



Guida al dimensionamento delle reti elettriche MT/BT

Rocco Massimiliano Mondo

Revisione 0 del Dicembre 2025

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	1
2	RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI	2
•	APPENDICE A - NORMATIVE.....	2
3	IL PROCESSO DI CALCOLO.....	3
•	APPENDICE B - DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL PROCESSO DI CALCOLO	3
3.1	Definizione dei parametri del sistema elettrico a cui ci si riferisce	3
3.2	DEFINIZIONE DEL CARICO	8
•	APPENDICE D - DEFINIZIONE DEI CARICHI	9
3.3	RIFASAMENTO DEL CARICO	10
•	APPENDICE C - RIFASAMENTO.....	10
3.4	CALCOLO DELLA I_b (CORRENTE DI IMPIEGO)	11
3.5	Calcolo della I_z (portata nominale delle linee elettriche)	12
3.6	Calcolo della I_z nelle linee in cavo	12
3.7	Calcolo della portata di corrente nei conduttori di sbarre	25
3.8	Verifica della caduta di tensione	32
3.9	Scelta di una sezione maggiore	35
3.10	Scelta del condotto di protezione cavi	36
3.11	Scelta dispositivo di protezione	38
3.12	Coordinamento delle protezioni	39
3.13	Protezione contro i contatti indiretti	46
3.14	Protezione da sovraccarico – Ricalcolo	46
3.15	Protezione da c.to-c.to – Ricalcolo	46
3.16	Linea massima protetta	47
4	IL RIFASAMENTO.....	48
•	APPENDICE C - RIFASAMENTO.....	48
4.1	Definizione dei carichi e modalità di rifasamento	49
4.2	Rifasamento distribuito	49
4.3	Rifasamento centralizzato	49
4.4	Rifasamento misto	51
4.5	Correnti di impiego	53
4.6	Scelta del sistema di protezione	53

4.7 Modifica regolazione magnetica 55

5 ALIMENTAZIONE DA CABINA M.T..... 55

6 CARATTERISTICHE DEI TRASFORMATORI 57

7 APPENDICE B - *DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL PROCESSO DI CALCOLO* 66

8 APPENDICE C - *IL RIFASAMENTO* 67

9 APPENDICE D - *FORMULARIO*..... 68

1 INTRODUZIONE

Sebbene esistano in circolazione delle ottime guide tecniche al dimensionamento delle reti elettriche sia in B.T che in M.T., ho deciso di svilupparne una del tutto nuova che oltre a tenere conto dell'usuale processo di sviluppo del calcolo implementi un modo nuovo di esporre i contenuti, avvalendosi di un metodo più visuale e sfruttando la potenza di strumenti come i "second brain" che ci aiutano nella capacità di memorizzazione delle informazioni e nell'inferenza verso questa tematica.

La guida si prefigge lo scopo non solo di sviluppare i vari punti inerenti il calcolo per il dimensionamento elettrico delle reti, ma ancora di evidenziare i legami con le varie normative italiane ed europee in vigore al 2025. Altro scopo a cui la guida tenderà è quello di proporsi come strumento per il riferimento ad altre fonti di informazioni utili.

In sintesi cercherò di sviluppare uno strumento che non sia solo teorico ma anche pratico.

Un altro scopo importante per cui vale la pena investire del tempo è quello di utilizzare tutte le tecnologie a nostra disposizione dal supporto della IA, a quello del "second brain" senza dimenticare i vari supporti informatici per lo sviluppo del calcolo stesso.

In un documento extra, verrà trattato un argomento importante per chi, come me studia e valuta l'impatto delle tecnologie odierne sulle attività di lavoro ed in generale sullo sviluppo evolutivo dell'individuo.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI

Un qualsiasi approccio alla progettazione di un qualsivoglia impianto industriale o civile che sia, necessita di essere sviluppato all'interno di regole ben precise che permettono di avere dei riferimenti comuni tra progettisti e tecnici in generale, queste regole vengono dettate da specifiche norme legislative e soprattutto da norme tecniche nazionali (CEI), europee (IEC) ed internazionali (IEC).

In questa guida faremo riferimento alle norme relative agli impianti elettrici e a tutto ciò che riguarda il calcolo per il dimensionamento elettrico nel territorio italiano.

Oltre a stilare un elenco di norme di riferimento, useremo un strumento software appartenente alla categoria dei "second brain" che ci aiuterà ad interpretare meglio l'interazione tra la norma e la sua applicazione.

Sotto viene riportato un elenco essenziale ma non esaustivo delle principali norme che intervengono nel calcolo del dimensionamento delle reti di impianto elettrico e dei componenti necessari all'interno della rete (interruttori, sezionatori etc.).

Per una maggiore comprensione del ruolo delle norme, all'interno del processo di calcolo, queste verranno raggruppate con una logica più operativa che di semplice lista ordinata.

Le norme relativamente al calcolo per il dimensionamento elettrico delle linee elettriche in M.T. e B.T. sono state riportate per maggiore comodità nell'appendice "A".

- **APPENDICE A - NORMATIVE**

Nell'appendice le norme sono state suddivise, con una logica di appartenenza, in diverse parti:

- Norme relative al calcolo delle correnti di c.to-c.to.
- Norme relative agli impianti elettrici utilizzatori di B.T. (relativamente al calcolo della sezione dei cavi).
- Apparecchiature elettriche: Quadri BT
- Apparecchiature elettriche: Interruttori BT
- Apparecchiature elettriche: Trasformatori MT/BT
- Apparecchiature elettriche: Fusibili MT/BT
- Apparecchiature elettriche: Scaricatori
- Cavi elettrici MT/BT

3 IL PROCESSO DI CALCOLO

Questa guida tecnica ha come obiettivo principale quello di aiutare tecnici e progettisti a comprendere il reale flusso di lavoro che si deve seguire per poter sviluppare i calcoli per un dimensionamento ottimale delle reti elettriche M.T. e B.T.

In conformità a quanto sopra detto, la guida offre al progettista non solo un aiuto guidato al dimensionamento, ma tutta una serie di tabelle e riferimenti bibliografici che lo aiuteranno nelle varie fasi di scelta e quindi in quelle decisionali.

Il fulcro di questo processo è il diagramma di flusso che si trova nell'allegato B:

- **APPENDICE B** - *DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL PROCESSO DI CALCOLO*

Il diagramma è suddiviso in 15 fasi ognuna delle quali verrà opportunamente trattata e approfondita. Di seguito le fasi del processo:

3.1 Definizione dei parametri del sistema elettrico a cui ci si riferisce

Il primo passo in assoluto è quello di individuare i parametri elettrici fondamentali che caratterizzano il sistema elettrico su cui stiamo lavorando, ed in particolare:

- Scelta dell'alimentazione (M.T. o B.T.);

Se scegliamo di alimentare il nostro circuito in B.T. i parametri da definire saranno i seguenti:

- Scegliere tra corrente alternata e continua
- Scegliere la tensione se trifase (di default 380 V) o monofase (di default 220 V).
- Valore della frequenza (di default 50 Hz)
- Valore del $\cos \phi$ (di default 0,9)
- Scegliere il sistema di distribuzione tra TT, TN-S, TN-C, TN-C-S, IT.

Se è vero che la maggior parte dei parametri sopra riportati sono concettualmente noti, è meno vero che i progettisti alle prime armi conoscano in modo approfondito i sistemi di distribuzione B.T.

Quindi prima di proseguire, il nostro viaggio alla scoperta dei successivi passi di questo processo di dimensionamento delle reti elettriche, penso sia necessario e utile fare una breve digressione sui sistemi di distribuzione che regolano le reti B.T.

3.1.1 I sistemi di distribuzione in B.T.

In relazione al collegamento a terra del sistema elettrico e delle masse degli utilizzatori, il sistema medesimo può essere classificato mediante due lettere di cui la prima indica lo stato del neutro e la seconda la situazione delle masse.

La prima lettera (sistema elettrico) può essere:

- **T**: collegamento diretto del neutro a terra
- **I**: isolamento da terra del neutro (o a terra tramite impedenza di valore elevato)

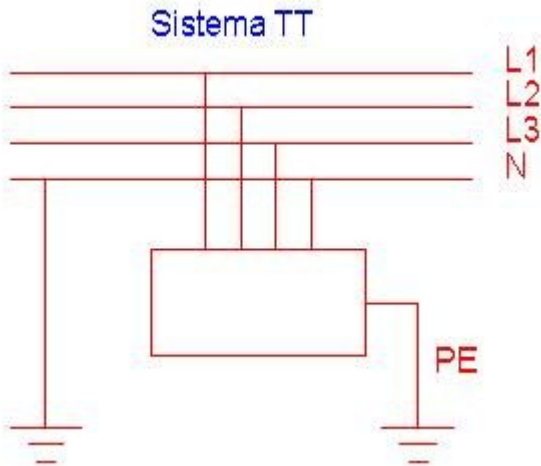
La seconda lettera (utilizzatore) può essere:

- **T**: collegamento delle masse a terra tramite impianto di terra indipendente
- **N**: collegamento delle masse allo stesso impianto di terra del sistema

A tale proposito vengono individuati tre tipi di sistemi elettrici: **TT - TN - IT**

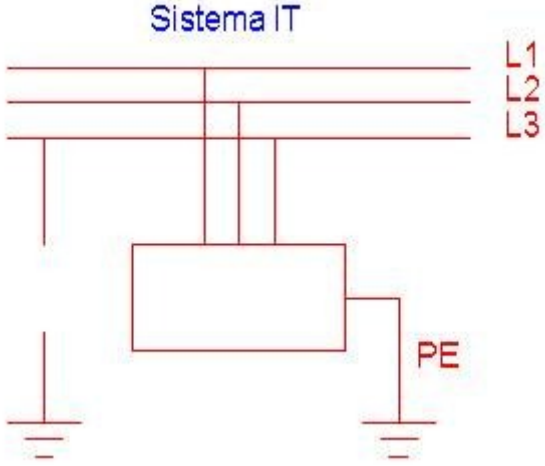
SISTEMA TT

[Tab.1]

Sistema TT 	Il centro stella degli avvolgimenti secondari del trasformatore della cabina del distributore dell'energia elettrica è collegato direttamente a terra tramite un dispersore. Le masse dell'impianto elettrico utilizzatore sono collegate a terra mediante un dispersore indipendente dal dispersore della cabina del distributore. Il sistema TT è utilizzato nella distribuzione pubblica in quanto l'ente fornitore non distribuisce il conduttore di protezione PE e gli utenti devono provvedere autonomamente alla realizzazione del dispersore per le loro masse.
--	---

SISTEMA IT

[Tab.2]

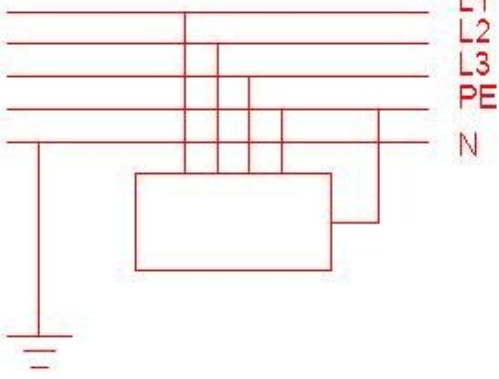
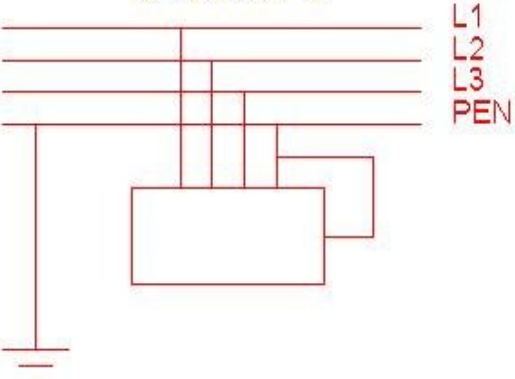
	Il neutro del sistema del distributore è isolato da terra. Le masse dell'impianto elettrico utilizzatore sono connesse a terra mediante un dispersore indipendente, separatamente o collettivamente. Il sistema è adatto nei casi in cui deve essere garantita la continuità di servizio quindi impianti elettrici privati con cabina propria di distribuzione.
---	--

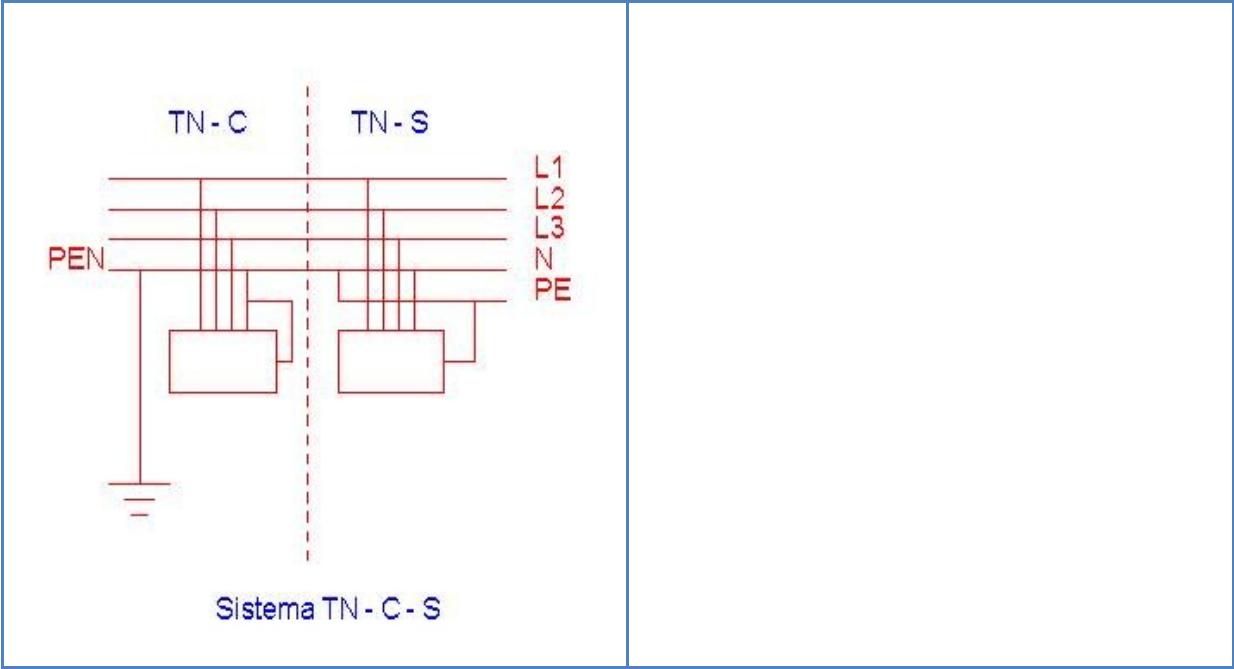
SISTEMA TN

Come si può notare, il sistema **TN** ha la possibilità di essere realizzato in tre versioni: **TN-S**, **TN-C** e **TN-S-C**. Le varianti aggiungono alla sigla originale una lettera: S che sta per PE separato dal N, C sta per PE comune con il N.

Il sistema più usato è il **TN-S**, ma esistono casi di **TN-C** e casi in cui le due varianti sono combinate, come il **TN-S-C**. In questo tipo di sistema, le masse dell'impianto elettrico utilizzatore sono connesse, tramite **PE**, allo stesso impianto di terra del lato distributore. Esso è adottato in ambito industriale cioè in quegli impianti privati provvisti di cabina propria di trasformazione.

[Tab.3]

	
---	--



Conoscere il sistema di distribuzione del neutro e della protezione ci permetterà di iniziare a strutturare e dimensionare la rete elettrica. Infatti stabilito il sistema di distribuzione possiamo determinare quante fasi dobbiamo proteggere e quali. Sotto viene riportato uno schema che semplifica la scelta.

Lo schema riportato sotto riguarda gli interruttori automatici ma vale anche per i fusibili se si scelgono questi come mezzo di protezione.

[Tab.4]

Sistemi	Circuiti				
	Fase + neutro F N	2 Fasi F F	Trifase con neutro		Trifase F F F
			$S_N = S_F$ F F F N	$S_N < S_F$ F F F N	
TN-C conduttore PEN		—			—
TN-S PE e N separati					
TT					
IT					

Note 1
Il dispositivo di protezione non è richiesto ma non è vietato installarlo.

Note 2
Si può omettere la protezione di una fase se a monte viene installato un interruttore differenziale.

Note 3
Si può omettere la protezione del neutro quando il circuito è protetto da un interruttore differenziale che interrompe tutti i conduttori del circuito.

Note 4
Se il conduttore di neutro non è protetto contro il c.to-c.to dal dispositivo di protezione dei conduttori di fase e la sua sezione non è adeguata alla massima corrente che può attraversarlo, occorre inserire sul conduttore PEN, un rivelatore di sovracorrente che provochi l'interruzione delle fasi ma non quella del conduttore PEN.

Nei circuiti **3F+N**, e per i sistemi IT, nei circuiti **F+N**, l'apertura del neutro non deve mai avvenire prima di quella del conduttore di fase, mentre la chiusura deve avvenire prima o contemporaneamente a quella delle fasi.

3.1.2 La corrente di c.to-c.to

Tra i valori di cui necessitiamo per lo sviluppo del processo di dimensionamento quello della corrente di c.to-c.to a monte della linea è tra quelli indispensabile, dobbiamo conoscere questo valore iniziale.

I casi in cui si ci può trovare possono essere molteplici, ma quelli più frequenti sono i seguenti:

- Siamo in cabina utente dove sono presenti il quadro di Media Tensione, il trasformatore MT/BT ed eventualmente un quadro BT con interruttore generale di macchina.

In questo caso il calcolo della I_{cc} è particolarmente facile, perché essa corrisponde a quella disponibile ai morsetti del secondario del trasformatore MT/BT.

Questi valori spesso sono resi disponibili dagli stessi costruttori in formato tabellare, quando alcuni parametri come tensione e corrente di cortocircuito a vuoto e frequenza, rimangono fissi e invariabili. Altrimenti si può calcolare con la seguente formula:

$$I_{ks} = \frac{I_s}{V_{cc\%}} * 100 \quad [\text{kA}] \quad (F01)$$

Dove:

I_{ks} : Corrente di corto circuito al secondario del trafo;

I_s : Corrente nominale al secondario del trafo;

$V_{cc\%}$: Tensione di corto circuito percentuale a 75°C (tabella del costruttore del trafo);

- Se il quadro è alimentato da una fornitura diretta BT, deve essere il distributore di energia a comunicare il valore della I_{cc} della rete. In genere in assenza di dati, i valori più comuni sono: 10 KA per la fornitura trifase e 6 KA per quella monofase.
- Nel caso in cui per motivi particolari si alimenti direttamente in MT, la I_{cc} al quadro MT è quella fornita dal distributore a cui si è fatta richiesta di allaccio, in questo caso il valore di riferimento normalmente è 16 [kA].

3.2 DEFINIZIONE DEL CARICO

In questa fase dobbiamo definire il carico effettivo per cui stiamo dimensionando la linea elettrica. Per fare questo è necessario definire alcuni parametri:

- Carico installato;
- Coefficiente di contemporaneità;
- Coefficiente di utilizzazione;
- Eventuale rifasamento del carico;

3.2.1 Carico installato

La definizione dei carichi installati è sicuramente la fase che più ci impegnerà dal punto di vista del calcolo e della realizzazione del progetto più in generale. Infatti se è vero che alcuni carichi sono definiti dalle esigenze del cliente e quindi sono conosciuti, un'altra buona parte di essi, dovranno essere ricavati attraverso la fase di progettazione vera e propria.

In altre parole alcuni carichi sono disponibili mentre altri devono essere dedotti a seconda della tipologia di progetto e altri ancora dovranno essere definiti tramite specifici calcoli.

Per chiarire questo punto possiamo pensare ad un capannone industriale dove sono installati motori elettrici, diverse postazioni di lavoro, corpi illuminanti, prese quadri etc.

Dovendo definire il carico complessivo da attribuire al capannone per poter dimensionare correttamente la linea elettrica e le relative apparecchiature di manovra e protezione, dobbiamo ricavare tutti i singoli assorbimenti in termini di corrente e quindi di potenza assorbita.

Per semplificare le cose, consideriamo che siano installati nel capannone una decina di motori di cui conosciamo il numero di cavalli e che siano presenti 10 postazioni di lavoro ed un corpo uffici.

Il procedimento di quantificazione della potenza totale richiesta dal capannone sarà data dalla somma delle potenze in campo, espresse per comodità e uniformità del calcolo, in [W] o [kW]:

- n° 10 motori;
- Assorbimento dei corpi illuminanti;
- n° 10 prese da 10 A + 10 prese da 16 A per le dieci postazioni;
- n° 10 prese da 10 A + 16 A per corpo uffici;
- Altre utenze come bagni, magazzini, etc.

L'elenco riportato sopra non è esaustivo è solo un esempio di principio, per spiegare che i carichi dipendono dalla tipologia di progetto e devono essere in buona parte calcolati dal progettista.

Quindi si devono esprimere le potenze dei motori in kW trasformandole dai relativi cavalli.

Si dovranno effettuare dei calcoli illuminotecnici per la definizione degli assorbimenti dei corpi illuminanti previsti per questa tipologia di ambiente, si devono calcolare gli assorbimenti delle prese da 10 A e da 16 A e sommarle e in generale si deve tener conto degli assorbimenti di tutti gli utilizzatori installati. Nell'appendice C vengono riportati alcuni esempi di calcolo illuminotecnico per ambienti interni che ci permettono di definire l'assorbimento dei corpi illuminanti oltre che alcuni procedimenti di calcolo per la determinazione di utenze particolari come i motori.

• **APPENDICE D** - *DEFINIZIONE DEI CARICHI*

3.2.2 Coefficienti di contemporaneità e/o utilizzazione

La determinazione delle varie potenze assorbite dagli utilizzatori ci permette di calcolare quella che sarà la corrente assorbita dagli stessi, essa rappresenta la **massima corrente calcolata assorbita dall'utilizzatore**. In realtà, questa corrente calcolata risulta essere non realistica, perché non tiene conto della reale applicazione dell'utenza. Infatti il calcolo considera l'utenza in modalità di funzionamento **continuativo** e al **massimo della sua potenza**.

Nella realtà applicativa la maggior parte delle utenze comuni funzionano in modo **discontinuo** e a metà o poco più della propria potenza. Per tener conto di questi aspetti pratici, la corrente calcolata deve essere moltiplicata per due fattori essenziali, il **fattore di utilizzazione** e il **fattore di contemporaneità** che permettono di determinare la corrente di impiego I_B .

Questa sarà la corrente che prenderemo in considerazione durante il processo di calcolo. Sotto vengono riportate due tabelle che ci aiuteranno nella determinazione dei fattori sopra citati.

[Tab.5] – Coefficiente di utilizzazione

Ambiente	Elevatori N°			Punti luce	Prese				CDZ centraliz	Cucina lavand. ecc.	Servizi di edificio
	1	2	3		2x10A	2X16A	FM >10A	FM install. fissa			
Abitazione	3	1	0,7	0,75	0,1	0,2	0,15	0,7	1	0,8	0,8
Uffici	3	1	0,7	0,8	0,1	0,1	0,05	0,5	1	0,7	0,6
Laboratori	3	1	0,7	0,8	0,1	0,1	0,7	0,7	1	0,7	0,6
Negozi	3	1	0,7	0,9	0,3	0,1	0,05	0,5	1	0,7	0,6
Grandi Magazini	3	1	0,7	0,9	0,1	0,1	0,05	0,3	1	0,7	0,6
Banche	3	1	0,7	0,8	0,1	0,1	0,05	0,3	1	0,7	0,6
Sedi Dirigenziali	3	1	0,7	0,8	0,1	0,1	0,05	0,3	1	0,7	0,6
Compl. Scolastico	3	1	0,7	0,9	0,1	0,1	0,05	0,2	1	0,7	0,6
Compl. Alberghiero	3	1	0,7	0,7	0,1	0,1	0,05	0,2	1	0,7	0,6
Compl. Ospedaliero	3	1	0,7	0,7	0,1	0,1	0,08	0,5	1	0,7	0,6

[Tab.6] – Coefficiente di contemporaneità

- Per singolo ambiente: Punti luce – Prese – F.M. = 1
- Per la determinazione delle montanti = 1
- Per la determinazione del carico complessivo = 0,6 – 0,65 – 0,7 – 0,75 – 0,8

3.3 RIFASAMENTO DEL CARICO

Alcuni carichi, per via della loro natura particolarmente induttiva, apportano nel sistema elettrico un certo squilibrio tra i fasori della corrente e quelli della tensione causando un aumento della potenza reattiva nel circuito elettrico. L'eccessivo aumento di potenza reattiva nel circuito ha delle conseguenze nell'intera rete di distribuzione, quando ciò accade è necessario riequilibrare questo scompenso introducendo un carico capacitivo tale da controbilanciare la parte reattiva. Questo processo si chiama generalmente rifasamento del carico e più in generale della linea elettrica.

Ho preferito realizzare il capitolo 4 che parla esclusivamente del processo di rifasamento.

Nell'appendice C viene riportato il diagramma di calcolo che determina un eventuale rifasamento del carico.

- **APPENDICE C** – RIFASAMENTO

3.4 CALCOLO DELLA I_B (CORRENTE DI IMPIEGO)

Individuate le potenze dei carichi e i vari coefficienti di utilizzazione e contemporaneità possiamo definire la potenza e quindi anche la corrente di ogni singolo circuito fino a quello principale.

Sotto viene riportato uno schema semplificato per l'identificazione delle potenze dei carichi in fase di sviluppo del progetto.

[Fig. 1] – Esempio di utilizzo dei coefficienti di contemporaneità e utilizzazione

Utilizzatore	Pn (KW)	Ku	Pn (KW)	Kc	Pn (KW) Quadro Reparto	Kc	Pn (KW) Quadro Reparto	Kc Q.BT	Pn (KW) Trafo				
Reparto A	Motori	80	0,8	64,0	257,4	1	265,5	0,8	BT/MT				
		75	0,8	60,0									
		75	0,8	60,0									
		75	0,8	60,0									
		62	0,8	49,6									
		62	0,8	49,6									
	Prese Varie	72	1	72,0	21,6	1	265,5	0,8	BT/MT				
	Illuminazione	16	1	16,0	16								
Reparto B	Compressori	300	0,85	255,0	255,0	1	258,3	0,8	679,0				
		0	0,85	0,0									
		0	0,85	0,0									
	Prese Varie	40	1	40,0	16	1	258,3	0,8	679,0				
Illuminazione	16	1	16,0	16									
Reparto C	Ventilatori	25	1,00	25,0	200,0	1	324,9	0,8	679,0				
		25	1	25,0									
	Forni	150	1	150,0	150					1	324,9	0,8	679,0
		150	1	150,0									
	Prese varie	68	1	68,0						1	324,9	0,8	679,0
	Illuminazione	11	1	11,0	11								

Avendo definito le potenze e i coefficienti K_U di utilizzazione e K_C di contemporaneità possiamo calcolare la corrente di impiego I_B .

Il calcolo della corrente può essere effettuato o per una **linea in cavo** o per delle **blindo sbarre**.

Di seguito vedremo il calcolo della I_B per i circuiti in cavo e più avanti tratteremo il calcolo per le blindo sbarre.

3.4.1 Calcolo della corrente I_B nelle linee in cavo

Per un circuito monofase la corrente di impiego vale:

$$I_B = \frac{P}{V * \cos \varphi} \quad [A] \quad (F02)$$

dove:

I_B : Corrente di impiego

P : Potenza [W]

V : Tensione di riferimento 220 [V]

$\cos \varphi$: 0,9 (valore di default)

Per un circuito trifase la corrente di impiego vale:

$$I_B = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \varphi} \quad [A] \quad (F03)$$

dove:

I_B : Corrente di impiego

P : Potenza [W]

V : Tensione di riferimento 380 [V]

$\cos \varphi$: 0,9 (valore di default)

$\sqrt{3}$: 1,73

3.5 Calcolo della I_Z (portata nominale delle linee elettriche)

Adesso proseguiremo il calcolo definendo la portata nominale I_Z di un cavo, mentre più avanti faremo lo stesso calcolo per definire la portata I_Z di una blindo sbarra.

3.6 Calcolo della I_Z nelle linee in cavo

La norma, e il buon senso, ci dicono che se la corrente di impiego richiesta dall'utilizzatore vale I_Z allora il cavo di collegamento tra sorgente e utilizzatore deve sicuramente essere in grado di portare almeno tale corrente. Infatti la Norma CE64-8 prevede che venga soddisfatta la seguente disequazione per garantire che il cavo porti sicuramente la corrente di impiego I_Z .

Disequazione da soddisfare: $I_B \leq I_Z$; (F04)

Sfruttando la [F04] possiamo stabilire il valore minimo che la corrente del cavo deve portare.

3.6.1 Scelta del conduttore e calcolo della sezione

Per poter determinare la sezione del conduttore che porterà la nostra corrente di impiego, dobbiamo prima definire quali sono le caratteristiche del cavo che vogliamo utilizzare, quindi:

- Definire la lunghezza della linea in metri
- Definire il tipo di cavo, la posa ed il metodo di installazione secondo le tabelle riportate di seguito:
- Scegliere la sezione

La definizione della lunghezza, espressa in metri, è una informazione di progetto che spesso viene rilevata dai disegni topografici, quindi è un dato di facile reperimento.

La definizione della posa e la tipologia di installazione vengono riportati nelle seguenti tabelle:

[Tab. 6] Tipi di cavi ammessi e tipo di posa ammissibile (Norma CEI 64-8)

Esempio	Riferimento	Descrizione	Esempio	Riferimento	Descrizione
	1	Cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati entro muri termicamente isolanti		17	Cavi unipolari con guaina (o multipolari) sospesi a od incorporati in fili o corda di supporto
	2	Cavi multipolari in tubi protettivi circolari posati entro muri termicamente isolanti		18	Conduttori nudi o cavi senza guaina su isolatori
	3	Cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati su o distanziati da pareti		21	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) in cavità di strutture
	3A	Cavi multipolari in tubi protettivi circolari posati su o distanziati da pareti		22	Cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari posati in cavità di strutture
	4	Cavi senza guaina in tubi protettivi non circolari posati su pareti		22A	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) in tubi protettivi circolari posati in cavità di strutture
	4A	Cavi multipolari in tubi protettivi non circolari posati su pareti		23	Cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari posati in cavità di strutture
	5	Cavi senza guaina in tubi protettivi annegati nella muratura		24	Cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari annegati nella muratura
	5A	Cavi multipolari in tubi protettivi annegati nella muratura		24A	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), in tubi protettivi non circolari annegati nella muratura
	11	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, posati su o distanziati da pareti		25	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) posati in - controsolfitti - pavimenti sopraelevati
	11A	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) con o senza armatura, fissati su soffitti		31	Cavi senza guaina e cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali posati su parete con percorso orizzontale
	12	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle non perforate		32	Cavi senza guaina e cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali posati su parete con percorso verticale
	13	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle perforate con percorso orizzontale o verticale		33	Cavi senza guaina posati in canali incassati nel pavimento
	14	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su mensole		33A	Cavi multipolari posati in canali incassati nel pavimento
	15	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, fissati da collari		34	Cavi senza guaina in canali sospesi
	16	Cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle a traversini		34A	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali sospesi
				41	Cavi senza guaina e cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) in tubi protettivi circolari posati entro cunicoli chiusi, con percorso orizzontale o verticale

Esempio	Riferimento	Descrizione	Esempio	Riferimento	Descrizione
	42	Cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati entro cunicoli ventilati incassati nel pavimento		63	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) interrati con protezione meccanica aggiuntiva
	43	Cavi unipolari con guaina e multipolari posati in cunicoli aperti o ventilati con percorso orizzontale e verticale		71	Cavi senza guaina posati in elementi scanalati
	51	Cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati direttamente entro pareti termicamente isolanti		72	Cavi senza guaina (o cavi unipolari con guaina o cavi multipolari) posati in canali provvisti di elementi di separazione: - circuiti per cavi per comunicazione e per elaborazione dati
	52	Cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati direttamente nella muratura senza protezione meccanica aggiuntiva		73	Cavi senza guaina in tubi protettivi o cavi unipolari con guaina (o multipolari) posati in stipiti di porte
	53	Cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati nella muratura con protezione meccanica aggiuntiva		74	Cavi senza guaina in tubi protettivi o cavi unipolari con guaina (o multipolari) posati in stipiti di finestre
	61	Cavi unipolari con guaina e multipolari in tubi protettivi interrati od in cunicoli interrati		75	Cavi senza guaina, cavi multipolari o cavi unipolari con guaina in canale incassato
	62	Cavi multipolari (o unipolari con guaina) interrati senza protezione meccanica aggiuntiva		81	Cavi multipolari immersi in acqua

[Tab.7] Tabella di corrispondenza tra il tipo di posa, di cavi unipolari, secondo la Norma CEI 64-8 ed i metodi di installazione previsti dalla Norma CEI-UNEL 35024/1.

Tipo di posa (Norma CEI 64-8 Tabella 52C)	CAVI UNIPOLARI	
	Descrizione (Norma CEI 64-8/5 Tabella 52C)	Metodo di installazione (UNEL 35024/1)
1	Senza guaina in tubi circolari entro muri isolanti	1U
3	Senza guaina in tubi circolari su o distanziati da pareti	2U
4	Senza guaina in tubi non circolari su pareti	2U
5	Senza guaina in tubi annegati nella muratura	2U
11	Con o senza armatura su o distanziati da pareti	4U
11A	Con o senza armatura fissati su soffitti	
11B	Con o senza armatura distanziati da soffitti	
12	Con o senza armatura su passerelle non perforate	4U
13	Con o senza armatura su passerelle perforate	5U
14	Con o senza armatura su mensole distanti dalle pare	5U
14	Con guaina a contatto tra loro su mensola	5U, 6U, 7U
15	Con o senza armatura fissati da collari	5U, 6U, 7U
16	Con o senza armatura su passarelle con traversini	5U, 6U, 7U
17	Con guaina sospesi a od incorporati in fili o corde	5U
18	Conduttori nudi o cavi senza guaina su isolatori	3U
21	Con guaina in cavità di strutture	4U
22	Senza guaina in tubi in cavità di strutture	2U
22A	Con guaina in tubi in cavità di strutture	
23	Senza guaina in tubi non circolari in cavità di strutture	2U
24	Senza guaina in tubi non circolari annegati nella muratura	2U
24A	Con guaina in tubi non circolari annegati nella muratura	
25	Con guaina in controsoffitti o pavimenti sopraelevati	4U
31	Con guaina in canali orizzontali su pareti	2U
32	Con guaina in canali verticali su pareti	2U
33	Senza guaina in canali incassati nel pavimento	2U
34	Senza guaina in canali sospesi	2U
34A	Con guaina in canali sospesi	
41	Senza guaina in tubi in cunicoli chiusi orizzontali o verticali	2U
42	Senza guaina in tubi in cunicoli ventilati in pavimento	2U
43	Con guaina in cunicoli aperti o ventilati	4U
51	Con guaina entro pareti termicamente isolanti	1U
52	Con guaina in muratura senza protezione meccanica	4U
53	Con guaina in muratura con protezione meccanica	4U
61	Con guaina in tubi o cunicoli interrati	
62	Con guaina interrati senza protezione meccanica	
63	Con guaina interrati con protezione meccanica	
71	Senza guaina in elementi scanalati	1U

72	Senza guaina in canali provvisti di separatori	2U
73	Senza/con guaina posati in stipiti di porte	1U
74	Senza/con guaina posati in stipiti di finestre	1U

[Tab.8] Tabella di corrispondenza tra il tipo di posa, di cavi multipolari, secondo la Norma CEI 64-8 ed i metodi di installazione previsti dalla Norma CEI-UNEL 35024/1

Tipo di posa (Norma CEI 64-8 Tabella 52C)	CAVI MULTIPOLARI	
	Descrizione (Norma CEI 64-8/5 Tabella 52C)	Metodo di installazione (UNEL 35024/1)
2	In tubi circolari entro muri isolanti	1M
3A	In tubi circolari su o distanziati da pareti	2M
4A	In tubi non circolari su pareti	2M
5A	In tubi annegati nella muratura	2M
11	Con o senza armatura su o distanziati da pareti	4M
11A	Con o senza armatura fissati su soffitti	4M
11B	Con o senza armatura distanziati da soffitti	
12	Con o senza armatura su passerelle non perforate	4M
13	Con o senza armatura su passerelle perforate	3M
14	Con o senza armatura su mensole distanti da pareti	3M
15	Con o senza armatura fissati da collari	3M
16	Con o senza armatura su passerelle con traversini	3M
17	Con guaina sospesi a od incorporati in fili o corde	3M
21	In cavità di strutture	2M
22A	In tubi in cavità di strutture	2M
24A	In tubi non circolari in cavità di strutture	
25	In controsoffitti o pavimenti sopraelevati	2M
31	In canali orizzontali su pareti	2M
32	In canali verticali su pareti	2M
33A	In canali incassati nel pavimento	2M
34A	In canali sospesi	2M
43	In cunicoli aperti o ventilati	2M
51	Entro pareti termicamente isolanti	1M
52	In muratura senza protezione meccanica	4M
53	In muratura con protezione meccanica	4M
61	In tubi o cunicoli interrati	
62	In terrati senza protezione meccanica	
63	Interrati con protezione meccanica	
73	Posati in stipiti di porte	1M
74	Posati in stipiti di finestre	1M
81	Immersi in acqua	

Scelto il tipo di posa e la tipologia di cavo (PVC o EPR) è possibile stabilire la sezione del cavo in funzione della portata necessaria per sostenere la corrente di impiego, in questo modo avremo stabilito il valore di corrente In di cui abbiamo necessità.

[Tab.9] - Portate dei cavi unipolari alla temperatura di 30°C (Norma CEI-UNEL35024/1)

Metodo di installazione	Isolante	Condutt. attivi	Sezione nominale in mmq.																			
			1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630
1U	PVC	2		14,5	19,5	26	34	46	61	80	99	119	151	182	210	240	273	320				
		3		13,5	18	24	31	42	56	73	89	108	136	164	188	216	245	286				
	EPR	2		19	26	35	45	61	81	106	131	158	200	241	278	318	362	424				
		3		17	23	31	40	54	73	95	117	141	179	216	249	285	324	380				
2U	PVC	2	13,5	17,5	24	32	41	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415				
		3	12	15,5	21	28	36	50	68	89	110	134	171	207	239	275	314	369				
	EPR	2	17	23	31	42	54	75	100	133	164	198	253	306	354	402	472	555				
		3	15	20	28	37	48	66	88	117	144	175	222	269	312	355	417	490				
3U	PVC	2		19,5	26	35	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461				
		3		15,5	21	28	36	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415				
	EPR	2		24	33	45	58	80	107	142	175	212	270	327								
		3		20	28	37	48	71	96	127	157	190	242	293								
4U	PVC	2																				
		3		19,5	26	35	46	63	85	110	137	167	216	264	308	356	409	485	561	656	749	855
	EPR	2																				
		3		24	33	45	58	80	107	135	169	207	268	328	383	444	510	607	703	823	946	1088
5U	PVC	2		22	30	40	52	71	96	131	162	196	251	304	352	406	463	546	629	754	868	1005
		3		19,5	26	35	46	63	85	114	143	174	225	275	321	372	427	507	587	689	789	905
	EPR	2		27	37	50	64	88	119	161	200	242	310	377	437	504	575	679	783	940	1083	1254
		3		24	33	45	58	80	107	141	176	216	279	342	400	464	533	634	736	868	998	1151
6U	PVC	2								146	181	219	281	341	396	456	521	615	709	852	982	1138
		3								146	181	219	281	341	396	456	521	615	709	852	982	1138
	EPR	2								182	226	275	353	430	500	577	661	781	902	1085	1253	1454
		3								182	226	275	353	430	500	577	661	781	902	1085	1253	1454
7U	PVC	2								130	162	197	254	311	362	419	480	569	659	795	920	1070
		3								130	162	197	254	311	362	419	480	569	659	795	920	1070

[Tab.10] - Portate dei cavi multipolari alla temperatura di 30°C (Norma CEI-UNEL35024/1)

Metodo di installazione	Isolante	Condutt. attivi	Sezione nominale in mm²																			
			1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630
1M	PVC	2		14	18,5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	192	219	248	291	334			
		3		13	17,5	23	29	39	52	68	83	99	125	150	172	196	223	261	298			
	EPR	2		18,5	25	33	42	57	76	99	121	145	183	220	253	290	329	386	442			
		3		16,5	22	30	38	51	68	89	109	130	164	197	227	259	295	346	396			
2M	PVC	2	13,	16,5	23	30	38	52	69	90	111	133	168	201	232	258	294	344	394			
		3	12	15	20	27	34	46	62	80	99	118	149	179	206	225	255	297	339			
	EPR	2	17	22	30	40	51	69	91	119	146	175	221	265	305	334	384	459	532			
		3	15	19,5	26	35	44	60	80	105	128	154	194	233	268	300	340	398	455			
3M	PVC	2	15	22	30	40	51	70	94	119	148	180	232	282	328	379	434	514	593			
		3	13,	18,5	25	34	43	60	80	101	126	153	196	238	276	319	364	430	497			
	EPR	2	19	26	36	49	63	86	115	149	185	225	289	352	410	473	542	641	741			
		3	17	23	32	42	54	75	100	127	158	190	246	298	346	399	456	538	621			
4M	PVC	2	15	19,5	27	36	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	530			
		3	13,	17,5	24	32	41	57	76	96	119	144	184	223	259	299	341	403	464			
	EPR	2	19	24	33	45	58	80	107	138	171	209	269	328	382	441	506	599	693			
		3	17	22	30	40	52	71	96	119	147	179	229	278	322	371	424	500	576			

3.6.2 Dipendenza della portata dei cavi dalla temperatura

Nel paragrafo precedente abbiamo visto come individuare, tramite le tabelle di unificazione, il tipo di cavo e di posa di cui necessitiamo per poter effettuare l'installazione nel nostro impianto. Abbiamo visto anche, sempre attraverso le tabelle, come scegliere la sezione del cavo in funzione della portata del cavo. È importante sottolineare che la sezione individuata tramite le tabelle esposte precedentemente ha come requisito base, la temperatura di 30 gradi. Per temperature diverse da 30°C la portata del cavo riportata in tabella deve essere modificata attraverso la seguente formula:

$$I_{zt} = I_{z30} * K_1 \quad [A] \quad (F05)$$

dove:

I_{zt} : portata del cavo alla temperatura considerata

I_{z30} : portata del cavo alla temperatura di 30°C (vedi tab.2-3)

K_1 : coefficiente moltiplicativo secondo tabella

Coefficiente correttivo K_1 per posa in aria libera (Tabella CEI UNEL 35024/1)

[Tab.11] – K_1 (posa in aria libera)

Temperatura	Tipo di cavo	
	PVC	EPR
	Coefficiente K_1	
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1	1
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,5	0,71
65		0,65
70		0,58
75		0,5
80		0,41

3.6.3 Dipendenza della portata dei cavi dal numero di strati o fasci

La variazione di temperatura non è l'unico coefficiente correttivo da considerare, ma ne esistono altri che ci permettono di tener conto delle reali condizioni di installazione dei cavi.

Uno di questi correttori è quello relativo al numero di strati o fasci di cavi che prevediamo di installare. Il fattore K_2 diminuisce la portata di un cavo posato nelle vicinanze di altri cavi, per effetto del mutuo riscaldamento. Per strato si intende un gruppo di cavi affiancati, disposti in orizzontale o in verticale. Per fascio si intende un raggruppamento di cavi non distanziati e non posti in strato (più strati sovrapposti su un supporto quale una passerella, sono considerati un fascio).

Quindi il valore effettivo della portata del cavo sarà:

$$I_z = I_{30} * K_1 * K_2 \quad [A] \quad (F06)$$

[Tab.12] – K_2 (circuiti realizzati con cavi installati in fascio o strato)

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

[Tab.13] – K_2 (circuiti realizzati con cavi multipolari installati in strato su più supporti (es. passerella))

N° di posa CEI 64-8	Metodo di installazione		Numero di cavi per ogni supporto						
			Numero di passerelle	1	2	3	4	6	9
13	Passerelle perforate orizzontali	Posa ravvicinata	2	1	0,87	0,8	0,77	0,73	0,68
			3	1	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
		Posa distanziata	2	1	0,99	0,96	0,92	0,87	
			3	1	0,98	0,95	0,91	0,85	
13	Passerelle perforate verticali	Posa ravvicinata	2	1	0,88	0,81	0,76	0,71	0,7
		Posa distanziata	2	1	0,91	0,88	0,87	0,85	

14-15-16-17	Scala posa cavi o elemento di sostegno	Posa ravvicinata	2	1	0,86	0,8	0,78	0,76	0,73
			3	1	0,85	0,79	0,76	0,73	0,7
		Posa distanziata	2	1	0,99	0,98	0,97	0,96	
			3	1	0,98	0,97	0,96	0,93	

[Tab.14] – K₂ (circuiti realizzati con cavi unipolari installati in strato su più supporti (es. passarella))

N° di posa CEI 64-8	Metodo di installazione	Numero di passerelle	Numero di circuiti trifasi			Utilizzato per
			1	2	3	
13	Passerelle perforate orizzontali	2	0,96	0,87	0,81	3 cavi in formazione orizzontale
		3	0,95	0,85	0,78	
13	Passerelle perforate verticali	2	0,95	0,84		3 cavi in formazione verticale
14-15-16-17	Scala posa cavi o elemento di sostegno	2	0,98	0,93	0,89	3 cavi in formazione orizzontale
		3	0,97	0,9	0,86	
13	Passerelle perforate orizzontali	2	0,97	0,93	0,89	3 cavi in formazione a trefolo
		3	0,96	0,92	0,86	
13	Passerelle perforate verticali	2	1	0,9	0,86	
14-15-16-17	Scala posa cavi o elemento di sostegno	2	0,97	0,95	0,93	
		3	0,96	0,94	0,9	

Posa interrata (K₃)

[Tab.15] – K₃ (sezione e portata teorica del conduttore di fase in posa interrata a 20°C)

Cavi multipolari ed unipolari																		
Metodo di installazione	Isolante	Conduttori attivi	Sezione nominale (mm ²)															
			1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
Interrata	PVC	2	32	42	54	67	90	116	146	178	211	261	308	324	397	445	514	581
		3	26	34	44	56	74	96	123	147	174	216	256	288	328	367	424	480
	EPR	2	37	48	63	80	104	136	173	208	247	304	360	377	463	518	598	677
		3	31	41	53	66	87	113	144	174	206	254	301	335	387	434	501	568

Coefficienti correttivi per posa interrata

Il valore della portata effettiva di un cavo sarà:

$$I_{zeff} = I_z * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6 \quad [A] \quad (F07)$$

dove:

- K₃** : coefficiente riduttivo in funzione della temperatura del terreno quando differente da 20°C
K₄ : coefficiente riduttivo di gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano
K₅ : coefficiente riduttivo in funzione della profondità di posa
K₆ : coefficiente riduttivo in funzione della natura del suolo in caso di conduttori direttamente a contatto con il terreno.

Influenza della temperatura del terreno

[Tab.16] – K₃ (valori di temperatura del terreno diversi da 20 gradi)

Temperatura del terreno (°C)	Tipo di isolamento	
	PVC	EPR
10	1,1	1,07
15	1,05	1,04
20	1	1
25	0,95	0,95
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,8
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65		0,6
70		0,53
75		0,46
80		0,38

Gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano

[Tab.17] – K_4 (valori di temperatura del terreno diversi da 20 gradi)

Un cavo multipolare per ciascun tubo					Un cavo unipolare per ciascun tubo				
N° circuiti	Distanza tra i circuiti (m)				N° cavi	Distanza tra i circuiti (m)			
	A contatto	0,25	0,5	1		A contatto	0,25	0,5	1
2	0,85	0,9	0,95	0,95	2	0,8	0,9	0,9	0,95
3	0,75	0,85	0,9	0,95	3	0,7	0,8	0,85	0,9
4	0,7	0,8	0,85	0,9	4	0,65	0,75	0,8	0,9
5	0,65	0,8	0,85	0,9	5	0,6	0,7	0,8	0,9
6	0,6	0,8	0,8	0,9	6	0,6	0,7	0,8	0,9

Influenza della profondità di posa

[Tab.18] – K_5

Profondità di posa (m)	0,5	0,8	1	1,2	1,5
Fattore di correzione K_5	1,02	1	0,98	0,96	0,94

Influenza della resistività termica del terreno

[Tab.19] – K_6

Cavi unipolari					
Resistività del terreno ($k \cdot m/W$)	1	1,2	1,5	2	2,5
Fattore di correzione K_6	1,08	1,05	1	0,9	0,82
Cavi multipolari					
Resistività del terreno ($k \cdot m/W$)	1	1,2	1,5	2	2,5
Fattore di correzione K_6	1,06	1,04	1	0,91	0,84

Alcuni valori orientativi della resistività termica

[Tab.20] – K_7

Natura del suolo		1	Secco
Resistività termica ($K \cdot m/W$)	Terreno	1,2	Molto secco
0,4	Presenza di acqua	1,5	Molto secco
0,5	Molto umido	2	Molto secco
0,7	Umido	2,5	Molto secco
0,85	Normale	3	Molto secco

Limitazioni

La sezione minima dei cavi deve essere:

- 0,5 mm² Per circuiti di segnalazione e circuiti ausiliari di comando
- 0,75 mm² Conduttore mobile con cavi flessibili (con e senza guaina)
- 1,5 mm² Circuiti di potenza

Dimensionamento del conduttore di neutro

Il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase:

- Nei circuiti monofase, qualunque sia la sezione dei conduttori
- Nei circuiti trifase quando il conduttore di fase sia inferiore od uguale a 16 mm² se in rame e a 25 mm² se in alluminio.

Nei circuiti trifase, il conduttore di neutro può avere dimensioni inferiori a quello delle fasi di sezioni superiori a 16 mm² se in rame e a 25 mm² se in alluminio, quando con carichi equilibrati sulle fasi, la portata del conduttore di neutro sia superiore alla corrente che fluisce nel circuito o quando il dispositivo di protezione delle fasi, garantisce anche la protezione del neutro.

Dimensionamento del conduttore di protezione

La sezione del conduttore di protezione PE può essere determinata facendo riferimento alla seguente tabella:

[Tab.21]

Sezione del conduttore di fase (mm ²)	Sezione minima del conduttore di protezione (mm ²)
$S_f \leq 16$	$S_p = S_f$
$16 < S_f \leq 35$	16
$S_f > 35$	$S_p = S_f/2$

3.7 Calcolo della portata di corrente nei conduttori di sbarre

Nei paragrafi precedenti ci siamo concentrati sul calcolo della portata I_z nel caso in cui stiamo utilizzando come mezzo di trasmissione della corrente dei cavi. Nel presente paragrafo prendiamo in considerazione come mezzo di trasmissione dei conduttori le sbarre. A questo proposito dobbiamo fare una precisazione sulla corrente di impiego I_B che fluisce lungo le sbarre. Benché la formula per il calcolo della I_B rimanga fondamentalmente la stessa, dobbiamo introdurre un fattore b chiamato fattore di alimentazione:

$$I_B = \frac{P * b}{\sqrt{3} * V * \cos \varphi} \quad [A] \quad (F08)$$

dove:

I_B : Corrente di impiego

b : Fattore di alimentazione pari a 1 se si alimenta il condotto da un solo lato ed a 1/2 se si alimenta il condotto dal centro o contemporaneamente da entrambi gli estremi.

P : Somma delle potenze installate in [W]

V : Tensione di riferimento 380 [V]

Cos φ : 0,9 (valore di default)

√3 : 1,73

[Tab.22] – Portata dei conduttori di sbarre

h*s (mm)	Sezione (mmq)	IN RAME						IN ALLUMINIO					
		verniciate			nude			verniciate			nude		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
12 x 2	23,5	123	202	228	108	182	216	97	160	178	84	142	168
15 x 2	29,5	148	240	261	128	212	247	118	190	204	100	166	193
15 x 3	44,5	187	316	381	162	282	361	148	252	300	126	222	283
20 x 2	39,5	189	302	313	162	264	298	150	240	245	127	206	232
20 x 3	59,5	237	394	454	204	348	431	188	312	357	159	272	337
20 x 5	99,1	319	560	728	274	500	690	254	446	570	214	392	537
20 x 10	199	497	924	1320	427	825	1180	393	730	1060	331	643	942
25 x 3	74,5	287	470	525	245	412	498	228	372	412	190	322	390
25 x 5	124	381	662	839	327	586	795	305	526	656	255	460	619
30 x 3	89,5	337	541	593	285	476	564	267	432	465	222	372	441
30 x 5	149	447	760	944	379	672	896	356	606	739	295	526	699
30 x 10	299	676	1200	1270	573	1060	1480	536	956	1340	445	832	1200
40 x 3	119	435	692	725	366	600	690	346	550	569	285	470	540
40 x 5	199	573	592	1140	482	836	1090	456	762	898	376	658	851
40 x 10	399	850	1470	2000	715	1290	1770	677	1180	1650	557	1030	1460
50 x 5	249	697	1140	1330	583	994	1260	556	916	1050	455	786	995
50 x 10	499	1020	1720	2320	852	1510	2040	815	1400	1940	667	1210	1710
60 x 5	299	826	1330	1510	688	1150	1440	655	1070	1190	533	910	1130
60 x 10	599	1180	1960	2610	985	1720	2300	951	1610	2200	774	1390	1940
80 x 5	399	1070	1680	1830	885	1450	1750	851	1360	1460	688	1150	1400
80 x 10	799	1500	2410	3170	1240	2110	2790	1220	2000	2660	983	1720	2830
100 x 5	499	1300	2010	2150	1080	1730	2050						
100 x 10	999	1810	2850	3720	1480	2480	3260						
120 x 10	1200	2110	3280	4270	1740	2860	3740						
160 x 10	1600	2700	4130	5360	2220	3590	4680						

3.7.1 Calcolo del sistema di sbarre

Metodo di calcolo

Carico distribuito uniformemente

Per linee monofasi:

$$\Delta V = \frac{a * 2 * I_b * L * (R \cos \theta * X \sin \theta)}{1000} \quad [V] \quad (F09)$$

Per linee trifasi:

$$\Delta V = \frac{a * \sqrt{3} * 2 * I_b * L * (R \cos \theta * X \sin \theta)}{1000} \quad [V] \quad (F10)$$

dove:

- ΔV** : caduta di tensione in [V]
 I_b : corrente di impiego in [A]
 L : lunghezza del condotto sbarre in [m]
 R : resistenza della linea al metro in [Ω/m] (vedi tabella della portata dei condotti sbarre)
 X : reattanza della linea al metro in [Ω/m] (vedi tabella della portata dei condotti sbarre)
 $\cos \theta$: fattore di potenza medio dei carichi
 a : fattore di distribuzione della corrente, funzione di come è alimentato il circuito delle disposizioni dei carichi elettrici lungo il condotto sbarre come riportato nella tabella di seguito illustrata (Tab.23).

[Tab.23] – Fattore di distribuzione della corrente “a”

Tipo di alimentazione	Disposizione dei carichi	Fattore di distribuzione della corrente “a”
Da un solo estremo	Carico concentrato alla fine	1
	Carico uniformemente distribuito	0,5
Da entrambi gli estremi	Carico uniformemente distribuito	0,25
Centrale	Carichi concentrati agli estremi	0,25
	Carico uniformemente distribuito	0,13

Le formule danno il valore della caduta di tensione in Volt, per ottenere la caduta di tensione percentuale occorre usare la seguente formula:

$$\Delta V_{\%} = \Delta V * \frac{100}{V} \quad (F11)$$

dove:

V : tensione nominale del sistema.

Carico non uniformemente distribuito per condotti sbarre di sezione costante e carichi trifase.

Posto : $A_1 = (I_1 * L_1 * \cos \theta_1)$; $A_2 = (I_2 * L_2 * \cos \theta_2)$; $A_3 = (I_3 * L_3 * \cos \theta_3)$;

Posto : $B_1 = (I_1 * L_1 * \sin \theta_1)$; $B_2 = (I_2 * L_2 * \sin \theta_2)$; $B_3 = (I_3 * L_3 * \sin \theta_3)$;

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * [R * (A_1 + A_2 + A_3) + X (B_1 + B_2 + B_3)]}{1000} \quad [V] \quad (F11)$$

dove:

ΔV : caduta di tensione in [V]

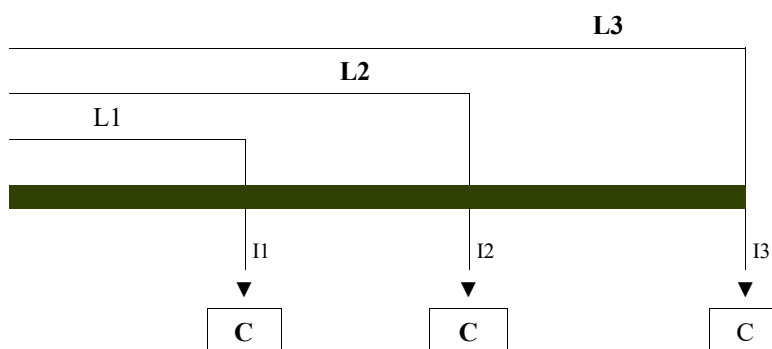
I : corrente di impiego in [A] del tratto 1...n

L : lunghezza del condotto sbarre in [mt] del tratto 1...n

R : resistenza della linea al metro in [Ω/m] (vedi tabella della portata dei condotti sbarre)

X : reattanza della linea al metro in [Ω/m] (vedi tabella della portata dei condotti sbarre)

cos θ : fattore di potenza medio del carico 1...n



generalizzando avremo:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * (R * \sum_{i=1}^n I_i * L_i * \cos \phi_i + X * \sum_{i=1}^n I_i * L_i * \sin \phi_i)}{1000} \quad [V] \quad (F12)$$

dove:

ΔV : caduta di tensione in [V]

I_i : corrente in Ampere del carico i-esimo

L_i : lunghezza del condotto sbarre in mt. del tratto i-esimo

R : resistenza della linea al metro in [Ω/m] (vedi tabella della portata dei condotti sbarre)

X : reattanza della linea al metro in [Ω/m] (vedi tabella della portata dei condotti sbarre)

$\cos \theta$: fattore di potenza medio dei carichi i-esimo

La formula dà il valore della caduta di tensione in Volt, per ottenere la caduta di tensione percentuale occorre usare la seguente formula:

$$\Delta V\% = \frac{2 * a * k * I_b * L * 1000}{V * 10^3} \quad (F13)$$

[Tab.24/1] – Portata –Resistenza e reattanza di condotti sbarre (CEI EN 61439)

I_n	N° Conduttori	Al=Alluminio o CU=Rame	Resistenza di fase alla I_n (m Ω/m)	Reattanza di fase alla I_n (m Ω/m)	Resistenza anello di guasto (m Ω)	Ue(Va.c)
25	2,4,6	Cu	6,96	1,14	11,61	400
40	2,4,6	Cu	3,56	0,79	5,93	400
25	2,4,6,8	Cu	6,88	1,4	11,46	400
40	2,4,6,8	Cu	3,52	1,58	5,86	400
40	4	Cu	2,17	0,29	3,62	400
63	4	Cu	1,65	0,64	2,75	400
63	4	Al	1,5	0,37	2,5	400
100	4	Al	1	0,25	1,67	400
160	4	Cu	0,57	0,25	0,96	400
160	4	Al	0,59	0,26	0,98	1000
250	4	Al	0,39	0,2	0,66	1000
315	4	Al	0,24	0,19	0,39	1000
400	4	Al	0,14	0,13	0,24	1000
500	4	Al	0,09	0,11	0,15	1000
630	4	Al	0,07	0,1	0,12	1000
800	4	Al	0,06	0,1	0,1	1000
250	4	Cu	0,28	0,21	0,47	1000
315	4	Cu	0,22	0,19	0,36	1000
400	4	Cu	0,11	0,13	0,19	1000
630	4	Cu	0,07	0,12	0,12	1000
800	4	Cu	0,05	0,12	0,08	1000
1000	4	Cu	0,04	0,12	0,06	1000

630	4	Al	0,083	0,023	0,125	1000
800	4	Al	0,064	0,017	0,117	1000

[Tab.24/2] – Portata –Resistenza e reattanza di condotti sbarre (CEI EN 61439)

In	N° Conduttor ri	Al=Allumini o CU=Rame	Resistenza di fase alla In (mΩ/m)	Reattanza di fase alla In (mΩ/m)	Resistenza anello di guasto (mΩ)	Ue(Va.c)
1000	4	Al	0,069	0,017	0,117	1000
1250	4	Al	0,057	0,016	0,095	1000
1600	4	Al	0,041	0,014	0,068	1000
2000	4	Al	0,032	0,011	0,053	1000
2500	4	Al	0,024	0,006	0,041	1000
3200	4	Al	0,020	0,007	0,033	1000
4000	4	Al	0,017	0,006	0,028	1000
800	4	Cu	0,044	0,023	0,066	1000
1000	4	Cu	0,037	0,017	0,065	1000
1250	4	Cu	0,039	0,017	0,065	1000
1600	4	Cu	0,028	0,016	0,045	1000
2000	4	Cu	0,024	0,014	0,040	1000
2500	4	Cu	0,018	0,011	0,029	1000
3200	4	Cu	0,014	0,006	0,024	1000
4000	4	Cu	0,012	0,007	0,019	1000

[Tab.25/1] – Portata –Resistenza e reattanza di condotti sbarre (CEI EN 61439)

In	N° Conduttor ri	Al=Allumini o CU=Rame	Resistenza di fase alla In (mΩ/m)	Reattanza di fase alla In (mΩ/m)	Resistenza anello di guasto (mΩ)	Ue(Va.c)
1000	4	Al	0,07	0,09	0,11	1000
1250-1600	4	Al	0,04	0,07	0,07	1000
2000	4	Al	0,03	0,05	0,06	1000
2250	4	Al	0,03	0,05	0,05	1000
2500	4	Al	0,02	0,03	0,04	1000
3200	4	Al	0,02	0,03	0,03	1000
4000	4	Al	0,02	0,02	0,03	1000
4500	4	Al	0,01	0,02	0,02	1000
1000	4	Cu	0,04	0,1	0,06	1000
1250	4	Cu	0,04	0,08	0,06	1000
1600	4	Cu	0,03	0,07	0,06	1000
2000	4	Cu	0,03	0,07	0,04	1000
2500	4	Cu	0,02	0,04	0,03	1000
3000	4	Cu	0,02	0,03	0,03	1000

[Tab.25/2] – Portata –Resistenza e reattanza di condotti sbarre (CEI EN 61439)

In	N° Condotto ri	Al=Allumini o CU=Rame	Resistenza di fase alla In (mΩ/m)	Reattanza di fase alla In (mΩ/m)	Resistenza anello di guasto (mΩ)	Ue(Va.c)
3200	4	Cu	0,01	0,03	0,02	1000
4000	4	Cu	0,01	0,03	0,02	1000
5000	4	Cu	0,01	0,02	0,01	1000
63	5	Cu	1,8	1,4	3,6	400
70	5	Cu	1,14	0,06	2,27	600
110	5	Cu	0,94	0,06	1,88	600
150	5	Cu	0,62	0,09	1,24	600
250	4	Cu	0,31	0,16	0,61	600

3.7.2 Calcolo della corrente d'impiego di sbarre e verniciate (per interno quadri).

Calcolo della corrente di impiego

$$I_b = \frac{P}{V * \cos \phi * \sqrt{3}} \quad [V] \quad (F14)$$

dove:

I_B : Corrente di impiego

P : Somma delle potenze installate in [W]

V : Tensione di riferimento 380 [Volt]

cos θ : Fattore di potenza medio dei carichi (di default 0,9)

√3 : 1,73

[Tab.26] – Portata delle sbarre nude e verniciate (CEI EN 61439)

h*s (mm)	Sezione (mmq)	IN RAME						IN ALLUMINIO					
		verniciate			nude			verniciate			nude		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
12 x 2	23,5	123	202	228	108	182	216	97	160	178	84	142	168
15 x 2	29,5	148	240	261	128	212	247	118	190	204	100	166	193
15 x 3	44,5	187	316	381	162	282	361	148	252	300	126	222	283
20 x 2	39,5	189	302	313	162	264	298	150	240	245	127	206	232
20 x 3	59,5	237	394	454	204	348	431	188	312	357	159	272	337
20 x 5	99,1	319	560	728	274	500	690	254	446	570	214	392	537
20 x 10	199	497	924	1320	427	825	1180	393	730	1060	331	643	942
25 x 3	74,5	287	470	525	245	412	498	228	372	412	190	322	390
25 x 5	124	381	662	839	327	586	795	305	526	656	255	460	619
30 x 3	89,5	337	541	593	285	476	564	267	432	465	222	372	441

30 x 5	149	447	760	944	379	672	896	356	606	739	295	526	699
30 x 10	299	676	1200	1270	573	1060	1480	536	956	1340	445	832	1200
40 x 3	119	435	692	725	366	600	690	346	550	569	285	470	540
40 x 5	199	573	592	1140	482	836	1090	456	762	898	376	658	851
40 x 10	399	850	1470	2000	715	1290	1770	677	1180	1650	557	1030	1460
50 x 5	249	697	1140	1330	583	994	1260	556	916	1050	455	786	995
50 x 10	499	1020	1720	2320	852	1510	2040	815	1400	1940	667	1210	1710
60 x 5	299	826	1330	1510	688	1150	1440	655	1070	1190	533	910	1130
60 x 10	599	1180	1960	2610	985	1720	2300	951	1610	2200	774	1390	1940
80 x 5	399	1070	1680	1830	885	1450	1750	851	1360	1460	688	1150	1400
80 x 10	799	1500	2410	3170	1240	2110	2790	1220	2000	2660	983	1720	2830
100 x 5	499	1300	2010	2150	1080	1730	2050						
100 x 10	999	1810	2850	3720	1480	2480	3260						
120x10	1200	2110	3280	4270	1740	2860	3740						
160 x10	1600	2700	4130	5360	2220	3590	4680						
200x10	2000	3280	4970	6430	2690	4310	5610						

3.8 Verifica della caduta di tensione

Scelta dei conduttori in funzione della caduta di tensione

Dalla scelta del conduttore fatta in virtù della posa e dei parametri di correzione sopra espressi, in base alla portata I_b si sceglie la sezione che dovrà essere verificata come segue:

Il valore della caduta di tensione al termine di una linea, può essere determinato con due diversi metodi:

Primo metodo di calcolo

Per linee monofasi: $\Delta V = 2 * I_b * L * (R * \sin \varnothing + X * \cos \varnothing)$ [V] (F15)

Per linee trifasi: $\Delta V = \sqrt{3} * I_b * L * (R * \sin \varnothing + X * \cos \varnothing)$ [V] (F16)

dove:

ΔV : caduta di tensione in [V]

I_b : corrente di impiego in [A]

L : lunghezza della linea in [m]

R : resistenza della linea al metro in [Ω /m] (vedi tabella)

X : reattanza della linea al metro in [Ω /m] (vedi tabella)

θ : angolo di sfasamento tra la corrente I_b e la tensione di fase

Nota: Nelle formule sopra espresse la reattanza X può essere omessa per cavi sino a 50 [mm²]

[Tab.27] – Resistenza e reattanza specifica dei cavi unificati (Tab. UNEL 35023-70)

Sezioni nominali in mmq	Cavi unipolari		Cavi multipolari	
	Resistenza al metro	Reattanza al metro	Resistenza al metro	Reattanza al metro
	R (mΩ) ad 80C°	XL (mΩ)	R (mΩ) ad 80C°	XL (mΩ)
1	22,10	0,176	22,5	0,125
1,5	14,80	0,168	15,1	0,118
2,5	8,91	0,155	9,08	0,109
4	5,57	0,143	5,68	0,101
6	3,71	0,135	3,78	0,0955
10	2,24	0,119	2,27	0,0861
16	1,41	0,112	1,43	0,0817
25	0,889	0,106	0,907	0,0813
35	0,641	0,101	0,654	0,0783
50	0,473	0,101	0,483	0,0779
70	0,328	0,0965	0,334	0,0751
95	0,236	0,0975	0,241	0,0762
120	0,188	0,0939	0,191	0,0740
150	0,153	0,0928	0,157	0,0745
185	0,123	0,0908	0,125	0,0742
240	0,094	0,0902	0,0966	0,0752
300	0,0761	0,0895	0,0780	0,0750
400	0,0607	0,0876	0,0625	0,0742
500	0,0496	0,0867	0,0512	0,0744
630	0,0402	0,0865	0,0417	0,0749

Le formule danno il valore della caduta di tensione in Volt, per ottenere la caduta di tensione percentuale occorre usare la seguente formula:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V * 100}{V} \quad (F17)$$

Secondo metodo di calcolo

$$\Delta V = \frac{u * I_B * L}{1000} \quad [V] \quad (F18)$$

dove:

- ΔV :** caduta di tensione in [V]
u : cadute di tensione unitarie (vedi tabelle)
I_B : corrente di impiego in [A]
L : lunghezza della linea in [m]

[Tab.28] – Caduta di tensione unitaria (u) per cavi unipolare

Sezione	Cavi unipolari						
	Corrente continua	Corrente alternata					
		monofase			trifase		
		Cosφ 1	Cosφ 0,9	Cosφ 0,8	Cosφ 1	Cosφ 0,9	Cosφ 0,8
mmq	mV/A*m	mV/A*m	mV/A*m	mV/A*	mV/A*	mV/A*m	mV/A*m
1	44,2	44,2	39,9	35,6	38,3	34,6	30,8
1,5	29,7	29,7	26,8	23,9	25,7	23,2	20,7
2,5	17,8	17,8	16,2	14,4	15,4	14	12,5
4	11,1	11,1	10,2	9,08	9,65	8,8	7,87
6	7,41	7,41	6,8	6,1	6,42	5,89	5,28
10	4,47	4,47	4,14	3,72	3,87	3,58	3,22
16	2,82	2,82	2,64	2,39	2,44	2,28	2,07
25	1,78	1,78	1,69	1,55	1,54	1,47	1,34
35	1,28	1,28	1,24	1,15	1,11	1,08	0,993
50	0,947	0,947	0,939	0,878	0,820	0,814	0,760
70	0,655	0,656	0,674	0,641	0,568	0,584	0,555
95	0,472	0,473	0,509	0,494	0,410	0,441	0,428
120	0,373	0,375	0,420	0,413	0,325	0,364	0,358
150	0,304	0,306	0,356	0,356	0,265	0,308	0,308
185	0,243	0,246	0,301	0,306	0,213	0,260	0,265
240	0,185	0,189	0,248	0,259	0,163	0,215	0,224
300	0,147	0,152	0,215	0,229	0,132	0,186	0,198
400	0,115	0,121	0,186	0,202	0,105	0,161	0,175
500	0,0192	0,0992	0,165	0,183	0,086	0,143	0,159
630	0,0707	0,0805	0,148	0,168	0,070	0,128	0,146

[Tab.29/1] – Caduta di tensione unitaria (u) per cavi bipolari e tripolari

Sezione	Cavi bipolari				Cavi tripolari		
	Corrente continua	Corrente alternata					
		monofase			trifase		
		Cosφ 1	Cosφ 0,9	Cosφ 0,8	Cosφ 1	Cosφ 0,9	Cosφ 0,8
mmq	mV/A*m	mV/A*m	mV/A*m	mV/A*	mV/A*m	mV/A*	mV/A*m
1	45	45	40,6	36,1	39	35,2	31,3
1,5	30,2	30,2	27,3	24,3	26,1	23,6	21
2,5	18,2	18,2	16,4	14,7	15,7	14,2	12,7
4	11,4	11,4	10,3	9,21	9,85	8,93	7,98

[Tab.29/2] – Caduta di tensione unitaria (u) per cavi bipolari e tripolari

Sezione	Cavi bipolari				Cavi tripolari		
	Corrente continua	Corrente alternata					
		monofase			trifase		
		Cosφ 1	Cosφ 0,9	Cosφ 0,8	Cosφ 1	Cosφ 0,9	Cosφ 0,8
6	7,56	7,56	6,89	6,16	6,54	3,96	5,34
10	4,55	4,55	4,16	3,73	3,94	3,6	3,24
16	2,87	2,87	2,65	2,39	2,48	2,29	2,07
25	1,81	1,81	1,7	1,55	1,57	1,48	1,34
35	1,31	1,31	1,25	1,14	1,13	1,08	0,988
50	0,966	0,967	0,937	0,866	0,838	0,812	0,750
70	0,667	0,669	0,667	0,624	0,579	0,577	0,541
95	0,482	0,484	0,500	0,476	0,419	0,433	0,412
120	0,381	0,383	0,408	0,394	0,332	0,354	0,342
150	0,311	0,314	0,347	0,341	0,272	0,301	0,295
185	0,247	0,251	0,290	0,289	0,217	0,251	0,250
240	0,188	0,193	0,239	0,245	0,167	0,207	0,212
300	0,150	0,156	0,206	0,215	0,135	0,178	0,186
400	0,117	0,125	0,177	0,189	0,108	0,153	0,164
500	0,0932	0,102	0,157	0,171	0,0887	0,136	0,148
630	0,0722	0,0834	0,140	0,157	0,0722	0,122	0,136

La formula dà il valore della caduta di tensione in Volt, per ottenere la caduta di tensione percentuale occorre usare la seguente formula:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V * 100}{V} \quad (F19)$$

3.9 Scelta di una sezione maggiore

La caduta di tensione percentuale ($\Delta V\%$) massima prevista dalle norme (CEI 64.8) negli edifici residenziali e similari è del 4%, mentre per gli impianti industriali non deve superare il 4% per illuminazione e per altri impieghi oscillare dal 4% al 6% massimo.

Se il valore calcolato della tensione percentuale supera quelli stabiliti dalla norma, si dovrà scegliere una sezione di cavo più grande, fin quando il valore della $V\%$ rientri in quelli richiesti dalla norma.

Quindi il calcolo deve essere reiterato fino al raggiungimento di una sezione che porti ad una adeguata caduta di tensione lungo la linea considerata.

Lo stesso concetto vale per le barre. La caduta di tensione percentuale ($\Delta V\%$) massima prevista dalle norme (CEI 64.8) negli edifici residenziali e similari è del 4%, mentre per gli impianti industriali non deve superare il 4% per illuminazione e per altri impieghi oscillare dal 4% al 6% massimo.

3.10 Scelta del condotto di protezione cavi

A seconda della scelta del tipo di installazione operata, analizziamo la dimensione del condotto di protezione (tubo e/o canale), necessaria per il contenimento dei cavi relativi ad un singolo circuito o al contenimento di più circuiti.

Viene analizzata la sola dimensione e lunghezza del condotto di protezione mentre non viene presa in considerazione la tipologia come ad esempio la scelta di un tubo in PVC serie leggera o pesante, se flessibile o rigido, se in acciaio o se si tratta di canale aperto chiuso ecc.

3.10.1 Scelta dei tubi in relazione a sezione e numero conduttori

Il dimensionamento dei tubi si effettua utilizzando un coefficiente di riempimento inferiore a 0,7 lasciando quindi uno spazio libero $\geq 30\%$

[Tab.30]

Conduttori		Sezione del conduttore (mmq)											
Tipo	Nr.	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120
Cavo unipolare senza guaina	1	14	14	14	16	16	16	20	20	25	25	32	32
	2	14	14	16	20	25	25	32	40	40	50	50	63
	3	14	16	16	25	25	32	32	40	50	50	63	
	4	16	16	20	25	32	32	40	50	50	63		
	5	16	20	20	25	32	40	40	50				
	6	20	20	25	25	32	40	50	50				
	7	20	20	25	32	40	40	50					
	8	25	25	25	32	40	50	50					
	9	25	25	25	32	40	50						
Cavo unipolare con guaina	1	16	16	16	20	20	20	25	25	32	32	40	40
	2	16	16	20	25	25	32	40	40	50	50	63	
	3	16	20	20	25	25	32	40	40	50	50		
	4	20	20	20	25	32	40	50	50	63	63		
	5	20	20	25	25	32	40	50	50	63			
	6	25	25	25	32	40	40	63	63				
	7	25	25	32	32	40	50	63					
	8	32	32	32	40	40	50						
	9	32	32	40	40	50	63						
	1	20	20	25	25	32	32	40	50				

Cavo multi polare	Bipol.	2	32	40	40	40	50							
		3	32	40	40	50								
	Tripol.	1	20	25	25	25	32	40	40	50				
		2	32	40	40	50								
		3	32	40	50	50								
	Quadr.	1	20	25	25	32	32	40	50	50				
		2	40	40	50	50								
		3	40	50	50	50								

Dimensionamento canali

Per i canali la sezione **S** necessaria può essere calcolata con la relazione:

$$S = \sum_{i=1}^n N_i * a_i \quad [mm^2] \quad (F20)$$

dove:

a : coefficiente di ingombro relativo a ciascun tipo di cavo posato nella canaletta desumibile dalla tabella sotto riportata

N : numero di cavi dello stesso tipo

Esempio:

La sezione della canaletta adatta a contenere:

6 cavi unipolari con guaina e sezione di 50 mm² (a₁ = 5,9)

3 cavi unipolari con guaina e sezione di 95 mm² (a₂ = 10,0)

2 cavi tripolari in PVC con sezione di 3* 25 mm² (a₃ = 15,1)

risulta:

$$S = \sum_{i=1}^n N_i * a_i = (6 * 5,9) + (3 * 10) + (2 * 15,1) = 95,6 \text{ cm}^2$$

Si dovrà quindi usare una canaletta avente sezione superiore a 95,6 cm²
(ad esempio il tipo 100x100 mm)

[Tab.31] – Scelta del parametro “a”

Sezione del conduttore (mmq)	Coefficiente di ingombro a (in cm ²) Canale/cavo		
	Conduttori senza guaina	Unipolari con guaina	Cavi tripolari o tetrapolari
1,5	0,3	1,2	3,5
2,5	0,4	1,4	4
4	0,5	1,6	4,8
6	0,8	1,8	5,8

10	1,2	2,1	7,4
16	1,6	2,8	10,9
25	2,4	3,7	15,1
35	3,2	4,4	18
50	4,2	5,9	23,2
70	5,8	7,5	29,2
95	7,2	10	38,3
120	8,8	10,4	41,2
150	11,1	12,3	51,5
185	13,5	14,6	62,1
240	17,4	18,6	81,8

3.11 Scelta dispositivo di protezione

Stabilito la sezione e la portata del cavo, siamo nelle condizioni di decidere le caratteristiche principali del dispositivo di protezione della linea, quindi è il momento di stabilire quale corrente nominale standardizzata dobbiamo prendere in considerazione.

In questo ci viene in aiuto la [Tab.29] che ci dà la possibilità di verificare quale interruttore può proteggere il cavo da una eventuale corrente di sovraccarico, possiamo scegliere il taglio della corrente nominale dell'interruttore o del fusibile che può proteggere la nostra linea in funzione della I_z del cavo.

Esempio, se dal calcolo risulta che dobbiamo adottare un cavo che porta 45 A, possiamo scegliere un interruttore con I_n di 50 A è una I_r di 40 A.

[Tab.32] – Scelta del dispositivo di protezione

Sistema di distribuzione	Dispositivo di protezione			
Portata I_z (A)	Fusibili I_n max	Interruttore Automatico (I_n =corrente nominale) (I_r =corrente regolata)		
		I_n	I_r	
12	6	10		
> 12 ≤ 15,5	10	10		
> 15,5 ≤ 19,5	10	16		
> 19,5 ≤ 24,5	16	20		
> 24,5 ≤ 31,5	20	32	25	
> 31,5 ≤ 40	25	40	32	
> 40 ≤ 50	35	50	40	
> 50 ≤ 63	40	63	50	
> 63 ≤ 70	50	80	63	
> 70 ≤ 80	63	80	70	

Sistema di distribuzione	Dispositivo di protezione			
Portata I_z (A)	Fusibili I_n max	Interruttore Automatico (I_n = corrente nominale) (I_r = corrente regolata)		
		I_n	I_r	
> 525 ≤ 550	500	630	525	
> 550 ≤ 575	500	630	550	
> 575 ≤ 600	500	630	575	
> 600 ≤ 625	575	630	600	
> 625 ≤ 650	500	800	625	
> 650 ≤ 675	630	800	650	
> 675 ≤ 700	630	800	675	
> 700 ≤ 725	630	800	700	
> 725 ≤ 750	630	800	725	
> 750 ≤ 775	630	800	750	

$> 80 \leq 90$	63	100	80	$> 775 \leq 800$	630	800	775
$> 90 \leq 100$	80	100	90	$> 800 \leq 825$	630	1000	800
$> 100 \leq 110$	80	125	100	$> 825 \leq 850$	800	1000	825
$> 110 \leq 125$	100	125	110	$> 850 \leq 875$	800	1000	850
$> 125 \leq 150$	110	160	125	$> 875 \leq 900$	800	1000	875
$> 150 \leq 160$	125	160	150	$> 900 \leq 925$	800	1000	900
$> 160 \leq 175$	150	200	160	$> 925 \leq 950$	800	1000	925
$> 175 \leq 185$	160	200	175	$> 950 \leq 975$	800	1000	950
$> 185 \leq 200$	160	200	185	$> 975 \leq 1000$	800	1000	975
$> 200 \leq 220$	160	250	200	$> 1000 \leq 1050$	800	1250	1000
$> 220 \leq 250$	200	250	220	$> 1050 \leq 1100$	1000	1250	1050
$> 250 \leq 275$	200	320	250	$> 1100 \leq 1150$	1000	1250	1100
$> 275 \leq 300$	250	320	275	$> 1150 \leq 1200$	1000	1250	1150
$> 300 \leq 325$	250	320	300	$> 1200 \leq 1250$	1000	1250	1200
$> 325 \leq 350$	315	400	325	$> 1250 \leq 1300$	1000	1600	1250
$> 350 \leq 375$	315	400	350	$> 1300 \leq 1400$	1250	1600	1300
$> 375 \leq 400$	355	400	375	$> 1400 \leq 1500$		1600	1400
$> 400 \leq 425$	375	500	400	$> 1500 \leq 1800$		1600	1500
$> 425 \leq 450$	400	500	425	$> 1800 \leq 2000$		2000	1800
$> 450 \leq 475$	400	500	450	$> 2000 \leq 2500$		2500	2000
$> 475 \leq 500$	400	500	475	$> 2500 \leq 3200$		3200	2500
$> 500 \leq 525$	400	630	500	$> 3200 \leq 4000$		4000	3200

dove:

I_n : corrente nominale del dispositivo

I_r : corrente regolata per interruttori con valore regolabile della corrente d'intervento

3.12 Coordinamento delle protezioni

Il processo di calcolo sul dimensionamento della rete elettrica che abbiamo seguito fin qui ci ha permesso di determinare alcune caratteristiche della rete: tipologia di cavo la sua sezione S_n nonché la relativa portata I_z a regime permanente. Abbiamo anche stabilito la corrente nominale I_n degli organi di protezione (interruttore e/o fusibile) destinato a proteggere il circuito.

Tutto questo lavoro è stato svolto in funzione delle correnti nominali del cavo, dell'interruttore e dell'assorbimento del carico. Quindi abbiamo verificato che:

$$I_b < I_n < I_z \quad (F21)$$

Dove:

- I_b : Corrente assorbita dal carico;
- I_z : Portata di corrente del cavo a regime permanente;
- I_n : Corrente nominale a regime permanente dell'interruttore o del fusibile.

La disequazione [F21] ci dice che per fare in modo che tutto funzioni in sicurezza (a regime permanente) la portata di corrente del cavo I_z deve essere maggiore di quella nominale I_n dell'organo di protezione che a sua volta sarà maggiore di quella richiesta dal carico I_b .

Quindi la disequazione [F.21] è una condizione necessaria, per il corretto funzionamento della rete a regime permanente ed in assenza di sovracorrenti, ma non sufficiente a garantire la sicurezza del circuito e delle persone nel caso in cui lo stesso, per un qualsiasi motivo, venga interessato da sovracorrenti.

Quindi per garantire un corretto dimensionamento della rete elettrica dobbiamo tener conto delle sovracorrenti che possono manifestarsi al verificarsi di due eventi principali:

- Sovraccarico del circuito
- Corto circuito della rete

La norma CEI 64-8 dà precise prescrizioni per garantire una adeguata protezione sia dalle sovracorrenti che dal cortocircuito. Di seguito vedremo come.

3.12.1 Protezioni dal sovraccarico delle linee B.T. in cavo.

La norma prescrive che per poter proteggere il circuito elettrico dal sovraccarico è necessario verificare che:

- $I_b \leq I_n \leq I_z$ (F21)
- $I_F \leq 1,45 \cdot I_z$ (F22)

dove:

- I_b : Corrente di impiego
- I_n : Corrente nominale dell'interruttore
- I_z : Portata a regime permanente del cavo
- I_F : Corrente di sicuro intervento dell'interruttore automatico

Note: La prima regola soddisfa le condizioni generali di protezione dal sovraccarico. Negli interruttori automatici magnetotermici I_F è sempre inferiore od al massimo uguale ad $1,45 I_n$, pertanto la seconda condizione è automaticamente soddisfatta. Quando il dispositivo di protezione è costituito da fusibili è sufficiente verificare che:

$$I_B \leq I_N \leq 0,9 I_z \quad (F23)$$

3.12.2 Protezioni di un condotto sbarre

Per quanto concerne le reti in condotto sbarre, deve essere soddisfatta la seguente disequazione:

$$I_B \leq I_N \leq I_z \quad \text{dove } I_z = I_{z0} - K_T \quad (F24)$$

dove:

- I_B : Corrente di impiego
- I_N : Corrente nominale dell'interruttore
- I_z : Portata a regime permanente del condotto sbarre
- I_{z0} : Corrente che il condotto sbarre può portare per un tempo indefinito alla temperatura di riferimento di 40°C
- K_T : Coefficiente di correzione per valori della temperatura ambiente diversi a quelli di riferimento (40 °C) riportati nella tabella seguente.

[Tab.33] – Coefficiente di correzione

Temperatura ambiente °C	15	20	25	30	35	40	45	50
K_t	1,15	1,12	1,08	1,05	1,025	1	0,975	0,95

3.12.3 Protezioni di sbarre nude e verniciate

Deve essere soddisfatta la seguente disequazione:

$$I_B \leq I_N \leq I_z \quad \text{dove } I_z = I_{z0} - K_T \quad (F25)$$

dove:

- I_B : Corrente di impiego
- I_n : Corrente nominale dell'interruttore
- I_z : Portata a regime permanente del condotto sbarre
- I_{z0} : Corrente che il condotto sbarre può portare per un tempo indefinito alla temperatura di riferimento di 40°C
- K_T : Coefficiente di correzione per valori della temperatura ambiente diversi a quelli di riferimento riportati nella tabella seguente

[Tab.34] – Coefficiente di correzione

Temperatura ambiente °C	15	20	25	30	35	40	45	50
Kt	1,15	1,12	1,08	1,05	1,025	1	0,975	0,95

3.12.4 Protezione delle linee BT dal cortocircuito

La protezione contro i cortocircuiti si ottiene verificando che siano rispettate le seguenti condizioni:

$$P_{di} \geq I_{cc} \quad \text{e} \quad I^2 t \leq K^2 S^2 \quad (F26)$$

dove:

P_{di} : Potere d'interruzione del dispositivo di protezione

I_{cc} : Massima corrente di cortocircuito presunta

I² t : Energia specifica lasciata passare dall'organo di comando nel tempo di interruzione espressa in [A² s]

K² S² : Energia ammissibile del cavo

La massima corrente di cortocircuito (I_{cc}) nelle forniture di energia in BT deve essere richiesta al fornitore di energia.

In assenza di dati, vengono assegnati di default i valori di 10 KA per la fornitura trifase e 6 KA per quella monofase.

Scelto il dispositivo di protezione secondo la regola che **P_{di} ≥ I_{cc}**, si può verificare la seconda regola.

Per c.to-c.to di durata superiore ad alcuni periodi, il valore di **I² t** si può ottenere assumendo per **I** il valore efficace della corrente di c.to-c.to e per **t** la durata, in secondi, del c.to-c.to stesso. Un metodo semplice per verificare se il cavo è protetto o meno, consiste nel confrontare se il valore dell'energia specifica passante **I² t** lasciata passare dall'organo di protezione, è inferiore ai valori di **K² S²** riportati nella seguente tabella:

[Tab.35]

Sezio ne mmq	Tipologia cavo					
	PVC		G2		EPR - XLPE	
	Cu (k=115)	Al (K=74)	Cu (k=135)	Al (K=87)	Cu (k=143)	Al (K=87)
1,5	29,7		41	17	46	17
2,5	82,6		113	47,3	128	47,3
4	211,6		291	121	328	121
6	476,1		656	372	737	275

**Valori massimi
ammissibili in
10³ A² s dell'integrale
di Joule**

10	1322	541	1822	756	2045	756
16	3385	1390	4665	1930	5235	1930
25	8265	3380	11390	4730	12781	4730
35	16200	6640	22325	9270	25050	9270
50	33062	13500	45562	18900	41126	18900
70	64802	26800	89302		100200	
95	119335	49400	164480		184553	
120	190440	78850	262440		294466	
150	297562		410062		460102	
185	452625		625750		699867	
240	761760		1049760		1177863	

dove:

K = costante che dipende dal tipo di isolante

s = sezione del cavo

3.12.5 Protezione condotti sbarre dal cortocircuito

La protezione contro i cortocircuiti si ottiene verificando che siano rispettate le seguenti condizioni:

Protezione contro gli effetti termici:

$$I^2 t \text{ (interruttore)} \leq I^2 t \text{ (condotto sbarre)} \quad (F27)$$

dove:

$I^2 t$: energia specifica passante relativa alla I_{cc} massima.

I valori dell'energia specifica sopportabile dal condotto sbarre, si possono consultare le tabelle fornite dal costruttore (vedi tabella).

Protezione contro gli effetti elettrodinamici:

$$I_{kp} \text{ (interruttore)} \leq I_{kp} \text{ (condotto sbarre)} \quad (F28)$$

dove:

I_{kp} : valore di picco della corrente in funzione della I_{cc} massima

Per i valori di picco sopportabile dal condotto sbarre, si possono consultare le tabelle fornite dal costruttore (vedi tabella).

Osservazioni:

- Per interruttori automatici con intervento dello sganciatore magnetico sino a 10 volte la corrente nominale è normalmente sufficiente la sola verifica riferita alla corrente massima di cortocircuito.
- Se l'ubicazione del dispositivo di protezione contro i sovraccarichi, rispetta quanto previsto dalle Norme CEI 64-8 ed indicato precedentemente al paragrafo 3.3.9 e se il suo potere di

interruzione è maggiore od al limite uguale alla corrente di cortocircuito presunta, esso assicura anche la protezione contro i cortocircuiti.

[Tab.35/1] – Energia specifica passante e corrente di picco di condotti sbarre [CEI EN 61439]

In	N° Conduttori	Al=Alluminio CU=Rame	I ² t di fase [(kA) ² *s]	I ² t di neutro [(kA) ² *s]	I ² t di terra [(kA) ² *s]	Corrente di picco di fase (kA)	Corrente di picco di neutro (kA)
25	2,4,6	Cu	0,48	0,48	0,48	10	10
40	2,4,6	Cu	0,73	0,73	0,73	10	10
25	2,4,6,8	Cu	0,64	0,64	0,64	10	10
40	2,4,6,8	Cu	1	1	1	10	10
40	4	Cu	7,29	7,29	7,29	10	10
63	4	Cu	7,29	7,29	7,29	10	10
63	4	Al	5,29	5,29	5,29	10	10
100	4	Al	20,25	20,25	20,25	10	10
160	4	Cu	30,25	30,25	30,25	10	10
160	4	Al	112,5	67,5	67,5	30	18
250	4	Al	312,5	187,5	187,5	52,5	31,5
315	4	Al	625	375	375	52,5	31,5
400	4	Al	900	540	540	63	37,8
500	4	Al	900	540	540	63	37,8
630	4	Al	1296	777,6	777,5	75,6	45,4
800	4	Al	1296	777,6	777,5	75,6	45,4
250	4	Cu	312,5	187,5	187,5	52,5	31,5
315	4	Cu	312,5	187,5	187,5	52,5	31,5
400	4	Cu	900	540	540	63	37,8
630	4	Cu	1296	777,6	777,5	75,6	45,4
800	4	Cu	1296	777,6	777,5	75,6	45,4
1000	4	Cu	1296	777,6	777,5	75,6	45,4
630	4	Al	1296	1296	778	76	47
800	4	Al	1764	1764	1058	88	55
1000	4	Al	2500	2500	1500	110	66
1250	4	Al	5625	5625	3375	165	99
1600	4	Al	6400	6400	3840	176	106
2000	4	Al	6400	6400	3840	176	106
2500	4	Al	22500	22500	13500	330	198
3200	4	Al	25600	25600	15360	352	211
4000	4	Al	25600	25600	15360	352	211
800	4	Cu	2025	2025	1215	95	56
1000	4	Cu	2500	2500	1500	110	66
1250	4	Cu	3600	3600	2160	132	80
1600	4	Cu	7225	7225	4335	187	112

2000	4	Cu	7744	7744	4646	194	116
2500	4	Cu	7744	7744	4646	194	116
3200	4	Cu	28900	28900	17340	374	224
4000	4	Cu	30976	30976	18586	387	232
5000	4	Cu	30976	30976	18586	387	232

[Tab.35/2] – Energia specifica passante e corrente di picco di condotti sbarre [CEI EN 61439]

In	N° Conduttori	Al=Alluminio CU=Rame	I ² t di fase [(KA) ² *s]	I ² t di neutro [(KA) ² *s]	I ² t di terra [(KA) ² *s]	Corrente di picco di fase (kA)	Corrente di picco di neutro (kA)
1000	4	Al	1600	1600	960	84	50,4
1250 1600	4	Al	2500	2500	1500	105	63
2000	4	Al	3600	3600	2160	132	79,2
2250	4	Al	4900	4900	2940	154	92,4
2500	4	Al	8100	8100	4860	198	118,8
3200	4	Al	8100	8100	4860	198	118,8
4000	4	Al	8100	8100	4860	198	118,8
4500	4	Al	10000	10000	6000	220	132
1000	4	Cu	1600	1600	960	84	50,4
1250	4	Cu	2500	2500	1500	105	63
1600	4	Cu	2500	2500	1500	105	63
2000	4	Cu	3600	3600	2160	132	79,2
2500	4	Cu	4900	4900	2940	154	92,4
3000	4	Cu	8100	8100	4860	198	118,8
3200	4	Cu	8100	8100	4860	198	118,8
4000	4	Cu	8100	8100	4860	198	118,8
5000	4	Cu	10000	10000	6000	220	132
63	5	Cu	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
70	5	Cu	81	81	81	15,3	15,3
110	5	Cu	81	81	81	15,3	15,3
150	5	Cu	81	81	81	15,3	15,3
250	4	Cu	121	121	121	18,7	18,7

3.13 Protezione contro i contatti indiretti

Per la verifica della protezione contro i contatti indiretti è necessario verificare che il valore della corrente di guasto I_g per guasto verso terra assuma un valore desumibile dalle seguenti relazioni e tale da far intervenire sicuramente il dispositivo di protezione entro 5 secondi.

Si deve verificare che:

$$I_g > I_{f5} \quad (F29)$$

dove:

I_g : corrente di guasto

I_{f5} : corrente di intervento della protezione entro 5 secondi
(rilevabile dalle caratteristiche fornite dal costruttore)

[Tab.36]

Sistema TN	Sistema TT	Sistema IT 2° guasto a massa)
$I_g \leq U_o / Z_g$	$I_g \leq 50 / R_t$	$I_g \leq U_o / Z_g$
U_o = tensione nominale del sistema verso terra Z_g = Impedenza dei conduttori percorsi dalla corrente I_g per un guasto ipotizzato nel punto più lontano dal dispositivo di protezione R_t = resistenza dell'impianto di terra		

3.14 Protezione da sovraccarico – Ricalcolo

Se le relazioni indicate nel paragrafo 3.3.9.1 per la protezione da sovraccarico, non dovessero essere rispettate, si deve intervenire scegliendo un nuovo dispositivo di protezione con una diversa regolazione termica, riverificando le citate relazioni, continuando così sino al raggiungimento dei corretti valori di protezione.

3.15 Protezione da c.to-c.to – Ricalcolo

Se le relazioni indicate nel paragrafo 3.3.9.2 per la protezione da c.to-c.to, non dovessero essere rispettate, è necessario adottare un interruttore di tipo limitatore od aumentare la sezione del cavo oppure scegliere un cavo con un più elevato grado di resistenza alla temperatura, rifacendo comunque, i relativi calcoli.

3.16 Linea massima protetta

Osservazioni

Nei sistemi TT, l'impiego di fatto obbligatorio, di un dispositivo differenziale, rende inutile il calcolo della lunghezza massima protetta.

Nei sistemi TN, per linee con lunghezze rilevanti, si tende ad impiegare un interruttore differenziale a protezione e quindi vale la prima considerazione.

Quando, come avviene, nella quasi generalità dei casi, si effettua contemporaneamente la protezione contro il sovraccarico ed il cortocircuito, il calcolo della lunghezza limite risulta inutile.

Nel caso in cui sia necessario verificare la massima lunghezza di linea protetta per guasto a terra si dovrà verificare che:

$$I_{ccmin} \text{ a fondo linea} > I_{int} \quad (F30)$$

dove:

I_{ccmin} : corrente di corto circuito minima tra fase e protezione calcolata a fondo linea considerando la sommatoria delle impedenze di protezione a monte del tratto in esame.

I_{int} : corrente di cortocircuito necessaria per provocare l'intervento della protezione entro 5 secondi o nei tempi previsti dalle tabelle CEI 64-8/4 -41A,41B e 48A (valore rilevato dalla curva $I^2 t$ della protezione) o, infine, il valore di intervento differenziale.

RICALCOLO

Se la relazione indicata, non dovessero essere rispettata, è necessario aumentare la regolazione magnetica del dispositivo di protezione e comando.

4 Il Rifasamento

I sistemi di rifasamento, sono molteplici e per una scelta ottimale è necessario tenere conto del tipo di distribuzione ossia la natura e la potenza dei carichi. I sistemi di rifasamento possono essere di tipo:

- distribuito
- centralizzato
- misto
- per trasformatore

Nel **sistema di rifasamento distribuito** i condensatori sono installati in corrispondenza di ogni utilizzatore che necessita di potenza reattiva.

Nel **sistema di rifasamento centralizzato** la batteria di condensatori, viene allacciata a monte di tutti i carichi, nel quadro di distribuzione o nelle immediate vicinanze.

Nel **sistema di rifasamento misto** le utenze di maggior potenza e continuità operativa, sono compensate direttamente o a gruppi mentre tutte le altre di carico ridotto o a funzionamento discontinuo, sono compensate per gruppi o con rifasamento automatico

Nel **rifasamento dei trasformatori** essendo un carico induttivo, il condensatore di rifasamento va posto a monte dell'interruttore generale BT (adeguatamente protetto e sezionato)

Così come per il procedimento di calcolo della sezione, anche il calcolo del rifasamento segue un suo processo ben definito che viene schematizzato attraverso il diagramma di flusso che si trova nell'allegato C:

- **APPENDICE C** - RIFASAMENTO

Il diagramma è suddiviso in 8 fasi ognuna delle quali verrà opportunamente trattata e approfondita. Di seguito le fasi del processo:

4.1 Definizione dei carichi e modalità di rifasamento

4.2 Rifasamento distribuito

Il calcolo per il rifasamento distribuito utilizza la seguente formula:

$$Q_c = P * (\tan \varphi_i - \tan \varphi_f) \quad [\text{kVAR}] \quad (\text{F31})$$

dove:

Q_c = potenza reattiva del condensatore o batteria di rifasamento

P = potenza attiva assorbita dall'impianto da rifasare

$\tan \varphi_i$ = tangente dello sfasamento di partenza da recuperare

$\tan \varphi_f$ = tangente dello sfasamento a cui si vuole arrivare

4.3 Rifasamento centralizzato

Il calcolo per il rifasamento centralizzato utilizza la seguente formula:

$$Q_c = P * K \quad [\text{kVAR}] \quad (\text{F32})$$

dove:

Q_c = potenza reattiva della batteria di rifasamento

P = potenza attiva assorbita dall'impianto da rifasare

K = coefficiente moltiplicatore (indica la potenza del condensatore in [kVAR] per ogni [kW] del carico) – vedi tabella

[Tab.37] – Coefficiente moltiplicativo (K)

Cos.φ Iniziale	Cos.φ da ottenere												
	0,8	0,85	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
0,4	1,557	1,669	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
0,41	1,474	1,605	1,742	1,769	1,798	1,831	1,860	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225
0,42	1,413	1,544	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
0,43	1,356	1,487	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
0,44	1,290	1,421	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
0,45	1,230	1,360	1,501	1,532	1,561	1,592	1,626	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
0,46	1,179	1,309	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
0,47	1,130	1,260	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
0,48	1,076	1,206	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
0,49	1,030	1,160	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
0,5	0,982	1,112	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
0,51	0,936	1,066	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
0,52	0,894	1,024	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
0,53	0,850	0,980	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,343	1,397	1,458	1,600
0,54	0,809	0,939	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
0,55	0,769	0,899	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
0,56	0,730	0,865	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
0,57	0,692	0,822	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
0,58	0,665	0,785	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
0,59	0,618	0,748	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
0,6	0,584	0,714	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
0,61	0,549	0,679	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
0,62	0,515	0,645	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
0,63	0,483	0,613	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
0,64	0,450	0,580	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
0,65	0,419	0,549	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169
0,66	0,388	0,518	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
0,67	0,358	0,488	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
0,68	0,329	0,459	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
0,69	0,299	0,429	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
0,7	0,270	0,400	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,71	0,242	0,372	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	1,992
0,72	0,213	0,343	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,73	0,186	0,316	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,74	0,159	0,289	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,75	0,132	0,262	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,76	0,105	0,235	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,844
0,77	0,079	0,209	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829

0,78	0,053	0,182	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,79	0,026	0,156	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,8		0,130	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,81		0,104	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,82		0,078	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,83		0,052	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,84		0,026	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,335	0,395	0,437	0,504	0,645
0,85			0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620
0,86			0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,87			0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,88			0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,89			0,028	0,059	0,096	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512
0,9				0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

4.4 Rifasamento misto

In presenza della necessità di un rifasamento di tipo misto, si adotteranno le due precedenti soluzioni, adattate caso per caso.

4.4.1 Rifasamento di un trasformatore

Un trasformatore è un carico induttivo sia a vuoto che a carico.

A vuoto

Con centralina di rifasamento staccata, il trasformatore assorbe la corrente a vuoto I_0 e dunque una potenza reattiva data da:

$$Q_0 = \frac{S_n * I_0}{100} \quad [\text{kVAR}] \quad (\text{F33})$$

dove:

Q_0 : potenza reattiva a vuoto [kVAR]
 S_n : potenza nominale del trasformatore [kVA]
 I_0 : corrente a vuoto

A carico

La potenza reattiva assorbita dal trasformatore dipende dal valore del carico:

- Pieno carico (carico al 100%) avremo:

$$Q_0 = \frac{S_n * V_{cc}}{100} \quad [\text{kVAR}] \quad (\text{F34})$$

- Carico ridotto (carico al 70%) avremo:

$$Q_{ar} = Q_a * 0,49 \quad [\text{kVAR}] \quad (\text{F35})$$

dove:

Q_a : potenza reattiva assorbita dal trasformatore a pieno carico [kVAR]
Q_{ar} : potenza reattiva assorbita dal trasformatore a carico ridotto [kVAR]
S_n : potenza nominale del trasformatore [kVA]
V_{cc} : tensione di c.to-c.to

4.4.2 Rifasamento di un trasformatore

L'energia reattiva che i condensatori sono in grado di erogare, varia in funzione della tensione e della frequenza con cui vengono alimentati.

Quindi la potenza nominale erogabile si dovrà determinare con la seguente formula:

$$Q_n = Q_c * (U_1/U)^2 * F_1/F \quad [\text{kVAR}] \quad (\text{F36})$$

dove:

Q_c : potenza reattiva della batteria di rifasamento
Q_n : valore nominale della potenza reattiva
U : tensione di rete dell'impianto
U₁ : tensione di alimentazione dei condensatori
F : frequenza di rete
F₁ : frequenza dei condensatori

Esempio:

Rifasamento scelto: Centralizzato
Potenza attiva installata: P = 200 [kW]
Rete trifase con tensione: U = 380 [V a 50 Hz]
Fattore di potenza iniziale: Cosφ = 0,65
Fattore di potenza richiesto: Cosφ = 0,90

avremo:

$$Q_c = P * K = 200 * 0.65 = 137 \text{ [kVAR]}$$

se si installano condensatori con tensione nominale di 400 [V] e frequenza 50 [Hz], avremo:

$$Q_n = Q_c * (U_1/U)^2 * F_1/F = 137 * (400/380)^2 * 50/50 = 137 * 1.1 * 1 = 151,8 \text{ [kVA]}$$

4.5 Correnti di impiego

La corrente di impiego di cui si deve tener conto è:

$$I_B = 1,43 I_C \quad [A] \quad (F37)$$

dove:

I_B : massima corrente assorbita dalla batteria di condensatori

I_C : corrente assorbita dalla batteria di condensatori alla tensione dell'impianto (U)

1,43 : fattore moltiplicativo che tiene conto delle componenti armoniche eventualmente presenti (+30% circa) e della tolleranza sul valore nominale della capacità dei condensatori (+10% circa).

4.6 Scelta del sistema di protezione

I sistemi di comando e protezione delle batterie di condensatori di rifasamento debbono soddisfare la seguente regola:

$$I_N \geq 1,43 I_C \quad [A] \quad (F38)$$

dove:

I_N : corrente nominale del sistema di protezione

I_C : corrente assorbita dalla batteria di condensatori al valore di tensione (U) dell'impianto

1,43 : fattore moltiplicativo che tiene conto delle componenti armoniche eventualmente presenti (+30% circa) e della tolleranza sul valore nominale della capacità dei condensatori (+10% circa)

Inoltre debbono avere:

Un potere di interruzione adeguato al valore di guasto (c.to-c.to) previsto nell'impianto.

Gli interruttori debbono avere un intervento magnetico istantaneo.

Di seguito viene proposta una tabella per la scelta dei sistemi di protezione in funzione della potenza della batteria di rifasamento.

[Tab.38] – Scelta della protezione

Rete trifase a 400V a.c. 50Hz			Rete trifase a 230V a.c. 50Hz	
Potenza Qn della batteria (kvar)	Interruttore In (A)	Fusibile In (A)	Potenza Qn della batteria (kvar)	Interruttore In (A)
5	16	16	5	20
7,5	16	20	7,5	25
10	25	35	10	40
15	40	40	15	63
20	40	50	20	100
25	63	63	25	100
30	100	80	30	125
35	100	80	35	125
40	100	100	40	160
50	100	125	50	250
60	125	160	60	250
70	160	160	70	250
80	250	200	80	320
90	250	200	90	320
100	250	250	100	400
110	250	250	110	400
120	320	315	120	500
135	320	315	135	500
140	400	400	140	500
150	400	400	150	630
175	400	400	175	630
180	500	500	180	800
200	500	500	200	800
240	500	630	240	1000
275	630		275	1000
300	630		300	1250
360	800			
400	1000			

4.7 Modifica regolazione magnetica

Nel caso in cui l'interruttore non soddisfi i requisiti richiesti, occorre scegliere una maggiore diversa regolazione magnetica.

Con questa ultima fase abbiamo ultimato il calcolo, quindi abbiamo definito tutte le principali caratteristiche elettriche della linea elettrica dimensionandola secondo il carico installato e soprattutto seguendo i criteri suggeriti dalle norme.

Chiudiamo la presente guida con alcuni capitoli che ritengo importanti per una maggiore comprensione di alcuni specifici argomenti.

5 Alimentazione da cabina M.T.

Quando un impianto viene alimentato da una propria cabina di trasformazione MT/BT, la componente della corrente di c.to-c.to deve tenere conto dei seguenti fattori:

- Potenza del trasformatore
- Lunghezza della linea a monte del guasto

Nei circuiti trifase, si possono avere tre diverse possibilità di c.to-c.to:

- fase-fase
- fase-neutro
- trifase equilibrato

La formula per il calcolo della componente simmetrica è:

$$I_{cc} = \frac{E}{Z_E + Z_L} \quad [A] \quad (F39)$$

dove:

I_{cc} : corrente di c.to-c.to simmetrica

E : tensione di fase-neutro

Z_E : impedenza equivalente secondaria del trasformatore misurata tra fase e neutro

Z_L : impedenza del solo conduttore di fase

La corrente di c.to-c.to simmetrica può essere determinata anche:

$$I_{cc} = \frac{V_C}{\sqrt{3} * Z_{cc}} \quad [A] \quad (F40)$$

dove:

I_{cc} : corrente di c.to-c.to simmetrica [kA]

V_c : tensione concatenata [V]

Z_{cc} : impedenza totale di c.to-c.to

a sua volta:

$$Z_{cc} = \sqrt{(R_L + R_E)^2 + (X_L + X_E)^2} \quad [\Omega] \quad (F41)$$

dove:

R_L : resistenza della linea a monte [mΩ]

R_E : resistenza equivalente secondaria del trasformatore [mΩ]

X_L : reattanza della linea a monte [mΩ]

X_E : reattanza equivalente secondaria del trasformatore [mΩ]

a sua volta:

$$R_L = r * L \quad [m\Omega/m] \quad (F42)$$

dove:

r : resistenza specifica della linea [mΩ/m] (vedi tabelle relative)

L : lunghezza della linea a monte

ed ancora:

$$X_L = x * L \quad [m\Omega/m] \quad (F43)$$

dove:

r : resistenza specifica della linea [mΩ/m] (vedi tabelle relative)

L : lunghezza della linea a monte

ed ancora:

$$R_e = \frac{1000 * P_{cu}}{3I_n^2} \quad [A] \quad (F44)$$

dove:

P_{cu} = perdite del rame del trasformatore [W]

I_n = corrente nominale del trasformatore [A]

ed ancora:

$$X_e = \sqrt{Z_E^2 - R_E^2} \quad (F45)$$

ed ancora:

$$Z_e = V_{cc\%} * \frac{V_c^2}{100 * P} \quad (F46)$$

dove:

V_{cc%} : tensione percentuale di cortocircuito del trasformatore

V_c : tensione concatenata [V]

P : potenza del trasformatore [kVA]

A fronte di quanto sopra, la corrente di c.to-c.to di un trasformatore si può calcola con la formula:

$$I_{cc} = \left(\frac{100}{V_{cc\%}} \right) * I_n \quad (F47)$$

dove:

$$I_n = \frac{A}{\sqrt{3} * V_n} \quad (F48)$$

A (potenza apparente)

La corrente di c.to-c.to di più trasformatori in parallelo può considerarsi pari alla somma delle singole I_{cc}.

6 Caratteristiche dei trasformatori

Uno degli elementi del circuito che sicuramente dobbiamo conoscere in dettaglio è il trasformatore MT/BT. È un componente fondamentale del circuito e la conoscenza delle sue caratteristiche elettriche ci permette di poter ottimizzare la distribuzione elettrica.

Di seguito vengono riportate alcune tabelle che riportano le caratteristiche elettriche di alcune tipologie di trasformatore.

Caratteristiche trasformatori di distribuzione in resina in classe di isolamento 12 kV

Collegamento Dyn11 a 50 Hz raffreddamento naturale, grado di protezione IP00

[Tab.39] – Conformi alle norme CEI 14-4 e 14-8 IEC60076-11 CENELEC HD 538-1

Potenza nominale	Classe isolamento	Tensione primaria	Tensione secondaria	Vcc	Perdite a vuoto	Perdite dovute al carico (W)		I ₀
kVA	kV	kV	V	%	W	120°	75°	%
100	12	10	400	4	440	2000	1760	1,9
160	12	10	400	4	610	2700	2380	1,7
200	12	10	400	4	720	3150	2770	1,5
250	12	10	400	6	750	3700	3260	1,2
315	12	10	400	6	850	4600	4050	1,1
400	12	10	400	6	1000	5400	4810	1
500	12	10	400	6	1200	6700	5960	0,9
630	12	10	400	6	1450	7600	6750	0,8
800	12	10	400	6	1750	9400	8370	0,8
1000	12	10	400	6	2000	10000	8900	0,7
1250	12	10	400	6	2300	12700	11300	0,6
1600	12	10	400	6	2800	14000	12460	0,5
2000	12	10	400	6	3300	18000	16200	0,5
2500	12	10	400	6	4300	21000	18900	0,4
3150	12	10	0	7	4600	26000	23400	0,4

Caratteristiche trasformatori di distribuzione in resina in classe di isolamento 17,5 kV

Collegamento Dyn11 a 50 Hz raffreddamento naturale, grado di protezione IP00

[Tab.40] – Conformi alle norme CEI 14-4 e 14-8 IEC60076-11 CENELEC HD 538-1

Potenza nominale	Classe isolamento	Tensione primaria	Tensione secondaria	Vcc	Perdite a vuoto	Perdite dovute al carico (W)		I ₀
kVA	kV	kV	V	%	W	120°	75°	%
100	17,5	15	400	6	430	1900	1670	2
160	17,5	15	400	6	570	2800	2470	1,7
200	17,5	15	400	6	680	3600	3170	1,5
250	17,5	15	400	6	750	3650	3210	1,3
315	17,5	15	400	6	880	4500	3970	1,2
400	17,5	15	400	6	1000	5200	4630	1,1
500	17,5	15	400	6	1200	6700	5960	1

630	17,5	15	400	6	1600	7800	6940	1
800	17,5	15	400	6	1780	9300	8290	0,9
1000	17,5	15	400	6	2000	10800	9630	0,8
1250	17,5	15	400	6	2350	12600	11250	0,7
1600	17,5	15	400	6	2750	15500	13800	0,6
2000	17,5	15	400	6	3350	18500	16650	0,6
2500	17,5	15	400	6	4300	21800	19620	0,5
3150	17,5	15	0	7	4700	26000	23400	0,4

Caratteristiche trasformatori di distribuzione in resina in classe di isolamento 24 kV

Collegamento Dyn11 a 50 Hz raffreddamento naturale, grado di protezione IP00

[Tab.41] – Conformi alle norme IEC60076-11 EU 548-14

Potenza nominale	Classe isolamento	Tensione primaria	Tensione secondaria	Vcc	Perdite a vuoto	Perdite dovute al carico (W)		I ₀
kVA	kV	kV	V	%	W	120°	75°	%
100	24	20	400	6	280	2050	1850	2,2
160	24	20	400	6	400	2900	2700	1,9
250	24	20	400	6	520	3800	3300	1,5
315	24	20	400	6	1150	4500	3970	1,4
400	24	20	400	6	750	5500	4800	1,3
630	24	20	400	6	1100	7600	6600	1,2
800	24	20	400	6	1300	8000	7000	1,1
1000	24	20	400	6	1550	9000	8000	1
1250	24	20	400	6	1800	11000	9500	1
1600	24	20	400	6	2200	13000	11000	0,9
2000	24	20	400	6	2600	16000	14000	0,9
2500	24	20	400	6	3100	19000	17000	0,8
3150	24	0	0	6	3800	22000	20500	0,7

Caratteristiche trasformatori di distribuzione in resina in classe di isolamento 36 kV

Collegamento Dyn11 a 50 Hz raffreddamento naturale, grado di protezione IP00

[Tab.42] – Conformi alle norme CEI 14-4 e 14-8 IEC60076-11 CENELEC HD 538-1

Potenza nominale	Classe isolamento	Tensione primaria	Tensione secondaria	Vcc	Perdite a vuoto	Perdite dovute al carico (W)		I ₀
kVA	kV	kV	V	%	W	120°	75°	%
250	36	25	400	6	1320	3600	3180	1,5
315	36	25	400	6	1450	4800	4250	1,4
400	36	25	400	6	1600	5800	5100	1,3
500	36	25	400	6	1800	7200	6350	1,2
630	36	25	400	6	2100	7600	6750	1
800	36	25	400	6	2580	9400	8370	0,9
1000	36	25	400	7	2800	10500	9280	0,8
1250	36	25	400	8	3000	14000	12350	0,7
1600	36	25	400	8	3600	16500	14600	0,6
2000	36	25	400	8	4600	18000	16200	0,5
2500	36	25	400	8	5780	22000	19800	0,5
3000	36	25	0	8	6620	25500	22500	0,4

Caratteristiche trasformatori di distribuzione in olio in classe di isolamento ≤ 24 kV

Collegamento Dyn11 a 50 Hz raffreddamento naturale in olio, grado di protezione IP00

[Tab.42] – Conformi alle norme CEI 14-4 e 14-8 IEC60076-11 CENELEC HD 538-1

Potenza nominale	Classe isolamento	Tensione primaria	Tensione secondaria	Vcc	Perdite a vuoto	Perdite dovute al carico (W)	I ₀
kVA	kV	kV	V	%	W	75°	%
50	24	20	400	4	90	1100	2,8
100	24	20	400	4	145	1750	2,5
160	24	20	400	4	210	2350	2,3
250	24	20	400	4	300	3250	2,1
315	24	20	400	4	360	3900	2
400	24	20	400	4	430	4600	1,9
500	24	20	400	4	510	5500	1,8
630	24	20	400	4	600	6500	1,7
630	24	20	400	6	600	6500	1,6
800	24	20	400	6	650	8400	1,5
1000	24	20	400	6	770	10500	1,4
1250	24	20	400	6	950	11000	1,3

1600	24	20	400	6	1200	14000	1,2
2000	24	20	400	6	1450	18000	1,1
2500	24	20	400	6	1750	19620	1
3150	24	20	0	7	2200	23400	0,9

ELENCO APPENDICI

- | | | |
|----|-------------|------------------------|
| 7 | APPENDICE A | - NORMATIVE |
| 8 | APPENDICE B | - DIMENSIONAMENTO CAVI |
| 9 | APPENDICE C | - RIFASAMENTO |
| 10 | APPENDICE D | - FORMULARIO |

7 APPENDICE A - NORMATIVE**Norme relative al calcolo delle correnti di c.to-c.to.**

CEI	CEI EN	Descrizione
CEI 11-25	CEI EN 60909-0	Correnti di c.to-c.to nei sistemi trifase in corrente alternata. Calcolo delle correnti
CEI 11-26	CEI EN 60865-1	Correnti di c.to-c.to – Calcolo degli effetti. Definizioni e metodi di calcolo
CEI 11-28		Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di c.to-c.to nelle reti radiali a B.T.

Norme relative agli impianti elettrici utilizzatori di B.T. (relativamente al calcolo della sezione dei cavi).

CEI	CEI EN	Descrizione
CEI 64-8		Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua
CEI 64-8/1		Parte 1: Oggetto, scopo e principi fondamentali
CEI 64-8/2		Parte 2: Definizioni
CEI 64-8/3		Parte 3: Caratteristiche generale
CEI 64-8/4		Parte 4: Prescrizioni per la sicurezza
CEI 64-8/5		Parte 5: Scelta ed installazione dei componenti elettrici
CEI 64-8/6		Parte 6: Verifiche
CEI 64-8/7		Parte 7: Ambienti ed applicazioni particolari
CEI 64-8/8		Parte 8-1: Efficienza energetica degli impianti elettrici
CEI 64-8/8:EC1		Impianti elettrici a tensione nominale non superiore a 1 000 V in corrente alternata e a 1 500 V in corrente continua
CEI 64-8/8:EC2		Impianti elettrici a tensione nominale non superiore a 1 000 V in corrente alternata e a 1 500 V in corrente continua
CEI 64-12		Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario
CEI 64-14		Guida alle verifiche degli impianti elettrici utilizzatori
CEI 70-1	CEI EN 60529/1	Gradi di protezione degli involucri (codice IP)
CEI 70-2	CEI EN 61032	Protezione delle persone e delle apparecchiature mediante involucri
CEI 70-3	CEI EN 50102	Gradi di protezione degli involucri per apparecchiature elettriche contro impatti meccanici esterni (codice IK)

Apparecchiature elettriche: Quadri BT

CEI	CEI EN	Descrizione
	CEI EN 61439	Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT)
	CEI EN 61439-0	Guida alla specificazione delle apparecchiature assiemate
CEI 17-13/1	CEI EN 61439-1	Regole generali.
CEI 17-13/2	CEI EN 61439-2	Quadri di potenza (per potenza nominale non superiore a 1000 V ac o 1500 V dc)
CEI 17-13/3	CEI EN 61439-3	Quadri destinati all'uso da parte di persone comuni.
CEI 17-13/4	CEI EN 61439-4	Quadri di cantiere.
	CEI EN 61439-5	Quadri per la distribuzione in reti pubbliche
	CEI EN 61439-6	Condotti sbarre e quadri per applicazioni specifiche come porti turistici, campeggi e stazioni di ricarica per veicoli elettrici

Apparecchiature elettriche: Interruttori BT

CEI	CEI EN	Descrizione
CEI 17-5	CEI EN 60947	Interruttori automatici
	CEI EN 60947-1	Interruttori automatici regole generali
	CEI EN 60947-2	Interruttori automatici
	CEI EN 60947-3	Interruttori, sezionatori e sezionatori-interruttori
	CEI EN 60947-4	Contattori e motori di avviamento
	CEI EN 60947-5	Dispositivi di comando a circuito e elementi di comando
	CEI EN 60947-6	Apparecchiature multifunzione
CEI 23-3		Interruttori automatici di sovracorrente per usi domestici e similari (per tensione nominale non superiore a 415 V in corrente alternata).
CEI 23-18		Interruttori automatici di sovracorrente per usi domestici e similari e interruttori differenziali con sganciatori di sovracorrente incorporati per usi domestici e similari.

Apparecchiature elettriche: Trasformatori MT/BT

CEI	CEI EN	Descrizione
CEI 14-12		Trasformatori trifase di distribuzione a secco Parte 1: Prescrizioni generali e per trasformatori con tensione massima non superiore a 24 KV
CEI 14-13		Trasformatori trifase di distribuzione a raffreddamento naturale in olio Parte 1: Prescrizioni generali e per trasformatori con tensione massima non superiore a 24 KV

Apparecchiature elettriche: Fusibili MT/BT

CEI	CEI EN	Descrizione
CEI 32-1	CEI EN 60269-1	Fusibili a tensione non superiore a 1000V per corrente alternata e a 1500V per corrente continua. Parte 1 :Prescrizioni generali
CEI 32-5	CEI EN 60269-3	Fusibili a tensione non superiore a 1000V per corrente alternata e a 1500V per corrente continua. Parte 3 :Prescrizioni supplementari per i fusibili per uso da parte di persone non addestrate (principalmente per applicazioni domestiche e similari)

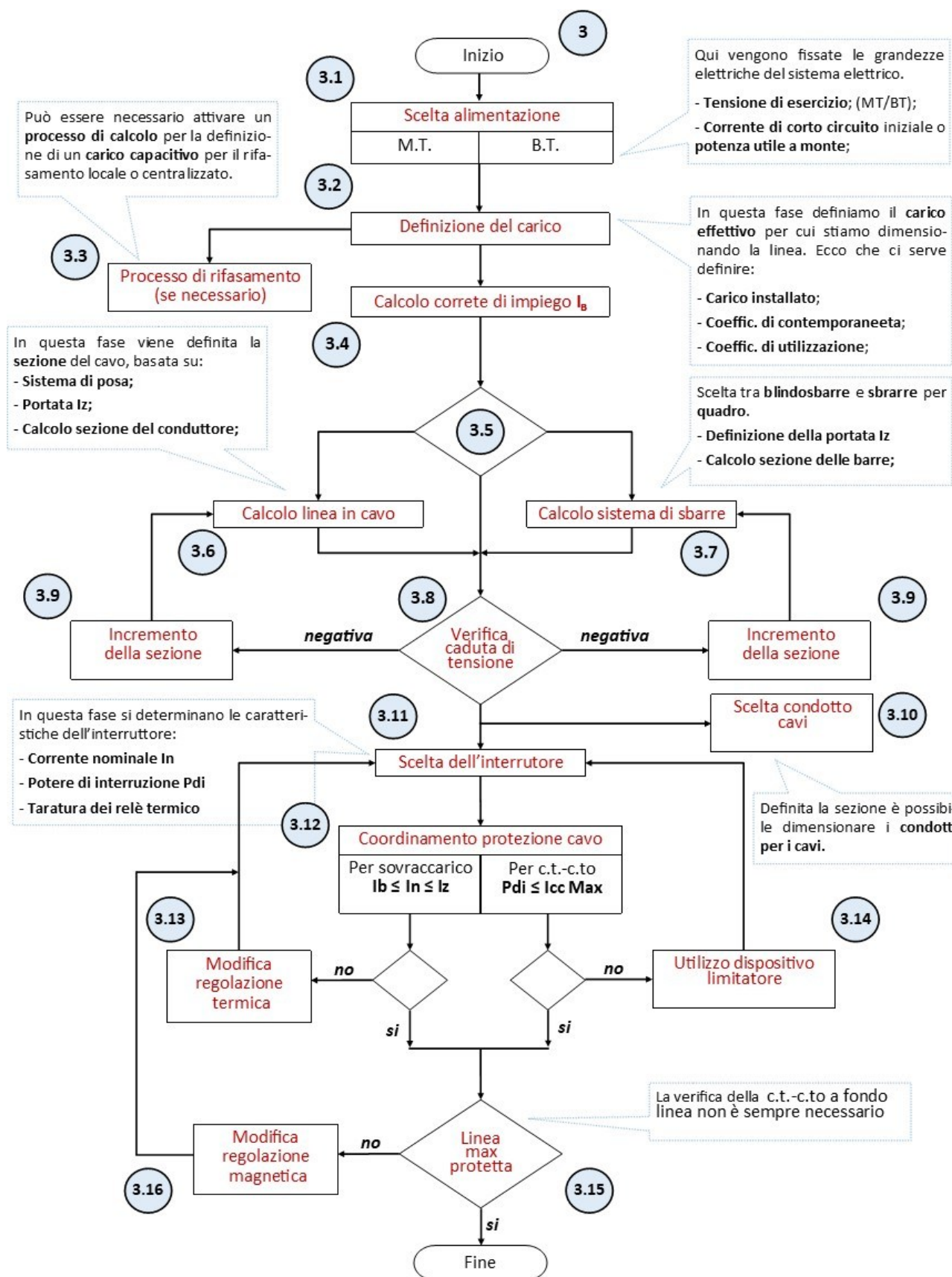
Apparecchiature elettriche: Scaricatori

CEI	CEI EN	Descrizione
CEI 37-2	CEI EN 60099-4	Scaricatori Parte 4: Scaricatori ad ossido metallico senza spinterometri per reti elettriche a corrente alternata
CEI 37-3	CEI EN 60099-5	Scaricatori Parte 5: Raccomandazioni per la scelta e l'applicazione

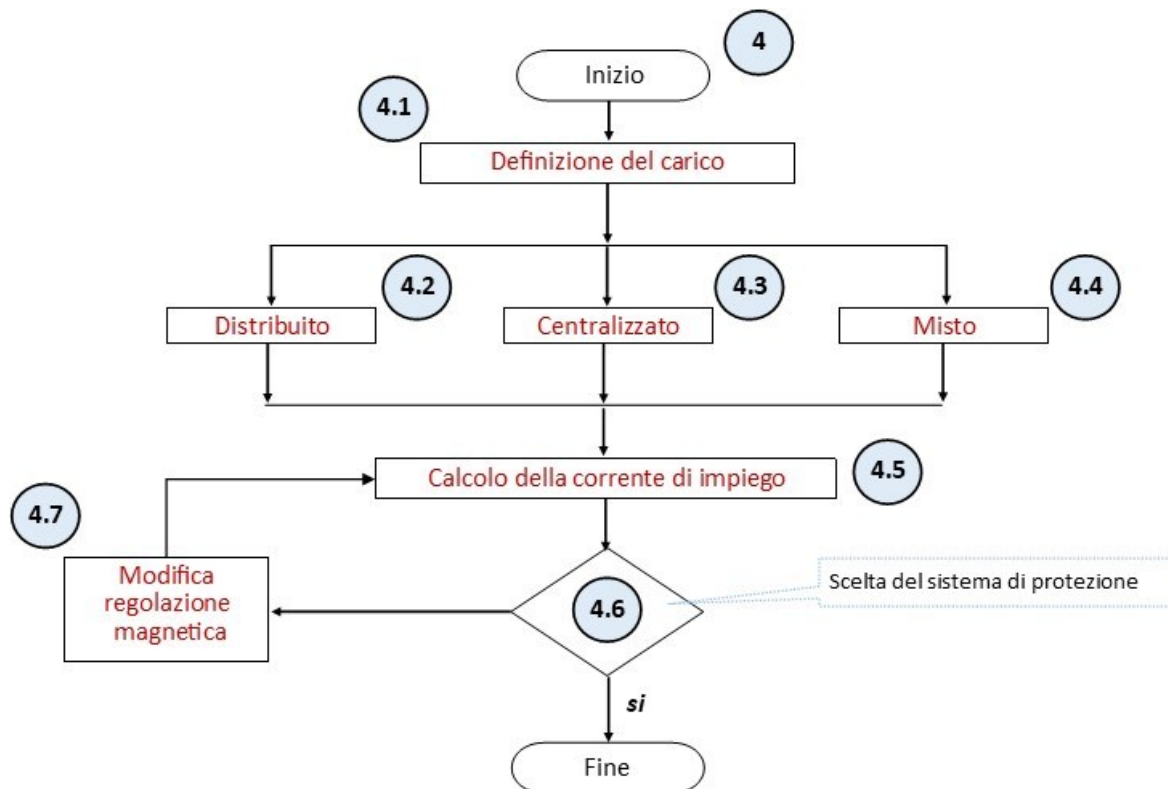
Cavi elettrici MT/BT

CEI	CEI EN	Descrizione
CEI 20	CEI UNEL 35024 /1-2	Cavi elettrici isolati con materiale elastomero o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
CEI 20	CEI UNEL 35026	Cavi elettrici isolati con materiale elastomero o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata
CEI 20-19 [1 a 4] [7 a 14]	CEI UNEL 35026	Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750V. Cavi con isolamento reticolato con tensione nominale non superiore a 450/750V
CEI 20-20 [1 a 5] [7-13]		Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750V
CEI 20-22 [0-2-4-5]		Prove d'incendio su cavi elettrici

8 APPENDICE B - DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL PROCESSO DI CALCOLO



9 APPENDICE C - IL RIFASAMENTO



10 APPENDICE D - FORMULARIO**Elettrotecnica Generale (Leggi Fondamentali)**

Definizione	Espressione	U.M.
Prima Legge di Ohm	$R = \frac{V}{I}$	[Ω]
Seconda Legge di Ohm	$R = \rho \left(\frac{l}{s} \right)$	[Ω]
Resistività del Rame	$\rho = 0,0178$	[Ω mm ² /m]
Potenza su carico resistivo	$P = R * I^2$	[W]
Potenza in Corrente Continua	$P = V * I$	[W]

Riporto in Temperatura

Per riportare il valore di una resistenza presa a 20°C ad una temperatura “θ”:

$$R_{\theta} = R_{20} \frac{234,5 + \theta}{234,5 + 20}$$

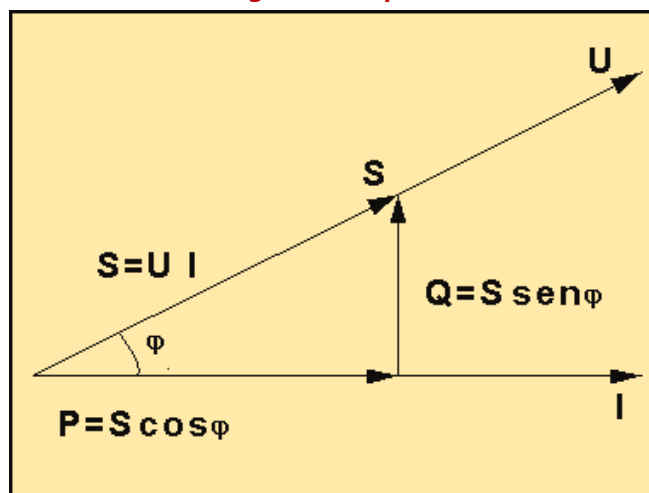
Ad esempio per riportare il valore di una resistenza su un motore presa a 20°C e riportata alla temperatura di lavoro 70°C.

Elettrotecnica Generale (Corrente alternata)

Definizione	Espressione	
Espressione di una f.e.m sinusoidale nell'istante “t”	$v(t) = \sqrt{2} V_{max} \sin(\omega t)$	
Valore Efficace di una grandezza sinusoidale	$V = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$	
Angolo di sfasamento	$\varphi = \phi_v - \phi_I$	Per convenzione l'angolo di sfasamento tra tensione (di alimentazione) e corrente (assorbita dal carico) è calcolato tenendo conto dell'angolo di sfasamento.
Se l'angolo φ è tra 0 e 90°	Il carico è induttivo (RL)	
Se l'angolo φ è tra 0 e -90°	Il carico è capacitivo (RC)	

Elettrotecnica Generale (Triangolo delle Potenze)

Definizione	Espressione	U.M.
Potenza Apparente	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	[VA]
Potenza Attiva	$P = S * \cos \varphi$	[W]
Potenza Reattiva	$Q = S * \sin \varphi / Q = P * \tan \varphi$	[VAR]
Tangente	$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$	--
Angolo	$\varphi = \arctan \frac{Q}{P}$	gradi

Triangolo delle potenze**Elettrotecnica Generale (La potenza nei circuiti a corrente alternata)**

Definizione	Espressione trifase	Espressione monofase	U.M.
Potenza Apparente	$S = \sqrt{3} V I$	$S = V I$	[VA]
Potenza Attiva	$P = \sqrt{3} V I \cos \varphi$	$P = V I \cos \varphi$	[W]
Potenza Reattiva	$Q = \sqrt{3} V I \sin \varphi$	$Q = V I \sin \varphi$	[VAR]
Corrente	$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi}$	$I = \frac{P}{V \cos \varphi}$	[A]
Fattore di potenza (f.p.)	$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} V I}$		
Angolo (dal fattore di potenza)	$\varphi = \arccos (f.p.)$		[Gradi]

Circuiti Trifase (Legge di Ohm)

Definizione	Espressione	U.M.
Potenza Apparente	$S = 3 Z I^2$	[VA]
Potenza Attiva	$P = 3 R I^2$	[W]
Potenza Reattiva	$Q = 3 X I^2$	[VAR]
Angolo di sfasamento	$\varphi = \arctang \frac{X}{R}$	[A]

Rifasamento

Definizione	Espressione	U.M.
Fattore di potenza consigliabile per impianti rifasati	$\cos \varphi \geq 0,95$	
Angolo di sfasamento ammesso in un impianto	$\varphi \leq 25^\circ$	
Potenza Reattiva massima ammessa per impianti rifasati	$Q = 3 X I^2$	[VAR]
Potenza Rifasante	$\varphi = \arctang \frac{X}{R}$	[A]
Reattanza capacitiva trifase di rifasamento	$X_c = 3 \frac{V^2}{Q_c}$	[Ohm]
Condensatore di rifasamento	$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$	[F]
Corrente sul condensatore	$I = \frac{Q_c}{\sqrt{3} V}$	[A]

Macchine Elettriche –Trasformatore Trifase Parte I

Definizione	Espressione	U.M.
Potenza Nominale	$S_n = \sqrt{3} V_{1n} I_1 = \sqrt{3} V_{20} I_2$	[VA]
Tensione al primario	V_1	[V]
Tensione al secondario	V_2	[V]
Tensione al secondario (a vuoto)	V_{20}	[V]
Potenza Assorbita	$P_1 = P_2 + Perdite$	[W]
Potenza Resa	$P_2 = \sqrt{3} V_2 I_2 \cos \varphi_2$	[W]

Rendimento	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$	[A]
Corrente Nominale al Primario	$I_{1N} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{1n}}$	[A]
Corrente Nominale al secondario	$I_{2N} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{2n}}$	[A]

Macchine Elettriche –Trasformatore Trifase (Bilanciamento Energetico)

Definizione	Espressione	U.M.
Potenza Nominale	$S_n = \sqrt{3} V_{1n} I_1 = \sqrt{3} V_{20} I_2$	[VA]
Tensione al primario	V_1	[V]
Tensione al secondario	V_2	[V]
Tensione al secondario (a vuoto)	V_{20}	[V]
Potenza Assorbita	$P_1 = P_2 + Perdite$	[W]
Potenza Resa	$P_2 = \sqrt{3} V_2 I_2 \cos \varphi_2$	[W]
Rendimento	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$	[A]
Corrente Nominale al Primario	$I_{1N} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{1n}}$	[A]
Corrente Nominale al secondario	$I_{2N} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{2n}}$	[A]

Macchine Elettriche –Trasformatore Trifase (Perdite a vuoto)

Definizione	Espressione	U.M.
Perdite nel Ferro	$P_{fe} = P_i + P_{cp}$	[W]
Perdite per Isteresi	P_i	[W]
Perdite per Correnti Parassite	P_{CP}	[W]
Perdite a vuoto	$P_0 = \sqrt{3} V_{1n} I_0 \cos \varphi_0$	[W]
Corrente attiva a vuoto	$I_a = I_0 \cos \varphi_0$	[A]
Corrente Magnetizzante	$I_\mu = I_0 \sin \varphi_0$	[A]
Rapporto tra le correnti	$I_\mu \gg I_a$	

Fattore di potenza a vuoto	$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} V I_0}$	
Resistenza equivalente delle perdite nel ferro	$R_o = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} I_a}$	[Ω]
Perdite a vuoto calcolate	$P_o = \frac{P_2}{\eta} - I_2 - \alpha^2 P_{cc}$	[W]

Macchine Elettriche –Trasformatore Trifase (Perdite in corto circuito)

Definizione	Espressione	U.M.
Perdite in corto circuito da P_{cc} percentuale	$P_{cc} = S_n = \frac{P_{cc\%}}{100}$	[W]
Perdite nel Ferro	$P_{fe} \cong 0$ (per $V_1 \cong 0$)	[W]
Perdite in cortocircuito	$P_{cc} = \sqrt{3} V_{1cc} I_{1n} \cos \varphi_{cc0}$	[W]
Perdite in cortocircuito equivalenti al primario	$P_{cc} = 3 R_{1cc} I_{1n}^2$	[W]
Perdite in cortocircuito equivalenti al secondario	$P_{cc} = 3 R_{2cc} I_{2n}^2$	[W]
Fattore di potenza in cortocircuito	$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc\%}}{V_{cc\%}} = \frac{100 P_{cu}}{V_{cc\%}}$ $\cos \varphi_{cc} = \frac{R_{1cc}}{Z_{1cc}} = \frac{R_{2cc}}{Z_{2cc}}$ $\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc\%}}{V_{cc\%}} = \frac{100 P_{cu}}{V_{cc\%}}$	
Tensione di c.c. al Primario	$V_{1cc} = V_{1N} \frac{V_{cc\%}}{100}$	[V]
Tensione di c.c. al Secondario	$V_{2cc} = V_{2N} \frac{V_{cc\%}}{100}$	[V]
Resistenza e impedenza al primario	$R_{1cc} = R_1 + R_2 m^2$ $Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3} I_{1n}}$	[Ω]
Resistenza e impedenza al secondario	$R_{2cc} = \frac{P_{cc}}{3 I_{2n}^2}$ $R_{2cc} = \frac{P_{cc\%}}{100} \frac{V_{20}^2}{S_n}$	[Ω]

Macchine Elettriche –Trasformatore Trifase (caduta di tensione sotto carico induttivo)

Definizione	Espressione	U.M.
Assoluta	$\Delta V = V_{20} - V_2$ $\Delta V = \sqrt{3} I_2 (R_{2cc} \cos \varphi_2 + X_{2cc} \sin \varphi_2)$	[V]
Percentuale	$\Delta V_{\%} = \alpha \Delta V_{cc\%} (\cos \varphi_{cc} \cos \varphi_2 + \sin \varphi_{cc} \sin \varphi_2)$	
Semplificata	$\Delta V_{\%} \cong \alpha \Delta V_{cc\%} (\cos^2 \varphi_2 + \sin^2 \varphi_2)$	

Macchine Elettriche –Trasformatore Trifase (rapporti tra primario e secondario)

Definizione	Espressione
Rapporto spire	$m = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$
Rapporto di trasformazione	$K = \frac{V_1}{V_{20}}$