punto di messa a terra del sistema di alimentazione con conduttori di protezione che devono essere messi a terra in corrispondenza o in prossimità di ogni trasformatore o generatore di alimentazione.

La norma richiede che deve essere soddisfatta la condizione:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

dove:

U_0 è la tensione nominale verso terra;

Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, e nei calcoli corrisponde alla variabile $Z_{k1(ft) \max}$;

I_a è la corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione, entro il tempo definito nella Tab. 41A della norma.

Il software verifica che:

$$I_a \leq I_{a \text{ c.i.}} = \frac{U_0}{Z_s}$$

Dove $I_a \text{ c.i.}$ è una variabile di calcolo (Corrente contatti indiretti I_a) utilizzata per il confronto con i valori di sgancio delle protezioni.

$I_a \text{ c.i.}$ normalmente è pari alla corrente di guasto a terra $I_{k1(ft) \min}$ calcolata dal software.

Esso calcola anche la corrente:

$$I_{50V} = \frac{50}{Z_E}$$

dove Z_E è l'impedenza che collega la massa del dispositivo al punto di messa a terra del sistema.

$I_a \text{ c.i.}$ assume il valore di I_{50V} se quest'ultima è maggiore della $I_{k1(ft) \min}$, in pratica si accettano correnti di sgancio superiori fino al valore che porta le masse alla tensione limite convenzionale, quindi:

$$I_{a \text{ c.i.}} = \max\left(\frac{50}{Z_E}, \frac{U_0}{Z_s}\right)$$

Se richiesto dal progetto, è possibile imporre a ciascuna utenza il valore di $I_a \text{ c.i.}$ a I_{50V} o I_{25V} e assicurare di non superare mai le tensioni di contatto limite.

Per i sistemi TN-C, il software verifica la continuità del PEN e che non vi siano protezioni o sezionatori inseriti nel conduttore.

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

Sistemi TT

Tutte le masse protette contro i contatti indiretti dallo stesso dispositivo di protezione devono essere collegate allo stesso impianto di terra.

Il punto neutro di ogni trasformatore o di ogni generatore deve essere collegato a terra, in modo da permettere l'interruzione dell'alimentazione al primo guasto franco su una massa collegata al dispersore di resistenza di terra R_E .

I dispositivi di protezione devono essere a corrente differenziale e deve essere soddisfatta la condizione:

$$R_E \cdot I_{dn} \leq U_L$$

dove:

R_E è la resistenza del dispersore dell'impianto di terra, al quale il software aggiunge anche l'impedenza dei cavi di protezione che collegano la massa protetta, calcolando la variabile Z_E ;

I_{dn} è la corrente nominale differenziale;

U_L è la tensione limite convenzionale (normalmente 50 V).

Il software verifica che:

$$I_{dn} \leq I_{a.c.i.} = \frac{U_L}{Z_E}$$

Per completezza, quando il software possiede tutti gli elementi per calcolare la corrente di circolazione di un guasto a terra, ossia la $I_{k1}(ft) \min$, allora $I_{a.c.i.}$ è scelta tra la maggiore delle due correnti, similmente al sistema TN:

$$I_{a.c.i.} = \max\left(\frac{U_L}{Z_E}, \frac{U_0}{Z_s}\right)$$

Ovviamente, per la normativa italiana, il dispositivo di protezione deve essere solo a corrente differenziale.

Sistemi IT

Nei sistemi IT le parti attive devono essere isolate da terra oppure essere collegate a terra attraverso un'impedenza di valore sufficientemente elevato.

Le masse devono essere messe a terra, e nel caso di un singolo guasto a terra, deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$R_E \cdot I_d \leq U_L$$

dove:

R_E è la resistenza del dispersore, al quale il software aggiunge anche l'impedenza dei cavi di protezione che collegano la massa protetta, calcolando la variabile Z_E ;

I_d è la corrente del primo guasto a terra, che per il software sarà pari alla corrente di guasto a terra $I_{k1}(ft) \min$ nelle condizioni complessive di rete definite nel progetto.

Il software verifica che:

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

$$V_T = Z_E \cdot I_d \leq U_L$$

dove V_T è la tensione della massa a guasto, una variabile di calcolo che per i sistemi IT è associata al primo guasto a terra.

La norma richiede l'interruzione automatica dell'alimentazione per un secondo guasto su di un conduttore attivo differente, ovviamente appartenente alla stessa area elettrica a valle della fornitura o di un trasformatore.

Viene indicata la formula che deve essere rispettata, che in generale è la seguente:

$$2 \cdot Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

dove:

U_0 è la tensione nominale verso terra;

Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente;

I_a è la corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione, entro il tempo definito nella Tab. 41A della norma.

Il coefficiente 2 indica che il secondo guasto può manifestarsi in un circuito differente, ed in più la norma suggerisce di considerare il caso più severo, comprendendo anche i guasti sul neutro.

Il software di calcolo assolve a queste indicazioni potendo scegliere tra il metodo proposto dalla norma, oppure risolvendo il seguente algoritmo:

$$I_a \leq I_{a \text{ c.i.}} = \min_{s2} \frac{U_0}{(Z_{s1} + Z_{s2})}$$

dove:

Z_{s1} è l'impedenza dell'anello di guasto della utenza in considerazione;

Z_{s2} è l'impedenza dell'anello di guasto di una seconda utenza;

$I_{a \text{ c.i.}}$ è la minima corrente di guasto, calcolata permutando tutte le utenze $s2$ appartenenti alla stessa area elettrica di $s1$.

Il valore $\text{Max}(Z_{s1} + Z_{s2})$ è memorizzato nella variabile $ZIT \text{ max}$ del software di calcolo.

$I_{a \text{ c.i.}}$ normalmente è pari alla corrente di guasto a terra $I_k(IT) \text{ min}$ calcolata dal software.

Esso calcola anche la corrente:

$$I_{50V} = \frac{50}{Z_E}$$

dove Z_E è l'impedenza che collega la massa del dispositivo al punto di messa a terra del sistema.

$I_{a \text{ c.i.}}$ assume il valore di I_{50V} se quest'ultima è maggiore della $I_k(IT) \text{ min}$, in pratica si accettano correnti di sgancio superiori fino al valore che portano le masse alla tensione limite convenzionale, quindi:

$$I_{a \text{ c.i.}} = \max\left(\frac{50}{Z_E}, \frac{U_0}{ZIT \text{ max}}\right)$$

.

Nota. Il software permette di applicare il punto 413.1.1.1 della CEI 64-8, e quindi validare a contatti indiretti una utenza che presenta, in caso di guasto, un valore di tensione inferiore alla tensione limite convenzionale.

In pratica, a differenza di quanto spiegato finora, le tarature delle protezioni possono essere superiori anche alla

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

corrente I_{50V} .

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 IIIa Ed. (IEC 60909-0:2016-12): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60909-4 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 IEC 61660-1 Ia Ed. 1997-06: Short-circuit currents in d.c. auxiliary installations in power plants and substations. Part 1: Calculation of short-circuit currents.
- CEI EN 60947-2 (CEI 17-5) Ed. 2018-04: 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 Ed. 2021: 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 2020: Cavi di energia per tensione nominale U uguale ad 1 kV - Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 2020: 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 UNEL 01433 1973: Portate di corrente per barre piatte lucide di rame elettrolitico a spigoli vivi in aria.
- CEI EN 61439 2012: Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT).

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Relazione di calcolo

- 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.

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

IMPIANTI ELETTRICI - RETE DISTRIBUZIONE ENERGIA

TABELLE DI CALCOLO DATI UTENZE

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Biblioteca.Linea POD-QE0C1
Denominazione 1:	Collegamento POD
Denominazione 2:	Fornitura Energia
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Distribuzione generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	13,6 kW	Collegamento fasi:	3F+N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	13,6 kW	Pot. trasferita a monte:	15,1 kVA
Potenza reattiva:	6,58 kVAR	Potenza totale:	31,9 kVA
Corrente di impiego Ib:	24,9 A	Potenza disponibile:	16,8 kVA
Fattore di potenza:	0,9		
Tensione nominale:	400 V		

Cavi

Formazione:	4x16		
Tipo posa:	31 - cavi multipolari in canali posati su parete con percorso orizzontale		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo	FG16OM16 0.6/1 kV Cca-s1b,d1,a1		
Isolante (fase+neutro+PE):	HEPR	K ² S ² conduttore fase:	5,235*10⁶A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K ² S ² neutro:	5,235*10⁶A²s
Materiale conduttore:	RAME	Caduta di tensione parziale a Ib:	0,055 %
Lunghezza linea:	3 m	Caduta di tensione totale a Ib:	0,055 %
Corrente ammissibile Iz:	54,1 A	Temperatura ambiente:	25 °C
Corrente ammissibile neutro:	54,1 A	Temperatura cavo a Ib:	38,8 °C
Coefficiente di prossimità:	0,65 (Numero circuiti: 4)	Temperatura cavo a In:	72 °C
Coefficiente di temperatura:	1,04	Coordinamento Ib<=In<=Iz:	24,9<=46<=54,1 A
Coefficiente di declassamento	0,676		

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	10 kA	Ik1fnmax:	5,39 kA
Ikv max a valle:	9,14 kA	Ip1fn:	10,1 kA
Imagmax (magnetica massima):	4591 A	Ik1fnmin:	4,59 kA
Ik max:	9,14 kA	Zk min:	25,3 mohm
Ip:	16,9 kA	Zk max:	27,7 mohm
Ik min:	7,92 kA	Zk2 min:	0 mohm
Ik2max:	7,91 kA	Zk2 max:	0 mohm
Ip2:	14,6 kA	Zk1fnmin:	42,9 mohm
Ik2min:	6,86 kA	Zk1fnmx:	47,8 mohm

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Biblioteca.QE0C1-GQE0C1
Denominazione 1:	Generale quadro
Denominazione 2:	
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Distribuzione generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	13,6 kW	Collegamento fasi:	3F+N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	13,6 kW	Pot. trasferita a monte:	15,1 kVA
Potenza reattiva:	6,58 kVAR	Potenza totale:	34,6 kVA
Corrente di impiego Ib:	24,9 A	Potenza disponibile:	19,5 kVA
Fattore di potenza:	0,9		
Tensione nominale:	400 V		

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ik _m max a monte:	9,14 kA	Ik _{1fn} max:	5,39 kA
Ik _v max a valle:	9,14 kA	Ip _{1fn} :	4,31 kA
Imag _{max} (magnetica massima):	4591 A	Ik _{1fn} min:	4,59 kA
Ik _{max} :	9,14 kA	Zk _{min} :	25,3 mohm
Ip:	5,32 kA	Zk _{max} :	27,7 mohm
Ik _{min} :	7,92 kA	Zk ₂ min:	0 mohm
Ik ₂ max:	7,91 kA	Zk ₂ max:	0 mohm
Ip ₂ :	4,91 kA	Zk _{1fn} min:	42,9 mohm
Ik ₂ min:	6,86 kA	Zk _{1fn} mx:	47,8 mohm

Protezione

Tipo protezione:	MT	Taratura termica neutro:	50 A
Corrente nominale protez.:	50 A	Taratura magnetica neutro:	500 A
Numero poli:	4	Potere di interruzione PdI:	15 kA
Curva di sgancio:	C	Verifica potere di interruzione:	15 >= 9,14 kA
Taratura termica:	50 A	Norma:	Icu - EN 60947
Taratura magnetica:	500 A		
Sg. magnetico < I mag. massima:	500 < 4591 A		

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Biblioteca.QE0C1-SPD
Denominazione 1:	Scaricatori
Denominazione 2:	Sovratensione
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

SPD

Tipologia utenza:	Terminale SPD	Tensione nominale:	400 V
Classe di prova SPD:	II	Sistema distribuzione:	TT
Numero poli SPD:	3N	Collegamento fasi:	3F+N
Codice materiale SPD:	ZOT200141/A	Frequenza ingresso:	50 Hz
Corrente ad impulso Iimp:	3 kA	Numero carichi utenza:	1
Tensione di protezione Up a Iimp:	1,7 kV		

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	9,14 kA	Ik1fnmax:	5,39 kA
Ikv max a valle:	9,14 kA	Ip1fn:	8,56 kA
Imagmax (magnetica massima):	4591 A	Ik1fnmin:	4,59 kA
Ik max:	9,14 kA	Zk min:	25,3 mohm
Ip:	14,5 kA	Zk max:	27,7 mohm
Ik min:	7,92 kA	Zk2 min:	0 mohm
Ik2max:	7,91 kA	Zk2 max:	0 mohm
Ip2:	12,6 kA	Zk1fnmin:	42,9 mohm
Ik2min:	6,86 kA	Zk1fnmx:	47,8 mohm

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Biblioteca.QE0C1-UE1
Denominazione 1:	Unità esterna
Denominazione 2:	climatizzazione UE1
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Terminale generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	19,3 kW	Collegamento fasi:	3F+N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	19,3 kW	Pot. trasferita a monte:	14 kVA
Potenza reattiva:	9,36 kVAR	Potenza totale:	27,7 kVA
Corrente di impiego Ib:	31 A	Potenza disponibile:	6,24 kVA
Fattore di potenza:	0,9	Numero carichi utenza:	1
Tensione nominale:	400 V		

Cavi

Formazione:	5G16		
Tipo posa:	31 - cavi multipolari in canali posati su parete con percorso orizzontale		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo	FG16OM16 0.6/1 kV Cca-s1b,d1,a1		
Isolante (fase+neutro+PE):	HEPR	K²S² conduttore fase:	5,235*10⁶A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K²S² neutro:	5,235*10⁶A²s
Materiale conduttore:	RAME	K²S² PE:	5,235*10⁶A²s
Lunghezza linea:	14 m	Caduta di tensione parziale a Ib:	0,267 %
Corrente ammissibile Iz:	48 A	Caduta di tensione totale a Ib:	0,322 %
Corrente ammissibile neutro:	48 A	Temperatura ambiente:	30 °C
Coefficiente di prossimità:	0,6 (Numero circuiti: 5)	Temperatura cavo a Ib:	55 °C
Coefficiente di temperatura:	1	Temperatura cavo a In:	71,7 °C
Coefficiente di declassamento	0,6	Coordinamento Ib<=In<=Iz:	31<=40<=48 A

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	9,14 kA	Ik1fnmax:	3,31 kA
Ikv max a valle:	6,01 kA	Ip1fn:	4,29 kA
Imagmax (magnetica massima):	2095 A	Ik1fnmin:	2,09 kA
Ik max:	6,01 kA	Zk min:	38,4 mohm
Ip:	5,64 kA	Zk max:	55,5 mohm
Ik min:	3,95 kA	Zk2 min:	0 mohm
Ik2max:	5,2 kA	Zk2 max:	0 mohm
Ip2:	5,16 kA	Zk1fnmin:	69,8 mohm
Ik2min:	3,42 kA	Zk1fnmx:	104,7 mohm

Protezione

Tipo protezione:	MT+D	Taratura termica neutro:	40 A
Corrente nominale protez.:	40 A	Taratura magnetica neutro:	400 A
Numero poli:	4	Taratura differenziale:	0,3 A
Curva di sgancio:	C	Potere di interruzione PdI:	15 kA (Backup)
Classe d'impiego:	A	Verifica potere di interruzione:	15 >= 9,14 kA
Taratura termica:	40 A	Norma:	Icu - EN 60947
Taratura magnetica:	400 A		
Sg. magnetico < I mag. massima:	400 < 2095 A		

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Biblioteca.QE0C1-UI01÷12
Denominazione 1:	Unità interne
Denominazione 2:	climatizzazione UE01÷12
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Terminale generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	0,998 kW	Collegamento fasi:	L3-N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	0,998 kW	Pot. trasferita a monte:	1,11 kVA
Potenza reattiva:	0,483 kVAR	Potenza totale:	1,39 kVA
Corrente di impiego Ib:	4,8 A	Potenza disponibile:	0,277 kVA
Fattore di potenza:	0,9	Numero carichi utenza:	1
Tensione nominale:	231 V		

Cavi

Formazione:	3G1.5		
Tipo posa:	31 - cavi multipolari in canali posati su parete con percorso orizzontale		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo	FG16OM16 0.6/1 kV Cca-s1b,d1,a1		
Isolante (fase+neutro+PE):	HEPR	K ² S ² conduttore fase:	4,601*10⁴A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K ² S ² neutro:	4,601*10⁴A²s
Materiale conduttore:	RAME	K ² S ² PE:	4,601*10⁴A²s
Lunghezza linea:	60 m	Caduta di tensione parziale a Ib:	3,83 %
Corrente ammissibile Iz:	13,2 A	Caduta di tensione totale a Ib:	3,89 %
Corrente ammissibile neutro:	13,2 A	Temperatura ambiente:	30 °C
Coefficiente di prossimità:	0,6 (Numero circuiti: 5)	Temperatura cavo a Ib:	37,9 °C
Coefficiente di temperatura:	1	Temperatura cavo a In:	42,4 °C
Coefficiente di declassamento	0,6	Coordinamento Ib<=In<=Iz:	4,8<=6<=13,2 A

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	5,39 kA	Ip1fn:	1,91 kA
Ikv max a valle:	0,143 kA	Ik1fnmin:	0,071 kA
Imagmax (magnetica massima):	71,1 A	Zk1fnmin:	1617 mohm
Ik1fnmax:	0,143 kA	Zk1fnmx:	3087 mohm

Protezione

Tipo protezione:	MT+D		
Corrente nominale protez.:	6 A	Sg. magnetico < I mag. massima:	60 < 71,1 A
Numero poli:	1N	Taratura differenziale:	0,03 A
Curva di sgancio:	C	Potere di interruzione PdI:	10 kA
Classe d'impiego:	A	Verifica potere di interruzione:	10 >= 5,39 kA
Taratura termica:	6 A	Norma:	Icu - EN 60947
Taratura magnetica:	60 A		

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Biblioteca.QE0C1-PG1
Denominazione 1:	Pannello gestione
Denominazione 2:	centralizz. climatizz. PG1
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Terminale generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	0,023 kW	Collegamento fasi:	L2-N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	0,023 kW	Pot. trasferita a monte:	0,026 kVA
Potenza reattiva:	0,011 kVAR	Potenza totale:	1,39 kVA
Corrente di impiego Ib:	0,111 A	Potenza disponibile:	1,36 kVA
Fattore di potenza:	0,9	Numero carichi utenza:	1
Tensione nominale:	231 V		

Cavi

Formazione:	3G1.5		
Tipo posa:	31 - cavi multipolari in canali posati su parete con percorso orizzontale		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo	FG160M16 0.6/1 kV Cca-s1b,d1,a1		
Isolante (fase+neutro+PE):	HEPR	K ² S ² conduttore fase:	4,601*10⁴A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K ² S ² neutro:	4,601*10⁴A²s
Materiale conduttore:	RAME	K ² S ² PE:	4,601*10⁴A²s
Lunghezza linea:	1 m	Caduta di tensione parziale a Ib:	0,001 %
Corrente ammissibile Iz:	13,2 A	Caduta di tensione totale a Ib:	0,031 %
Corrente ammissibile neutro:	13,2 A	Temperatura ambiente:	30 °C
Coefficiente di prossimità:	0,6 (Numero circuiti: 5)	Temperatura cavo a Ib:	30 °C
Coefficiente di temperatura:	1	Temperatura cavo a In:	42,4 °C
Coefficiente di declassamento	0,6	Coordinamento Ib<=In<=Iz:	0,111<=6<=13,2 A

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	5,39 kA	Ip1fn:	1,91 kA
Ikv max a valle:	3,67 kA	Ik1fnmin:	2,4 kA
Imagmax (magnetica massima):	2404 A	Zk1fnmin:	62,9 mohm
Ik1fnmax:	3,67 kA	Zk1fnmx:	91,3 mohm

Protezione

Tipo protezione:	MT+D		
Corrente nominale protez.:	6 A	Sg. magnetico < I mag. massima:	60 < 2404 A
Numero poli:	1N	Taratura differenziale:	0,03 A
Curva di sgancio:	C	Potere di interruzione PdI:	10 kA
Classe d'impiego:	A	Verifica potere di interruzione:	10 >= 5,39 kA
Taratura termica:	6 A	Norma:	Icu - EN 60947
Taratura magnetica:	60 A		

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Pal. Cavalli P.T..Linea POD-QE0C2
Denominazione 1:	Collegamento POD
Denominazione 2:	Fornitura Energia
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Distribuzione generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	10,7 kW	Collegamento fasi:	3F+N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	10,7 kW	Pot. trasferita a monte:	11,9 kVA
Potenza reattiva:	5,21 kVAR	Potenza totale:	26,3 kVA
Corrente di impiego Ib:	20,4 A	Potenza disponibile:	14,4 kVA
Fattore di potenza:	0,9		
Tensione nominale:	400 V		

Cavi

Formazione:	4x10		
Tipo posa:	31 - cavi multipolari in canali posati su parete con percorso orizzontale		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo	FG160M16 0.6/1 kV Cca-s1b,d1,a1		
Isolante (fase+neutro+PE):	HEPR	K ² S ² conduttore fase:	2,045*10⁶A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K ² S ² neutro:	2,045*10⁶A²s
Materiale conduttore:	RAME	Caduta di tensione parziale a Ib:	0,073 %
Lunghezza linea:	3 m	Caduta di tensione totale a Ib:	0,073 %
Corrente ammissibile Iz:	40,6 A	Temperatura ambiente:	25 °C
Corrente ammissibile neutro:	40,6 A	Temperatura cavo a Ib:	41,4 °C
Coefficiente di prossimità:	0,65 (Numero circuiti: 4)	Temperatura cavo a In:	82,1 °C
Coefficiente di temperatura:	1,04	Coordinamento Ib<=In<=Iz:	20,4<=38<=40,6 A
Coefficiente di declassamento	0,676		

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	15 kA	Ik1fnmax:	5,29 kA
Ikv max a valle:	12,7 kA	Ip1fn:	11,9 kA
Imagmax (magnetica massima):	4361 A	Ik1fnmin:	4,36 kA
Ik max:	12,7 kA	Zk min:	18,2 mohm
Ip:	29,7 kA	Zk max:	21,7 mohm
Ik min:	10,1 kA	Zk2 min:	21 mohm
Ik2max:	11 kA	Zk2 max:	25,1 mohm
Ip2:	25,7 kA	Zk1fnmin:	43,6 mohm
Ik2min:	8,75 kA	Zk1fnmx:	50,3 mohm

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Pal. Cavalli P.T..QE0C2-GQE0C2
Denominazione 1:	Alimentaz. quadro
Denominazione 2:	QE1C2 climatizz. p.2°
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Distribuzione generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	10,7 kW	Collegamento fasi:	3F+N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	10,7 kW	Pot. trasferita a monte:	11,9 kVA
Potenza reattiva:	5,21 kVAR	Potenza totale:	27,7 kVA
Corrente di impiego Ib:	20,4 A	Potenza disponibile:	15,8 kVA
Fattore di potenza:	0,9		
Tensione nominale:	400 V		

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	12,7 kA	Ik1fnmax:	5,29 kA
Ikv max a valle:	12,7 kA	Ip1fn:	8,55 kA
Imagmax (magnetica massima):	4361 A	Ik1fnmin:	4,36 kA
Ik max:	12,7 kA	Zk min:	18,2 mohm
Ip:	20,6 kA	Zk max:	21,7 mohm
Ik min:	10,1 kA	Zk2 min:	21 mohm
Ik2max:	11 kA	Zk2 max:	25,1 mohm
Ip2:	17,8 kA	Zk1fnmin:	43,6 mohm
Ik2min:	8,75 kA	Zk1fnmx:	50,3 mohm

Protezione

Tipo protezione:	MT	Taratura termica neutro:	40 A
Corrente nominale protez.:	40 A	Taratura magnetica neutro:	400 A
Numero poli:	4	Potere di interruzione PdI:	15 kA
Curva di sgancio:	C	Verifica potere di interruzione:	15 >= 12,7 kA
Taratura termica:	40 A	Norma:	Icu - EN 60947
Taratura magnetica:	400 A		
Sg. magnetico < I mag. massima:	400 < 4361 A		

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Pal. Cavalli P.T..QE0C2-SPD
Denominazione 1:	Scaricatori
Denominazione 2:	Sovratensione
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

SPD

Tipologia utenza:	Terminale SPD	Tensione nominale:	400 V
Classe di prova SPD:	II	Sistema distribuzione:	TT
Numero poli SPD:	3N	Collegamento fasi:	3F+N
Codice materiale SPD:	ZOT200141/A	Frequenza ingresso:	50 Hz
Corrente ad impulso Iimp:	3 kA	Numero carichi utenza:	1
Tensione di protezione Up a Iimp:	1,7 kV		

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	12,7 kA	Ik1fnmax:	5,29 kA
Ikv max a valle:	12,7 kA	Ip1fn:	8,55 kA
Imagmax (magnetica massima):	4361 A	Ik1fnmin:	4,36 kA
Ik max:	12,7 kA	Zk min:	18,2 mohm
Ip:	20,6 kA	Zk max:	21,7 mohm
Ik min:	10,1 kA	Zk2 min:	21 mohm
Ik2max:	11 kA	Zk2 max:	25,1 mohm
Ip2:	17,8 kA	Zk1fnmin:	43,6 mohm
Ik2min:	8,75 kA	Zk1fnmx:	50,3 mohm

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Pal. Cavalli P.T..QE0C2-QE1C2
Denominazione 1:	Alimentaz. quadro
Denominazione 2:	QE1C2 climatizz. p.2°
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Distribuzione generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	10,7 kW	Collegamento fasi:	3F+N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	10,7 kW	Pot. trasferita a monte:	11,9 kVA
Potenza reattiva:	5,21 kVAR	Potenza totale:	26,3 kVA
Corrente di impiego Ib:	20,4 A	Potenza disponibile:	14,4 kVA
Fattore di potenza:	0,9		
Tensione nominale:	400 V		

Cavi

Formazione:	5G10		
Tipo posa:	31 - cavi multipolari in canali posati su parete con percorso orizzontale		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo	FG160M16 0.6/1 kV Cca-s1b,d1,a1		
Isolante (fase+neutro+PE):	HEPR	K²S² conduttore fase:	2,045*10⁶A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K²S² neutro:	2,045*10⁶A²s
Materiale conduttore:	RAME	K²S² PE:	2,045*10⁶A²s
Lunghezza linea:	30 m	Caduta di tensione parziale a Ib:	0,73 %
Corrente ammissibile Iz:	39 A	Caduta di tensione totale a Ib:	0,803 %
Corrente ammissibile neutro:	39 A	Temperatura ambiente:	30 °C
Coefficiente di prossimità:	0,65 (Numero circuiti: 4)	Temperatura cavo a Ib:	46,4 °C
Coefficiente di temperatura:	1	Temperatura cavo a In:	87 °C
Coefficiente di declassamento	0,65	Coordinamento Ib<=In<=Iz:	20,4<=38<=39 A

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	12,7 kA	Ik1fnmax:	1,61 kA
Ikv max a valle:	3,31 kA	Ip1fn:	8,55 kA
Imagmax (magnetica massima):	854,1 A	Ik1fnmin:	0,854 kA
Ik max:	3,31 kA	Zk min:	69,7 mohm
Ip:	20,6 kA	Zk max:	126,8 mohm
Ik min:	1,73 kA	Zk2 min:	80,5 mohm
Ik2max:	2,87 kA	Zk2 max:	146,4 mohm
Ip2:	17,8 kA	Zk1fnmin:	143,4 mohm
Ik2min:	1,5 kA	Zk1fnmx:	256,9 mohm

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Pal. Cavalli P.2°.QE1C2-GQE1C2
Denominazione 1:	Generale quadro
Denominazione 2:	
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Distribuzione generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	10,7 kW	Collegamento fasi:	3F+N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	10,7 kW	Pot. trasferita a monte:	11,9 kVA
Potenza reattiva:	5,21 kVAR	Potenza totale:	26,3 kVA
Corrente di impiego Ib:	20,4 A	Potenza disponibile:	14,4 kVA
Fattore di potenza:	0,9		
Tensione nominale:	400 V		

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	3,31 kA	Ik1fnmax:	1,61 kA
Ikv max a valle:	3,31 kA	Ip1fn:	1,75 kA (Lim.)
Imagmax (magnetica massima):	854,1 A	Ik1fnmin:	0,854 kA
Ik max:	3,31 kA	Zk min:	69,7 mohm
Ip:	3,14 kA (Lim.)	Zk max:	126,8 mohm
Ik min:	1,73 kA	Zk2 min:	80,5 mohm
Ik2max:	2,87 kA	Zk2 max:	146,4 mohm
Ip2:	3,05 kA (Lim.)	Zk1fnmin:	143,4 mohm
Ik2min:	1,5 kA	Zk1fnmx:	256,9 mohm

Protezione

Corrente nominale protez.:	40 A	Corrente sovraccarico Ins:	38 A
Numero poli:	4	Potere di interruzione PdI:	n.d.

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Pal. Cavalli P.2°.QE1C2-SPD
Denominazione 1:	Scaricatori
Denominazione 2:	Sovratensione
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

SPD

Tipologia utenza:	Terminale SPD	Tensione nominale:	400 V
Classe di prova SPD:	II	Sistema distribuzione:	TT
Numero poli SPD:	3N	Collegamento fasi:	3F+N
Codice materiale SPD:	ZOT200141/A	Frequenza ingresso:	50 Hz
Corrente ad impulso Iimp:	3 kA	Numero carichi utenza:	1
Tensione di protezione Up a Iimp:	1,7 kV		

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	3,31 kA	Ik1fnmax:	1,61 kA
Ikv max a valle:	3,31 kA	Ip1fn:	2,32 kA
Imagmax (magnetica massima):	854,1 A	Ik1fnmin:	0,854 kA
Ik max:	3,31 kA	Zk min:	69,7 mohm
Ip:	4,78 kA	Zk max:	126,8 mohm
Ik min:	1,73 kA	Zk2 min:	80,5 mohm
Ik2max:	2,87 kA	Zk2 max:	146,4 mohm
Ip2:	4,14 kA	Zk1fnmin:	143,4 mohm
Ik2min:	1,5 kA	Zk1fnmx:	256,9 mohm

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Pal. Cavalli P.2°.QE1C2-UE1
Denominazione 1:	Unità esterna
Denominazione 2:	climatizzazione UE1
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Terminale generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	15 kW	Collegamento fasi:	3F+N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	15 kW	Pot. trasferita a monte:	10,8 kVA
Potenza reattiva:	7,25 kVAR	Potenza totale:	22,2 kVA
Corrente di impiego Ib:	24 A	Potenza disponibile:	5,54 kVA
Fattore di potenza:	0,9	Numero carichi utenza:	1
Tensione nominale:	400 V		

Cavi

Formazione:	5G10		
Tipo posa:	31 - cavi multipolari in canali posati su parete con percorso orizzontale		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo	FG160M16 0.6/1 kV Cca-s1b,d1,a1		
Isolante (fase+neutro+PE):	HEPR	K²S² conduttore fase:	2,045*10⁶A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K²S² neutro:	2,045*10⁶A²s
Materiale conduttore:	RAME	K²S² PE:	2,045*10⁶A²s
Lunghezza linea:	22 m	Caduta di tensione parziale a Ib:	0,51 %
Corrente ammissibile Iz:	36 A	Caduta di tensione totale a Ib:	1,31 %
Corrente ammissibile neutro:	36 A	Temperatura ambiente:	30 °C
Coefficiente di prossimità:	0,6 (Numero circuiti: 5)	Temperatura cavo a Ib:	56,7 °C
Coefficiente di temperatura:	1	Temperatura cavo a In:	77,4 °C
Coefficiente di declassamento	0,6	Coordinamento Ib<=In<=Iz:	24<=32<=36 A

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	3,31 kA	Ik1fnmax:	1,02 kA
Ikv max a valle:	2,08 kA	Ip1fn:	1,73 kA (Lim.)
Imagmax (magnetica massima):	526,2 A	Ik1fnmin:	0,526 kA
Ik max:	2,08 kA	Zk min:	111,1 mohm
Ip:	3,11 kA (Lim.)	Zk max:	207 mohm
Ik min:	1,06 kA	Zk2 min:	128,3 mohm
Ik2max:	1,8 kA	Zk2 max:	239 mohm
Ip2:	2,94 kA (Lim.)	Zk1fnmin:	225,5 mohm
Ik2min:	0,918 kA	Zk1fnmx:	416,9 mohm

Protezione

Tipo protezione:	MT+D	Taratura termica neutro:	32 A
Corrente nominale protez.:	32 A	Taratura magnetica neutro:	320 A
Numero poli:	4	Taratura differenziale:	0,3 A
Curva di sgancio:	C	Potere di interruzione PdI:	6 kA
Classe d'impiego:	A	Verifica potere di interruzione:	6 >= 3,31 kA
Taratura termica:	32 A	Norma:	Icu - EN 60947
Taratura magnetica:	320 A		
Sg. magnetico < I mag. massima:	320 < 526,2 A		

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Pal. Cavalli P.2°.QE1C2-UI01÷12
Denominazione 1:	Unità interne
Denominazione 2:	climatizzazione UE01÷12
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Terminale generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	0,998 kW	Collegamento fasi:	L3-N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	0,998 kW	Pot. trasferita a monte:	1,11 kVA
Potenza reattiva:	0,483 kVAR	Potenza totale:	1,39 kVA
Corrente di impiego Ib:	4,8 A	Potenza disponibile:	0,277 kVA
Fattore di potenza:	0,9	Numero carichi utenza:	1
Tensione nominale:	231 V		

Cavi

Formazione:	3G1.5		
Tipo posa:	31 - cavi multipolari in canali posati su parete con percorso orizzontale		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo	FG16OM16 0.6/1 kV Cca-s1b,d1,a1		
Isolante (fase+neutro+PE):	HEPR	K²S² conduttore fase:	4,601*10⁴A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K²S² neutro:	4,601*10⁴A²s
Materiale conduttore:	RAME	K²S² PE:	4,601*10⁴A²s
Lunghezza linea:	25 m	Caduta di tensione parziale a Ib:	1,59 %
Corrente ammissibile Iz:	13,7 A	Caduta di tensione totale a Ib:	2,4 %
Corrente ammissibile neutro:	13,7 A	Temperatura ambiente:	25 °C
Coefficiente di prossimità:	0,6 (Numero circuiti: 5)	Temperatura cavo a Ib:	32,9 °C
Coefficiente di temperatura:	1,04	Temperatura cavo a In:	37,4 °C
Coefficiente di declassamento	0,624	Coordinamento Ib<=In<=Iz:	4,8<=6<=13,7 A

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	1,61 kA	Ip1fn:	1,02 kA (Lim.)
Ikv max a valle:	0,288 kA	Ik1fnmin:	0,144 kA
Imagmax (magnetica massima):	143,8 A	Zk1fnmin:	801,2 mohm
Ik1fnmax:	0,288 kA	Zk1fnmx:	1526 mohm

Protezione

Tipo protezione:	MT+D	Sg. magnetico < I mag. massima:	60 < 143,8 A
Corrente nominale protez.:	6 A	Taratura differenziale:	0,03 A
Numero poli:	1N	Potere di interruzione PdI:	6 kA
Curva di sgancio:	C	Verifica potere di interruzione:	6 >= 1,61 kA
Classe d'impiego:	A	Norma:	Icu - EN 60947
Taratura termica:	6 A		
Taratura magnetica:	60 A		

RELAZIONE DI CALCOLO - Impianti elettrici - Dati completi utenza

Identificazione

Sigla utenza:	+Pal. Cavalli P.2°.QE1C2-PG1
Denominazione 1:	Pannello gestione
Denominazione 2:	centralizz. climatizz. PG1
Informazioni aggiuntive/Note 1:	
Informazioni aggiuntive/Note 2:	

Utenza

Tipologia utenza:	Terminale generica	Sistema distribuzione:	TT
Potenza nominale:	0,023 kW	Collegamento fasi:	L2-N
Coefficiente:	1	Frequenza ingresso:	50 Hz
Potenza dimensionamento:	0,023 kW	Pot. trasferita a monte:	0,026 kVA
Potenza reattiva:	0,011 kVAR	Potenza totale:	1,39 kVA
Corrente di impiego Ib:	0,111 A	Potenza disponibile:	1,36 kVA
Fattore di potenza:	0,9	Numero carichi utenza:	1
Tensione nominale:	231 V		

Cavi

Formazione:	3G1.5		
Tipo posa:	31 - cavi multipolari in canali posati su parete con percorso orizzontale		
Disposizione posa:	Raggruppati a fascio, annegati		
Designazione cavo	FG160M16 0.6/1 kV Cca-s1b,d1,a1		
Isolante (fase+neutro+PE):	HEPR	K ² S ² conduttore fase:	4,601*10⁴A²s
Tabella posa:	CEI-UNEL 35024/1	K ² S ² neutro:	4,601*10⁴A²s
Materiale conduttore:	RAME	K ² S ² PE:	4,601*10⁴A²s
Lunghezza linea:	1 m	Caduta di tensione parziale a Ib:	0,001 %
Corrente ammissibile Iz:	13,7 A	Caduta di tensione totale a Ib:	0,371 %
Corrente ammissibile neutro:	13,7 A	Temperatura ambiente:	25 °C
Coefficiente di prossimità:	0,6 (Numero circuiti: 5)	Temperatura cavo a Ib:	25 °C
Coefficiente di temperatura:	1,04	Temperatura cavo a In:	37,4 °C
Coefficiente di declassamento	0,624	Coordinamento Ib<=In<=Iz:	0,111<=6<=13,7 A

Condizioni di guasto (CEI EN 60909-0)

Ikm max a monte:	1,61 kA	Ip1fn:	1,02 kA (Lim.)
Ikv max a valle:	1,37 kA	Ik1fnmin:	0,714 kA
Imagmax (magnetica massima):	714 A	Zk1fnmin:	169 mohm
Ik1fnmax:	1,37 kA	Zk1fnmx:	307,4 mohm

Protezione

Tipo protezione:	MT+D		
Corrente nominale protez.:	6 A	Sg. magnetico < I mag. massima:	60 < 714 A
Numero poli:	1N	Taratura differenziale:	0,03 A
Curva di sgancio:	C	Potere di interruzione PdI:	6 kA
Classe d'impiego:	A	Verifica potere di interruzione:	6 >= 1,61 kA
Taratura termica:	6 A	Norma:	Icu - EN 60947
Taratura magnetica:	60 A		