



POLITECNICO DI MILANO

AREA TECNICO EDILIZIA

Piazza Leonardo da Vinci, 32 - Milano

TELEFONO: +39 02 2399.1 www.polimi.it

POLO:	Milano - Via La Masa 20	CAMPUS:	Bovisa
EDIFICIO:	Edificio 16A	INDIRIZZO:	Via La Masa 20
STRUTTURA:	Area Tecnico Edilizia		
COD_LAV:	02_2015	CUP:	D41E14000730005

Nuovo Laboratorio ERC CREA Dip. Aerospaziale/Energia
e ampliamento SpLab

PROGETTO ESECUTIVO

Responsabile del procedimento:

arch. Mauro Rizzieri - A.T.E.

Responsabile del progetto:

Geom. Massimiliano Verdicchio - A.T.E.

Progetto Opere Civili:

Geom. Massimiliano Verdicchio - A.T.E.

Progetto Impianti Elettrici:

P.I. Gallina Ettore - A.T.E.

Progetto Cementi Armati:

Ing. Bruno Sala

Coordinatore della sicurezza in fase di progettazione:

Geom. Cesare Colombo - A.T.E.

Titolo Tavola	Categoria tavola
RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO	IMPIANTI ELETTRICI

Codice Tavola												Scala		Plottaggio		Formato	
												.		1:1		.	
fase		progressivo			categoria		numero			revisione			Nome file:				
P	E	.	0	1	4	.	I	E	.	0	0	1					.
												Spazio note, timbri e firme:					
Revisione		Data		Revisione		Data		Redatto da:		E.G.							
0	emissione	25/06/15		4				Controllato da:		M.R.							
1	revisione			5				Approvato da:		M.R.							
2				6				Verificato da:		M.R.							
3				7				Validato da:		M.R.							

INDICE

1.	Oggetto dei lavori.....	2
2.	Rispondenza disposizioni di legge e di norma.....	2
3.	Fonti di alimentazione dell'energia elettrica.....	3
4.	Descrizione degli interventi	4
4.1.	Interventi di smantellamento/spostamento.....	4
4.2.	Impianto di illuminazione	4
4.2.1.	Impianto F.M.	5
4.2.2.	Impianto di illuminazione emergenza.....	6
4.3.	Impianto di Messa a terra.....	6
4.4.	Impianto Trasmissione Dati	7
4.5.	Impianto Rivelazione Incendio	7
5.	Relazione di calcolo	8
5.1.	Calcolo delle correnti di impiego.....	8
5.2.	Dimensionamento dei cavi.....	9
5.3.	Integrale di Joule.....	10
5.4.	Dimensionamento dei conduttori di neutro.....	11
5.5.	Dimensionamento dei conduttori di protezione	12
5.6.	Calcolo della temperatura dei cavi.....	13
5.7.	Cadute di tensione	13
5.8.	Fornitura della rete	14
5.9.	Bassa tensione	15
5.10.	Calcolo dei guasti.....	16
5.11.	Scelta delle protezioni.....	20
5.12.	Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture.....	21
5.13.	Verifica di selettività.....	22
5.14.	Riferimenti normativi.....	23

1. Oggetto dei lavori

La presente relazione tecnica, riferita al progetto esecutivo, pone gli indirizzi per l'esecuzione degli impianti elettrici conseguenti per il lavori di realizzazione di Nuovi Laboratori per il Dipartimento di Aerospaziale ed Energia, nello specifico ampliamento del Laboratorio SpLab ed il Nuovo Laboratorio ERC-CREA, presso l'Edificio 16A del Campus "La Masa" in via La Masa, 20 del Polo di Milano - Bovisa.

Tali opere possono essere così schematizzate:

- a) scollegamenti e rimozioni degli impianti esistenti nelle aree interessate ai lavori interni;
- b) realizzazione del nuovo impianto di illuminazione;
- c) realizzazione del nuovo impianto di alimentazione per prese di F.Motrice;
- d) realizzazione di Quadretti elettrici di alimentazione;
- e) realizzazione di impianti rivelazione incendio.

2. Rispondenza disposizioni di legge e di norma

Il progetto è stato realizzato nel rispetto dei seguenti riferimenti di legge e normativi.

“Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE».” d.p.r. 5 ottobre 2010, n. 207.

“Attuazione dell'articolo 1 della legge n. 123 del 2007, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”, d.lgs. 9 aprile 2008, n. 81.

“Regolamento recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici” Decreto 22 gennaio 2008, n. 37.

“Misure in tema di tutela della salute e della sicurezza sul lavoro e delega al Governo per il riassetto e la riforma della normativa in materia”, legge 3 agosto 2007, n. 123 e s.m.i.

“Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE”, d.lgs. 12 aprile 2006, n. 163, e successive modificazioni e integrazioni.

“Regolamento recante disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi, a norma dell'articolo 20, comma 8, della legge 15 marzo 1997, n. 59” d.p.r. 12 gennaio 1998, n. 37, e s.m.i.

“Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici” Legge 1 marzo 1968, n. 186.

CEI 0-2 - Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici.

CEI 11-17 – Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica. Linee in cavo.

CEI 11-20 - Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria.

CEI 64-8 Parte 1, Parte 2, Parte 3, Parte 4, Parte 5, Parte 6, Parte 7 - Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1 000 V in corrente alternata e a 1 500 V in corrente continua.

CEI 7-6 Impianti di messa a terra.

CEI 61-11 - Impianti elettrici nei mobili.

CEI 64-12 - Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario.

CEI 64-50 - Edilizia ad uso residenziale e terziario. Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione di impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici. Criteri generali.

CEI 64-52 - Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione di impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici. Criteri particolari per edifici scolastici.

CEI EN 62305 (CEI 81-10) Parte 1, Parte 2, Parte 3, Parte 4 - Protezione contro i fulmini.

CEI 103-1 - Impianti telefonici interni.

CEI EN 60617/IEC 617 - Segni grafici per schemi.

3. Fonti di alimentazione dell'energia elettrica

La fonte di alimentazione dei Laboratori verrà prelevata da Quadro Elettrico esistente nel locale tecnico, pertanto da interruttori già presente nel suddetto Quadro.

Le relative linee in cavo non propagante l'incendio alimenteranno i relativi Quadretti collocati nelle estreme vicinanze dei Laboratori, come indicato nelle tavole grafiche.

Per il Laboratorio SP-LAB, l'alimentazione sarà derivata dal Quadro Elettrico Generale esistente nel locale tecnico, per il Laboratorio CREA-LAB l'alimentazione verrà derivata dal Quadro Elettrico esistente tra i due laboratori prove dell'edificio 16 A.

Questi particolari sono evidenziati nelle tavole grafiche.

Fonte: Quadro generale di bassa tensione 16A

Tensione nominale: 400 V/ 230 V 3F+N;

Frequenza: 50 Hz;

Classificazione del sistema in relazione alla tensione nominale: I categoria;

Fattore di potenza ($\cos \phi$): 0,9;

Sistema di distribuzione: TN-S;

Corrente di corto circuito presunta ai quadri BT: ≤ 10 kA.

4. Descrizione degli interventi

4.1. Interventi di smantellamento/spostamento

Per quanto riguarda il Laboratorio SP-LAB ed i locali esistenti annessi, eventuali smantellamenti riguarderanno la parte di illuminazione del corridoio antistante il nuovo laboratorio e l'impiantistica esistente nella zona nella quale verrà creato il servizio igienico, nonché il nuovo ingresso.

I corpi illuminanti esistenti dovranno essere in seguito rimontati per ripristinare il corridoio.

Si dovrà scollegare un mobiletto fan-coil per permetterne lo spostamento e il successivo ricollegamento a spostamento avvenuto.

Mentre per il nuovo Laboratorio ERC-CREA, anche in questo caso si dovranno scollegare dei mobiletti, per permettere la creazione del passaggio tra l'edificio esistente ed il nuovo laboratorio, si dovranno smontare e spostare alcune postazioni di prese CEE esistenti per permettere la demolizione di una parete, si dovrà smontare e ricollegare in altra posizione, il faro esterno all'edificio per la realizzazione del nuovo manufatto, questo particolare è indicato nella tavola grafica di riferimento.

4.2. Impianto di illuminazione

Si prevede la realizzazione di un impianto di illuminazione per entrambi i Laboratori, di tipo incassato con corpi illuminanti 600x600mm per il Laboratorio SP-LAB e di tipo esterno con apposite lampade a ioduri metallici per il nuovo Laboratorio ERC-CREA.

Le alimentazioni, come specificato al punto 3, verranno derivate da Quadri Elettrici relativi ai Laboratori, come specificato nelle tavole grafiche e nella descrizione dei computi allegati.

La distribuzione avverrà utilizzando canaline portacavi o tubazioni in pvc autoestinguenti, per il Laboratorio SP-LAB, la distribuzione verrà eseguita con tubazioni rigide e/o flessibili dal relativo quadretto elettrico, mentre per il Laboratorio ERC-CREA, la distribuzione sarà con tubi rigidi aventi un grado di protezione non inferiore a IP55, come evidenziato nelle tavole grafiche.

Eventuali scatole di derivazione dovranno essere del tipo in pvc autoestinguente, complete di morsetti a cappuccio e coperchio fissato con viti aventi un grado di protezione non inferiore a IP56, pertanto in caso di forature per passaggio cavi e/o tubo si dovranno utilizzare raccordi in grado di mantenere la protezione indicata.

I corpi illuminanti saranno posati in modo tale da garantire il massimo grado di illuminazione, pertanto potranno essere decisi con la D.L. qualora si discostino dal progetto indicato

I cavi utilizzati saranno:

- per il collegamento dal Quadro di zona o Generale, cavo FG7(O)M1 0,6/1 kV , FG7M1 0,6/1 kV e N07V-K; con sezione non inferiore a 1,5mmq

Tabella delle potenze elettriche previste, derivanti dalle caratteristiche delle macchine e dalle esigenze espresse dai Dipartimenti.

DENOMINAZIONE	POTENZA (kW)
QUADRO LABORATORIO SP-LAB	
ILLUMINAZIONE locali Posa interna	1,00
QUADRO LABORATORIO ERC-CREA	
ILLUMINAZIONE capannone Posa esterna	1,50

Le posizioni dei corpi illuminanti e lo sviluppo delle tubazioni dovranno essere concordate con la Direzione Lavori.

4.2.1. Impianto F.M.

Si prevedono le seguenti dotazioni impiantistiche:

Nel Laboratorio SP-LAB, secondo le esigenze e specifiche richieste dei responsabili del Laboratorio, verranno installate dei gruppi di prese di tipo UNEL universali montate all'interno di canaline in pvc autoestinguenti in posa a parete verticali nelle posizioni indicate nelle tavole grafiche, inoltre verranno installate prese di tipo CEE con grado di protezione non inferiore a IP55 aventi portata 32 A pentapolare.

Nel Laboratorio ERC-CREA, sempre secondo le richieste specifiche dei tecnici responsabili, verranno installate dei gruppi prese composto da prese interbloccate di tipo CEE pentapolari e monofasi da 32 A e 16 A e prese di tipo UNEL universali, verranno collocate nelle posizioni evidenziate nelle tavole grafiche del capannone, l'alimentazione di detti gruppi verrà eseguita con cavi non propaganti l'incendio di tipo FG7OM1 installato entro tubazioni in pvc autoestinguente. I particolari sono evidenziati nelle tavole grafiche allegato al presente progetto. A completamento delle lavorazioni per il Laboratorio ERC-CREA verranno installate delle prese di tipo CEE da 63 A pentapolari all'interno dei laboratori prove esistenti all'interno dell'edificio 16 A

Le protezioni delle linee di F.Motrice, come per le linee di illuminazione saranno installate all'interno di quadri elettrici dedicati ed installati nelle estreme vicinanze del capannone, per le

protezioni delle prese nei laboratori esistenti saranno derivate da interruttori da installare nel quadro elettrico esistente all'esterno di detti laboratori prove.

DENOMINAZIONE	POTENZA (kW)
QUADRO GENERALE EDIFICIO	
16A PIANO terra	
QUADRETTO PER LAB.SP-LAB ESTERNA	25 circa
QUADRETTO PER LAB.CREA-LAB ESTERNA	15 circa

4.2.2. Impianto di illuminazione emergenza

Verranno installati corpi illuminanti dotati di dispositivo di emergenza, per garantire l'adeguato livello di illuminazione di sicurezza in assenza di alimentazione elettrica.

Questi apparecchi verranno installati all'interno dei Laboratori, sulle uscite di sicurezza, all'interno del capannone, a garanzia di illuminare il percorso di evacuazione in caso di mancanza di energia elettrica, la durata delle batterie non dovrà essere inferiore a 1 ora a pieno regime.

4.3. Impianto di Messa a terra

Il sistema di distribuzione utilizzato al Politecnico è quello TN-S.

L'utilizzo di interruttori differenziali garantisce la verifica della protezione contro i contatti indiretti secondo le prescrizioni della norma CEI 64-8/5 e CEI 7-6 per l'impianto di dispersione. Il conduttore per la messa a terra è integrato nei cavi delle varie alimentazioni, sia di illuminazione che di F.Motrice, pertanto non ci dovranno essere conduttori per la messa a terra di strutture diversa dagli impianti descritti.

Il collegamento del conduttore di terra dei cavi principali dovranno essere collegati alla barra equipotenziale posizionata all'interno del Quadro Generale di partenza.

Dovrà essere eseguito un impianto di dispersore all'esterno del nuovo capannone del Laboratorio ERC-CREA secondo le indicazioni del C.S.A e delle planimetrie allegate al presente progetto.

4.4. Impianto Trasmissione Dati

Per il Laboratorio PS-LAB sono previste alcune prese per il collegamento di apparecchiature alla rete Dati, pertanto nelle posizioni indicate e suggerite dai tecnici del Laboratorio verranno installate prese di tipo RJ45 in categoria non inferiore a 5e da collegare attraverso conduttori di tipo AWG a 4 coppie all'armadio Dati di piano.

Dette prese verranno collegate ai patch-panel esistenti e certificate con apposita strumentazione secondo le vigenti normative EIA-TIA.

Le numerazioni dei nuovi punti dovranno essere comunicati all'Area relativa per la successiva attivazione.

Le procedure di certificazione per le attivazione dovranno essere comunicate dall'Area interessata.

4.5. Impianto Rivelazione Incendio

Nei nuovi locali del Laboratorio SP-LAB e CREA-LAB si dovrà eseguire un impianto per la rivelazione dell'incendio, composto da sensori ottici di fumo, pulsanti sotto vetro per dare l'allarme e pannelli acustici / visivi.

I cavi da utilizzare dovranno avere una resistenza al fuoco di almeno 2 ore, secondo le vigenti normative e le tubazioni dovranno essere, ovviamente, non propaganti l'incendio.

Il nuovo impianto dovrà essere collegato all'impianto esistente di edificio e si dovranno eseguire le opportune modifiche al sistema in modo che le nuove zone possano essere visualizzate dalla postazione di controllo remoto.

5. Relazione di calcolo

5.1. Calcolo delle correnti di impiego

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

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

nella quale:

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

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

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

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

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

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

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

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

La potenza P_n invece, è la potenza nominale del carico per utenze terminali, ovvero, la somma

delle P_d delle utenze a valle (ΣP_d a valle) per utenze di distribuzione (somma vettoriale).
La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

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

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

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

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

5.2. Dimensionamento dei cavi

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

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

$$a) \quad I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$b) \quad I_f \leq 1.45 \cdot I_z$$

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

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

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

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Le sette tabelle utilizzate sono:

- IEC 448;
- IEC 364-5-523 (1983);
- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR);
- IEC 60364-5-52 (Mineral);

- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026;
- CEI 20-91 (HEPR);

mentre per la media tensione si utilizza la tabella CEI 17-11.

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

La portata minima del cavo viene calcolata come:

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

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

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

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

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

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

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

5.3. Integrale di Joule

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

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

La costante K viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e

al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopraccitati riportano però nella parte commento dei valori prudenziali.

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

Cavo in rame e isolato in PVC:	K = 115
Cavo in rame e isolato in gomma G:	K = 135
Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7:	K = 143
Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
Cavo in rame serie L nudo:	K = 200
Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:	K = 115
Cavo in rame serie H nudo:	K = 200
Cavo in alluminio e isolato in PVC:	K = 74
Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7:	K = 87

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

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

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

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

5.4. Dimensionamento dei conduttori di neutro

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

- il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di 16 mmq;
- la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla

- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16 mmq se il conduttore è in rame e a 25 mmq se il conduttore è in alluminio.

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

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

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore in questione secondo i seguenti vincoli dati dalla norma:

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

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

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

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

5.5. Dimensionamento dei conduttori di protezione

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

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

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

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

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

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

dove:

- S_p è la sezione del conduttore di protezione (mm^2);
- I è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);
- t è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);

- K è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti.

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

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

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

- $2,5 \text{ mm}^2$ se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm^2 se non è prevista una protezione meccanica;

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

5.6. Calcolo della temperatura dei cavi

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

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

esprese in $^{\circ}\text{C}$.

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

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

5.7. Cadute di tensione

Le cadute di tensione sono calcolate vettorialmente. Per ogni utenza si calcola la caduta di

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

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

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

con n che rappresenta il conduttore di neutro;

con i che rappresenta le k utenze coinvolte nel calcolo;

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

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

con:

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

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

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

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

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

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

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

5.8. Fornitura della rete

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

Le tipologie di fornitura possono essere:

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

I parametri trovati in questa fase servono per inizializzare il calcolo dei guasti, ossia andranno sommati ai corrispondenti parametri di guasto della utenza a valle. Noti i parametri alle sequenze nel punto di fornitura, è possibile inizializzare la rete e calcolare le correnti di cortocircuito secondo le norme CEI 11-25.

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

5.9. Bassa tensione

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

I dati richiesti sono:

- tensione concatenata di alimentazione espressa in V;
- corrente di cortocircuito trifase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente nel caso di fornitura ENEL 4.5-6 kA).
- corrente di cortocircuito monofase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente nel caso di fornitura ENEL 4.5-6 kA).

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

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

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

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

da questi dati si ricava la resistenza alla sequenza diretta, in $m\Omega$:

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

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

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

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

Invertendo la formula:

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

$$\frac{R_0}{X_0} = \frac{Z_0}{X_0} \cdot \cos \phi_{cc}$$

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

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

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

5.10. Calcolo dei guasti

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

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

- guasto trifase (simmetrico);

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

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

Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo è condotto nelle seguenti condizioni:

- a) tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione C_{max} ;
- b) impedenza di guasto minima, calcolata alla temperatura di 20°C.

La resistenza diretta, del conduttore di fase e di quello di protezione, viene riportata a 20 °C, partendo dalla resistenza data dalle tabelle UNEL 35023-2009 che può essere riferita a 70 o 90 °C a seconda dell'isolante, per cui esprimendola in mΩ risulta:

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

dove ΔT è 50 o 70 °C.

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

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

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

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

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

La reattanza è invece:

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

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

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

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

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

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

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

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

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

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

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

Per il conduttore di neutro si ha:

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

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

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

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

$$X_{0sbarraPE} = 2 \cdot X_{anello_guasto}$$

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

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

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

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

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

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

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

Per le utenze in condotto in sbarre basta sostituire *sbarra* a *cavo*.
Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

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

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

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

Fase terra:

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

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase I_{kmax} , fase neutro $I_{k1Neutromax}$, fase terra

$I_{k1PEmax}$ e bifase I_{k2max} espresse in kA:

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

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

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

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

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti (CEI 11-25 par. 9.1.1.):

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

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

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

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

dove:

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

Vengono ora esposti i criteri di calcolo delle impedenze allo spunto dei motori sincroni ed asincroni, valori che sommati alle impedenze della linea forniscono le correnti di guasto che devono essere aggiunte a quelle dovute alla fornitura. Le formule sono tratte dalle norme CEI 11.25 (seconda edizione 2001).

Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI 11.25 par 2.5 per quanto riguarda:

- la tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione di 0.95 (tab. 1 della norma CEI 11-25);
- in media e alta tensione il fattore è pari a 1;
- guasti permanenti con contributo della fornitura e dei generatori in regime di guasto permanente.

Per la temperatura dei conduttori ci si riferisce al rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in servizio ordinario dal cavo. Le temperature sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

▪ isolamento in PVC	$T_{\max} = 70^{\circ}\text{C}$
▪ isolamento in G	$T_{\max} = 85^{\circ}\text{C}$
▪ isolamento in G5/G7	$T_{\max} = 90^{\circ}\text{C}$
▪ isolamento serie L rivestito	$T_{\max} = 70^{\circ}\text{C}$
▪ isolamento serie L nudo	$T_{\max} = 105^{\circ}\text{C}$
▪ isolamento serie H rivestito	$T_{\max} = 70^{\circ}\text{C}$
▪ isolamento serie H nudo	$T_{\max} = 105^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

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

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

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

$$I_{k1Neutro\min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutro\max}}$$

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

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

5.11. Scelta delle protezioni

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

- corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- numero poli;
- tipo di protezione;

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

5.12. Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

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

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

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

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

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

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

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

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

Note:

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

5.13. Verifica di selettività

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

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

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

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

5.14. Riferimenti normativi

Norme di riferimento per la Bassa tensione:

- CEI 11-20 2000 IVa Ed. Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI 11-25 2001 IIa Ed. (EC 909): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIIIa Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 20-91 2010: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- CEI 23-3/1 Ia Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI 33-5 Ia Ed. 1984: Condensatori statici di rifasamento di tipo autorigenerabile per impianti di energia a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 660V.
- CEI 64-8 VIa Ed. 2007: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- CEI 7-6 :Impianti di messa a terra.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35023 2009: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.

Norme di riferimento per la Media tensione

- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 11-1 IXa Ed. 1999: Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI 11-35 IIa Ed. 2004: Guida all'esecuzione delle cabine elettriche d'utente
- CEI 17-1 VIa Ed. 2005: Interruttori a corrente alternata a tensione superiore a 1000V
- CEI 17-4 Sezionatori e sezionatori di terra a corrente alternata e a tensione superiore a 1000V
- 17-9/1 Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori per tensioni nominali superiori a 1kV e inferiori a 52 kV
- 17-46 1 Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori combinati con fusibili ad alta tensione per corrente alternata.