

Affidamento in «Concessione mediante project financing del servizio di assistenza passeggeri e di Stazione Marittima nel porto di Ravenna, nonché delle aree per la realizzazione e gestione della nuova Stazione Marittima e degli altri beni strumentali e/o complementari alla prestazione del suddetto servizio da realizzare sulla banchina crociere di Porto Corsini (RA) e aree demaniali adiacenti»

CUP: C61B21002130003 - CIG: 8709330E77 – CUI L92033190395202100009

Progetto Esecutivo - Relazione di calcolo impianti elettrici e speciali



Committente



Progettista Definitivo ed Esecutivo



Atelier(S) Alfonso Femia / AF517

55 rue des petites Ecuries 75010 Paris
tel. +33 1 42 46 28 94

paris@atelierfemia.com

via interiano 3/11 16124 Genova

tel. +39 010 54 00 95

genova@atelierfemia.com

via cadolini 32/38 20137 Milano

tel. +39 02 54 01 97 01

milano@atelierfemia.com

Direzione Architettonica

Simonetta Cenci, Alfonso Femia

Project Manager

Carola Picasso

Team Progettazione

Stefania Bracco, Luca Bonsignorio, Fabio Marchiori,

Francesca Raffaella Pirrello, Alessandro Bellus, Simone Giglio,

Alice Cavicchi, Carlo Occhipinti, Sara Massa

DIORAMA

DIORAMA Paris & Atelier(s) Alfonso Femia
modello 3d e visualizzazioni

ARCHITETTURA E PAESAGGIO

MICHELANGELO PUGLIESE

REGIO CALABRIA

STUDIO DI ARCHITETTURA E PAESAGGIO

Arch. Michelangelo Pugliese

Landscape architect PhD



For engineering architecture
piazzetta lagrange 1 10123 Torino tel +39-011-5628702 tech@for-arch.com
coordinamento
roberto mancini



Rina Consulting S.p.A.

Via Cecchi, 6 – 16129 GENOVA – ITALIA

tel. +39 010 31961

info@rina.org

<http://www.rinagroup.org>

Technical Director

Alessandro Odasso

Project Manager

Antonio De Ferrari, Alessandra Canale

Investment Analyst

Cristina Migliaro

Structural Engineers

Alaeddine Fatnassi, Simone Caffè, Alex Riolfo (AREA)

Geotechnical Engineers

Roberto Pedone, Luca Buraschi, Veronica Minardi (CEAS)

Sustainability, Energy Efficiency, LEED

Fabrizio Tavaroli, Eva Raggi

MEP

Diego Rattazzi, Andrea Guerra, Fabio Mantelli, Igor Ruscelli

Roads and Parkings

Nunzio Piscichio, Andrea Marengo

Environment

Pierluigi Guiso

H&S

Federico Barabino

Security

Giovanni Napoli, Davide Zanardi

BIM Manager

Fabio Figini, Michela Cirelli

Legal

Avv. Luigi Cocchi

Rev	Data	Verificato	Approvato	Oggetto Revisione
0	17/10/2022	DRA02	RINA / AO	Progetto esecutivo

INDICE

	Pag.	
1	PREMESSA	4
2	OBIETTIVI E STRUTTURA DEL DOCUMENTO	5
3	NORMATIVA	5
3.1	LEGISLAZIONE GENERALE	5
3.2	LEGISLAZIONE TECNICA	5
4	DATI E ORIGINE IMPIANTO	7
5	CLASSIFICAZIONE DEI LOCALI	7
6	CALCOLI E VERIFICHE EFFETTUATE	8
6.1	CALCOLO DELLE CORRENTI DI IMPIEGO	8
6.2	DIMENSIONAMENTO DEI CAVI	9
6.2.1	Integrale di Joule	10
6.2.2	Dimensionamento dei conduttori di neutro	11
6.2.3	Dimensionamento dei conduttori di protezione	11
6.2.4	Calcolo della temperatura dei cavi	12
6.2.5	Cadute di tensione	12
6.3	CALCOLO DEI GUASTI	13
6.3.1	Calcolo delle correnti massime di cortocircuito	13
6.3.2	Calcolo delle correnti minime di cortocircuito	15
6.4	SCELTA DELLE PROTEZIONI	16
6.5	VERIFICA DELLA PROTEZIONE A CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE	17
6.6	VERIFICA DI SELETTIVITÀ	17
7	ALLEGATI CALCOLI E VERIFICHE	18

1 PREMESSA

Ravenna Civitas Cruise Port (RCCP) è una società a capitale pubblico e privato costituita come concessionaria per l'esercizio del futuro terminal crociere di Ravenna.

L'investimento comprenderà:

- La zona pavimentata subito antistante il Terminal, dotata di pensilina
- L'edificio "Terminal" avente funzione di check in e sbarco passeggeri
- I volumi commerciali (chioschi) dotati di pergolato
- Il sistema passerella con 5 magazzini sottostanti ed i sottoservizi di banchina
- Il sistema PBB che collega sul molo la passerella con la nave (oggetto di un'altra gara d'appalto)
- I parcheggi, le strade di accesso, le aree verdi retrostanti il Terminal, i relativi servizi (oggetti di un'altra gara d'appalto)

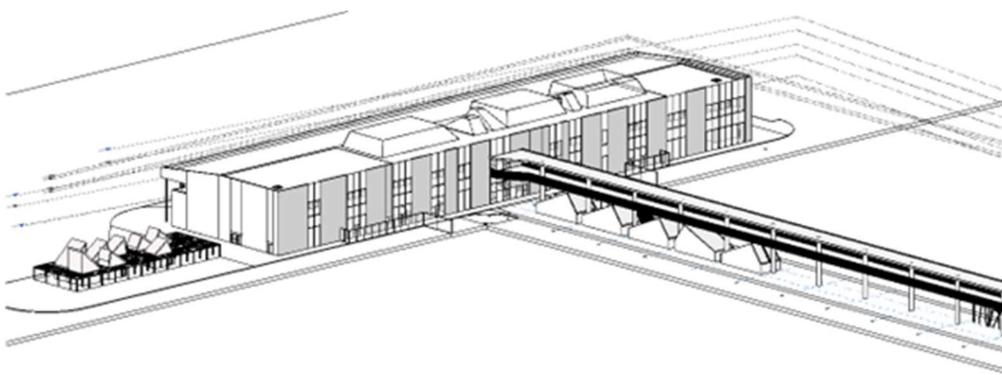


Figura: Terminal, Volumi Commerciali e Passerella



Figure: Vista Aerea

2 OBIETTIVI E STRUTTURA DEL DOCUMENTO

Il presente documento costituisce la Relazione di calcolo degli Impianti elettrici e speciali del Progetto Esecutivo.

Gli impianti oggetto dell'intervento sono suddivisibili in:

- ✓ Impianti elettrici e speciali Terminal, banchina e passerella
- ✓ Impianti elettrici e speciali Volumi Commerciali

3 NORMATIVA

3.1 LEGISLAZIONE GENERALE

Il Sistema elettrico è progettato, costruito, e provato in accordo alle vigenti normative di:

- ✓ CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano);
- ✓ IEC (International Electrical Commission);
- ✓ IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineer).

con particolare riferimento alle seguenti norme:

- ✓ Legge 186/68 – Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni ed impianti elettrici ed elettronici;
- ✓ D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81, Testo coordinato con il D.lgs. 3 agosto 2009, n. 106, testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro
- ✓ Norme di unificazione UNI-CEI;
- ✓ Direttiva Compatibilità Elettromagnetica CEE 89/336 (EMC directive), 91/263, 92/31 e 93/68;
- ✓ Direttiva Bassa Tensione CEE 73/23 e agg. 93/68;
- ✓ Norme CEI 64-50 Guida per l'integrazione nell'edificio degli impianti elettrici utilizzatori, ausiliari e telefonici;
- ✓ Direttiva sulle apparecchiature terminali per Telecom etc. (CEE 92/263);
- ✓ Direttiva 93/68/CEE Procedure di valutazione della conformità e marcatura CE;
- ✓ Decr. Lgs. n. 615 del 12 novembre 1996 "Attuazione della direttiva 89/336/CEE del Consiglio del 3 maggio 1989, in materia di riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alla compatibilità elettromagnetica";

3.2 LEGISLAZIONE TECNICA

- ✓ CEI 11-17 Linee in cavo
- ✓ CEI 11-28 Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali a bassa tensione
- ✓ CEI 64-12: Guida per la esecuzione dell'impianto di terra per stabilimenti industriali per sistemi di 1°, 2° e 3° categoria;
- ✓ CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1 500 V in corrente continua
- ✓ CEI 64-14 Guida alle verifiche degli impianti elettrici utilizzatori
- ✓ CEI EN 61439-1 Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) – Parte 1 - Regole Generali
- ✓ CEI EN 61439-2 Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) – Parte 2: Quadri di potenza
- ✓ CEI EN 62040-1 Sistemi statici di continuità Parte 1. Prescrizioni generali e di sicurezza

Progetto Esecutivo - Relazione di calcolo impianti elettrici e speciali

- ✓ CEI EN 62040-2 Sistemi statici di continuità (UPS). Requisiti di compatibilità elettromagnetica
- ✓ CEI EN 62040-3 Sistemi statici di continuità (UPS). Metodi di specifica delle prestazioni e prescrizioni di prova.
- ✓ CEI EN 60529 Gradi di protezione degli involucri (Codice IP);
- ✓ CEI 81-1: Protezione delle strutture contro i fulmini;
- ✓ CEI 81-2: Guida alla verifica degli impianti di protezione contro i fulmini;
- ✓ CEI 81-3: Valori medi del numero di fulmini a terra per anno e per km² nei comuni d'Italia in ordine alfabetico;
- ✓ CEI 81-4: Valutazione del rischio dovuto ai fulmini;
- ✓ CEI 81-8: Limitatori di sovratensione;
- ✓ CEI 81-30 Protezione contro i fulmini - Reti di localizzazione fulmini (LLS) - Linee guida per l'impiego di sistemi LLS per l'individuazione dei valori di Ng (Norma CEI EN 62305-2)
- ✓ CEI EN 62305 Protezione delle strutture contro i fulmini
- ✓ CEI 81-29 Linee guida per l'applicazione delle Norme CEI EN 62305
- ✓ UNI 11248 Illuminazione stradale
- ✓ UNI 10819: Luce e illuminazione - Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso
- ✓ UNI EN 12464-1 Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni
- ✓ CEI EN 60598-1 Apparecchi di illuminazione. Parte 1: Prescrizioni generali e prove
- ✓ CEI EN 60598-2-22 Apparecchi di illuminazione. Parte 2-22: Prescrizioni particolari – Apparecchi di emergenza
- ✓ CEI EN 61000-2-4 Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 2-4: Ambiente - Livelli di compatibilità per disturbi condotti in bassa frequenza negli impianti industriali
- ✓ CEI EN 61000-6-2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 6-2: Norme generiche - Immunità per gli ambienti industriali
- ✓ CEI EN 61000-6-4 Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 6-4: Norme generiche - Emissione per gli ambienti industriali
- ✓ CEI UNEL 00722 Identificazione delle anime dei cavi
- ✓ CEI EN 61386-1 Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche. - Parte 1: prescrizioni generali
- ✓ CEI 20-21: Calcolo delle portate dei cavi elettrici;
- ✓ CEI 20-22 Prove di incendio sui cavi elettrici
- ✓ CEI 20-35: Metodi di prova comuni per cavi in condizioni di incendio - Prova di non propagazione verticale della fiamma su un singolo conduttore o cavo isolato;
- ✓ CEI 20-36 Prova di resistenza al fuoco dei cavi elettrici
- ✓ CEI 20-38 Cavi isolati con gomma non propaganti l'incendio e a basso sviluppo di fumi, dei gas tossici e corrosivi
- ✓ CEI 7-6 Norme per il controllo della zincatura a caldo per immersione su elementi di materiale ferroso destinati a linee e impianti elettrici
- ✓ CEI EN 50086-2-1/A11 Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche;
- ✓ CEI EN 61386-21 Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche. - Parte 21: prescrizioni particolari per sistemi di tubi rigidi e accessori.
- ✓ CEI EN 61386-22 Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche. - Parte 22: prescrizioni particolari per sistemi di tubi pieghevoli e accessori

- ✓ Tabelle CEI-UNEL unificazioni.
- ✓ CEI EN 61508 - Sicurezza funzionale dei sistemi elettrici, elettronici ed elettronici programmabili per applicazioni di sicurezza.
- ✓ CEI EN 61511 - Sicurezza funzionale: Sistemi strumentali di sicurezza per il settore dell'industria di processo
- ✓ CEI EN 60309-1 - Spine e prese industriali.

4 DATI E ORIGINE IMPIANTO

L'impianto in oggetto avrà differenti forniture; una fornitura MT per il Terminal e diverse forniture BT per i volumi commerciali.

L'origine della nuova fornitura MT dell'Ente Fornitore sarà posta in apposito locale facente parte della nuova cabina MT/BT e avrà, presumibilmente, i seguenti dati caratteristici:

- ✓ Tensione nominale: 20 kV
- ✓ Frequenza nominale: 50 Hz
- ✓ Sistema distributivo: 3F
- ✓ Potenza assorbita: n° 2 trasformatori da 800kVA
- ✓ Corrente nominale: circa 70A

Le nuove forniture BT avranno, presumibilmente, i seguenti dati caratteristici:

- ✓ Tensione nominale: 230/400 V
- ✓ Frequenza nominale: 50 Hz
- ✓ Sistema distributivo: 3F+N per piadineria e slow food e F+N per info-point, crew center e aree commerciali "condominiali"
- ✓ Potenza assorbita: circa 5kW monofase e 15kW trifase

5 CLASSIFICAZIONE DEI LOCALI

Tutti gli ambienti del Terminal oggetto di intervento sono da ritenersi a maggior rischio in caso di incendio.

Tutti gli ambienti dei volumi commerciali sono da ritenersi locali ordinari

6 CALCOLI E VERIFICHE EFFETTUATE

I calcoli e le verifiche effettuate per la redazione del progetto sono:

- ✓ Calcolo corrente di impiego
- ✓ Dimensionamento dei cavi
- ✓ Calcolo dei guasti
- ✓ Scelta e verifica delle protezioni

6.1 CALCOLO DELLE CORRENTI DI IMPIEGO

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

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

nella quale:

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

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

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

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

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

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

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

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

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

La potenza P_n , invece, è la potenza nominale del carico per utenze terminali, ovvero, la somma delle P_d delle utenze a valle ($\square P_d$ 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 ($\square Q_d$ a valle).

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

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

6.2 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).

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.

6.2.1 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

6.2.2 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 portata dello stesso
- 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.

6.2.3 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 (mm²);
- ✓ I è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);
- ✓ t è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);
- ✓ K è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti.

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

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

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

- 2,5 mm² se è prevista una protezione meccanica;
- ✓ 4 mm² 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.

6.2.4 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:

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

espresse in °C.

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

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

6.2.5 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:

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

con:

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

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

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.

6.3 CALCOLO DEI GUASTI

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

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

- ✓ guasto trifase (simmetrico);
- ✓ guasto bifase (disimmetrico);
- ✓ guasto bifase-neutro (disimmetrico);
- ✓ guasto bifase-terra (disimmetrico);
- ✓ guasto fase terra (disimmetrico);
- ✓ guasto fase neutro (disimmetrico).

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

6.3.1 Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo è condotto nelle seguenti condizioni:

- ✓ tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione C_{max} ;
- ✓ 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 m \square risulta:

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

dove $\square T$ 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 con impedenza nota, le componenti della sequenza diretta sono i valori stessi di resistenza e reattanza dell'impedenza.

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

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

$$\begin{aligned} R_{0cavoNeutro} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoNeutro} \\ X_{0cavoNeutro} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

Progetto Esecutivo - Relazione di calcolo impianti elettrici e speciali

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

dove le resistenze R_{dcavo} 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 $m\Omega$:

$$R_d = R_{dcavo} + R_{dmonte}$$
$$X_d = X_{dcavo} + X_{dmonte}$$
$$R_{0Neutro} = R_{0cavoNeutro} + R_{0monteNeutro}$$
$$X_{0Neutro} = X_{0cavoNeutro} + X_{0monteNeutro}$$
$$R_{0PE} = R_{0cavoPE} + R_{0montePE}$$
$$X_{0PE} = X_{0cavoPE} + X_{0montePE}$$

Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

Noti questi parametri vengono calcolate le impedenze (in $m\Omega$) di guasto trifase:

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

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

Fase terra:

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

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase $I_{k\max}$, fase neutro $I_{k1Neutro\max}$, fase terra $I_{k1PE\max}$ e bifase $I_{k2\max}$ espresse in kA:

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

$$I_{k1 \text{Neutr} \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{Neutr} \min}}$$

$$I_{k1 \text{PE} \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{PE} \min}}$$

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

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

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

$$I_{p1 \text{Neutro}} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1 \text{Neutr} \max}$$

$$I_{p1 \text{PE}} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1 \text{PE} \max}$$

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

dove:

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

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

6.3.2 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 si può scegliere tra:

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

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

Isolante	Cenelec R064-003 [°C]	CEI EN 60909-0 [°C]
PVC	70	160

G	85	200
G5/G7/G10/EPR	90	250
HEPR	120	250
serie L rivestito	70	160
serie L nudo	105	160
serie H rivestito	70	160
serie H nudo	105	160

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

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

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

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

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 Ik1min e fase terra, espresse in kA:

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

$$I_{k1 \text{Neutro} \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{Neutro} \max}}$$

$$I_{k1 \text{PE} \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{PE} \max}}$$

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

6.4 SCELTA DELLE PROTEZIONI

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

- ✓ corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- ✓ numero poli;
- ✓ tipo di protezione;
- ✓ tensione di impiego, pari alla tensione nominale della utenza;
- ✓ potere di interruzione, il cui valore dovrà essere superiore alla massima corrente di guasto a monte dell'utenza Ikm 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 (Imag max).

6.5 VERIFICA DELLA PROTEZIONE A CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE

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

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

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

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

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

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

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

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.

6.6 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.

7 ALLEGATI CALCOLI E VERIFICHE

Di seguito si riportano i seguenti allegati di calcolo e verifica:

- Relazione di calcolo protezione fulminazioni
- Verifica linee e protezioni cabina MT/BT
- Verifiche linee e protezioni Terminal
- Verifiche linee e protezioni Volumi Commerciali
- Verifiche linee e protezioni Crew Center
- Verifiche linee e protezioni Info Point
- Verifiche linee e protezioni Piadineria
- Verifiche linee e protezioni Slow food

Committente



Progettista Definitivo ed Esecutivo



Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto dei Proponenti.