

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



## INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

### TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO DEFINITIVO

## GENERALI IMPIANTO IDRICO ANTINCENDIO – CONTROLLO FUMI PARTE ELETTRICA Relazione di Calcolo

GENERAL CONTRACTOR	ITALFERR S.p.A.
 Consorzio Cociv Project Manager (Ing. Guagnozzi)	
Data: 07/06/2012	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 0	D	C V	C L	A I 0 0 0 X	0 0 1	F

Progettazione :								IL PROGETTISTA
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
E00	Adeguamento sicurezza in galleria	Ing. F. Fantinato	16/03/2012	Ing. I. Barilli	20/03/2012	Ing. E. Pagani	23/03/2012	
F00	A301D18ISLF0000003A del 18/05/2012	Ing. F. Fantinato	04/06/2012	Ing. I. Barilli	06/06/2012	Ing. E. Pagani	07/06/2012	
								Data: 07/06/2012

n. Elab.:	File: A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
-----------	---

CUP: F81H92000000008

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 2 di 48

## INDICE

INDICE .....	2
1. GENERALITA' .....	3
2. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO .....	4
3. IPOTESI E CRITERI PROGETTUALI.....	5
4. STIMA COMPLESSIVA DELLE POTENZE .....	5
5. DIMENSIONAMENTO LINEE BT .....	11
5.1 CALCOLO DELLE CORRENTI D'IMPIEGO.....	11
5.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA A SOVRACCARICO DEI CAVI .....	12
5.2.1 GENERALITÀ .....	12
5.2.2 MODALITÀ DI POSA .....	14
5.2.3 DETERMINAZIONE DELLA PORTATA .....	20
5.2.4 DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI NEUTRO .....	31
5.2.5 DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI PROTEZIONE .....	31
5.2.6 CALCOLO DELLA TEMPERATURA DEI CAVI.....	32
5.3 CADUTE DI TENSIONE .....	32
5.4 CALCOLO DELLE CORRENTI DI GUASTO.....	35
5.4.1 MODELLIZZAZIONE DELLE APPARECCHIATURE IN RETE .....	35
5.4.2 CALCOLO DELLE CORRENTI MASSIME DI CORTOCIRCUITO.....	40
5.4.3 CALCOLO DELLE CORRENTI MINIME DI CORTOCIRCUITO .....	43
5.5 VERIFICA DELLA PROTEZIONE CONTRO IL CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE .....	44
5.5.1 GENERALITÀ .....	44
5.5.2 INTEGRALE DI JOULE .....	45
5.5.3 MASSIMA LUNGHEZZA PROTETTA .....	46
5.6 VERIFICA CONTATTI INDIRETTI.....	47
5.6.1 SISTEMA DI DISTRIBUZIONE TN.....	47

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC</p> <p>Foglio 3 di 48</p>

## 1. GENERALITA'

Il presente documento costituisce la relazione di calcolo, del progetto definitivo, relativo agli impianti elettrici di potenza da realizzare nelle gallerie della linea ferroviaria A.V./A.C. Terzo Valico dei Giovi (MI-GE), dedicati ad alimentare principalmente le seguenti utenze:

- elettropompe del sistema Idrico Antincendio.
- sistema di ventilazione dei Pozzi di ventilazione in galleria.
- sistema di ventilazione delle Finestre.
- sistema di controllo fumi dei By-pass.

Le caratteristiche dell'infrastruttura ferroviaria sono le seguenti:

- Linea principale, denominata del 3° Valico dei Giovi da Genova a Tortona.
- Interconnessioni Lato Liguria.
- Interconnessioni Lato Piemonte.

Tutte le utenze utilizzano la tensione di esercizio pari a 400 Va.c 3F+T+N e/o 230 Va.c F+T+N e ricevono l'alimentazione elettrica dalle cabine LF poste sia in finestra/camerone, sia nei fabbricati di sicurezza esterni.

Nello schema a blocchi generale del sistema rif. A301-00-D-CV-DX-AI000X-005 sono identificate in modo grafico e immediato le relative utenze alimentate.

Nell'elaborato rif. A301-00-D-CV-PX-AI-00-0-X-004 "Impianto Idrico Antincendio - Controllo Fumi - Parte Elettrica - Tratta Complessiva - Schematico quadri elettrici e cabine di alimentazione", sono riportate, in forma schematica le posizioni delle cabine per le in oggetto e sono inoltre riportati tutti i quadri principali di alimentazione gli impianti previsti.

I criteri alla base della progettazione degli impianti in oggetto si possono così elencare:

- sicurezza degli operatori, degli utenti e degli impianti;
- semplicità ed economia di manutenzione;
- scelta di apparecchiature improntata a criteri di elevata qualità, semplicità e robustezza, per sostenere le condizioni di lavoro più gravose;
- risparmio energetico;
- affidabilità degli impianti e massima continuità di servizio.

Il presente documento, relativamente ai calcoli dimensionali degli impianti di Bassa Tensione (BT), intende evidenziare:

- la normativa tecnica utilizzata per il dimensionamento;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC</p>	<p>Foglio 4 di 48</p>

- i criteri di dimensionamento, tenendo conto dei vincoli impiantistici e della normativa vigente;
- i dati tecnici di ingresso;
- i risultati dei calcoli dimensionali e/o delle verifiche di calcolo necessarie per la definizione degli impianti stessi;
- i software di calcolo utilizzati per le verifiche (versione e data di compilazione).

In particolare, sono descritti in generale i principali metodi di calcolo e di verifica, riportando le prescrizioni indicate dalla normativa in uso. Talvolta nei casi specifici, qualora sia necessario, potranno essere introdotte opportune ipotesi semplificative.

I risultati delle verifiche di impianto, ottenute con software commerciale o tramite fogli di calcolo, sono riportati negli allegati, a cui dovrà essere fatto riferimento anche per le sigle e la simbologia adottata.

Per ulteriori dettagli sulle caratteristiche delle apparecchiature scelte, si rimanda agli elaborati grafici relativi.

## 2. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

Nello sviluppo del progetto esecutivo delle opere impiantistiche descritte nel presente documento sono stati considerati, in particolare, i seguenti riferimenti:

- CEI 11-25 2001 II Ed. (IEC 60909-2001): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- CEI 11-28 1993 I Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIII Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 23-3/1 I Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI 33-5 I 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 VI Ed. 2007: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52: 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC</p> <p>Foglio 5 di 48</p>

- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI EN 50272: Prescrizioni di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazioni.
- IEC 60287: Electric cables - Calculation of the current rating.

### 3. IPOTESI E CRITERI PROGETTUALI

Le ipotesi progettuali su cui si basa il progetto degli impianti elettrici in oggetto sono i seguenti:

- disponibilità di alimentazioni elettriche di potenza, derivate dai quadri BT SATURNO, di tipo 3F+N con tensione di esercizio di 400Va.c.
- disponibilità di alimentazioni elettriche in continuità assoluta, per i quadri dei bypass, derivate dai quadri BT SATURNO, di tipo 1F+N con tensione di esercizio di 230 Va.c.
- sistema di distribuzione tipo TN-S dalla cabina elettrica di derivazione (o locale tecnico nel caso dei By-Pass)
- frequenza 50 Hz.
- corrente massima di corto circuito presunta (valide per la scelta del potere di interruzione dei dispositivi di protezione) secondo quanto segue:
  - $\leq 15$  kA per i quadri asserviti ai By-Pass (derivati quadri installati nei locali tecnici relativi);
  - $\leq 40$  kA i tutti gli altri quadri (derivati dai rispettivi Power Center BT in cabina SATURNO);
- impianto di terra con collettore di terra locale (di fornitura SATURNO), nei pressi di ciascun quadro elettrico.

### 4. STIMA COMPLESSIVA DELLE POTENZE

I calcoli di progetto saranno eseguiti facendo riferimento alle seguenti dati di carico.

In particolare, nelle tabelle che seguono, sono riportate, per ogni locazione, le diverse tipologie di utenza, la potenza assorbita e richiesta al quadro elettrico SATURNO.

Utenza	Pk./locazione	Tipo di utenza	Pn totale [kW]	N° utenze	P elettrica assorbita dalla singola utenza principale [kW]	Progressiva (rif. BP) Cabina SATURNO	Denominazione cabina di attestazione SATURNO	P singola partenza da Quadro SATURNO [kW]	N° partenze da Quadro Elettrico SATURNO	Vn partenze da Quadro Elettrico SATURNO [V]	N° quadri GC	Nome Quadro elettrico GC	P "CA" da SATURNO [kW]	Vn partenze "CA" da Quadro Elettrico SATURNO [V]	P "CA" da UPS GC [kW]	Taglia UPS GC [kVA]
<b>INTERCONNESSIONE III VALICO-VOLTRI</b>																
Centrale antincendio Finestra Borzoli	0+300 BD	Elettropompe	65	2+2R	30	0+550	Cabina 2	30	2	400	1	QE.AI2				
		Servizi ausiliari GC	15	1+R	35			35	2	400	1	QE.AI2			1,94	3
Pozzo di ventilazione 1	0+550 BD	Elettroventilatori	800	2+2R	400	0+550	Cabina 2	2x400	4	400	2	QE.PV				
		Servizi ausiliari GC	35	1+R	-			35	2	400	1	QE.PV.SA			1,94	3
Pozzo di ventilazione 3	2+176 BP	Elettroventilatori	800	2+2R	400	2+180	Cabina 5	2x400	4	400	2	QE.PV				
		Servizi ausiliari GC	35	1+R	-			35	2	400	1	QE.PV.SA			1,94	3
Pozzo di ventilazione 4	4+195 BD	Elettroventilatori	800	2+2R	400	4+195	Cabina 6	2x400	4	400	2	QE.PV				
		Servizi ausiliari GC	35	1+R	-			35	2	400	1	QE.PV.SA			1,94	3
By-pass tipo 1	n°4 passo 500 m	Elettroventilatori	35	2x(1+1R)	Massimo 15 Minimo 1,7		Locale tecnico in by-pass	35 (15*2+5[aux])	8	400	8	QE.B-P.1	0,45	230		
By-pass tipo 2	n°4 passo 500 m	Elettroventilatori	35	2x(1+1R)	Massimo 15 Minimo 1,7		Locale tecnico in by-pass	35 (15*2+5[aux])	8	400	8	QE.B-P.2	0,45	230		

Utenza	Pk./locazione	Tipo di utenza	Pn totale [kW]	N° utenze		Progressiva (rif. BP) Cabina SATURNO	Denominazione cabina di attestazione SATURNO	P singola partenza [kW]	N° partenze da Power Center SATURNO	Vn partenze SATURNO [V]	N° quadri	Nome Quadro elettrico	P "CA" da SATURNO [kW]	Vn partenze "CA" da Quadro Elettrico SATURNO [V]	P "CA" da UPS GC [kW]	Taglia UPS GC [kVA]
<b>GALLERIA III VALICO</b>																
Centrale antincendio Fegino	0+270	Elettropompe	50	1+1R	50	0+300	Cabina PJ.2 bivo Fegino/III Valico	50	2	400	1	QE.AI3				
		Servizi ausiliari GC	15	1+R	-			15	2	400	1	QE.AI.SA			1,94	3
Pozzo di ventilazione 2	1+841	Elettroventilatori	800	2+2R	400	1+840	Cabina 4	2x400	4	400	2	QE.PV				
		Servizi ausiliari GC	35	1+R	-			35	2	400	1	QE.PV.SA			1,94	3
Centrale antincendio Finestra Polcevera	5+197	Elettropompe	40	2+2R	20	5+200	Cabina 7	20	2	400	1	QE.AI1				
		Servizi ausiliari GC	15	1+R	20			20	2	400	1	QE.AI1			1,94	3
Ventilazione Igienica Finestra Polcevera	5+197	Elettroventilatori	195	110 kW, 1+1R da 50 kW, 1+1R da 35 Kw	110	5+200	Cabina 7	110	2	400	1	QE.VF				
					50			50	2	400	1	QE.VE				
		35	35	2	400			1	QE.VS							
		Servizi ausiliari GC	15	1+R	-			15	2	400	1	QE.VE.SA			2,34	3
Centrale antincendio Finestra Cravasco	10+284	Elettropompe	75	2+2R	50	10+290	Cabina 11	50	2	400	1	QE.AI3				
		Servizi ausiliari GC	15	1+R	25			25	2	400	1	QE.AI1			1,94	3
Ventilazione Igienica Finestra Cravasco	10+290	Elettroventilatori	195	110 kW, 1+1R da 50 kW, 1+1R da 35 Kw	110	10+290	Cabina 11	110	2	400	1	QE.VF				
					50			50	2	400	1	QE.VE				
		35	35	2	400			1	QE.VS							
		Servizi ausiliari GC	15	1+R	-			15	2	400	1	QE.VE.SA			2,34	3
Ventilazione Igienica Finestra Castagnola	14+830	Elettroventilatori	195	110 kW, 1+1R da 50 kW, 1+1R da 35 Kw	110	14+830	Cabina 14	110	2	400	1	QE.VF				
					50			50	2	400	1	QE.VE				
		35	35	2	400			1	QE.VS							
		Servizi ausiliari GC	15	1+R	-			15	2	400	1	QE.VE.SA			2,34	3
Pozzo di ventilazione 5	27+500	Elettroventilatori	800	2	400	27+500	Cabina 22	2x400	2	400	1	QE.PV				
		Servizi ausiliari GC	35	1+R	-			35	2	400	1	QE.PV.SA			1,94	3
By-pass tipo 3	n°3 passo 500 m	Elettroventilatori	25	2+1R	Massimo 10 Minimo 2		Locale tecnico in by-pass	25 (10*2+5[aux])	53	400	53	QE.B-P.3	0,45	230		

Utenza	Pk./locazione	Tipo di utenza	Pn totale [kW]	N° utenze		Progressiva (rif. BP) Cabina SATURNO	Denominazione cabina di attestazione SATURNO	P singola partenza [kW]	N° partenze da Power Center SATURNO	Vn partenze SATURNO [V]	N° quadri	Nome Quadro elettrico	P "CA" da SATURNO [kW]	Vn partenze "CA" da Quadro Elettrico SATURNO [V]	P "CA" da UPS GC [kW]	Taglia UPS GC [kVA]
<b>GALLERIA SERRAVALLE</b>																
Centrale antincendio Serravalle SUD	29+475	Elettropompe	20	1+1R	20	29+480	Cabina 23	20	2	400	1	QE.AI1				
		Servizi ausiliari GC	15	-	-			15	2	400	1	QE.AI.SA			1,94	3
Pozzo di ventilazione 6	30+565	Elettroventilatori	800	2+2R	400	30+570	Cabina 24	2x400	4	400	2	QE.PV				
		Servizi ausiliari GC	35	1+R	-			35	2	400	1	QE.PV.SA			1,94	3
By-pass tipo 3	n°3 passo 500 m	Elettroventilatori	25	2+1R	Massimo 10 Minimo 2		Locale tecnico in by-pass	25 (10*2+5[aux])	13	400	13	QE.B-P.3	0,45	230		
Centrale antincendio Serravalle NORD	36+650 BD	Elettropompe	40	1+1R	40	36+650	Cabina 27	40	2	400	1	QE.AI3				
		Servizi ausiliari GC	15	1+R	-			15	2	400	1	QE.AI.SA			1,94	3

Per i quadri servizi ausiliari, secondo quanto indicato nelle tabelle precedenti, si riporta il dettaglio in seguito:

Quadro elettrico QE.AI.SA

<b>Ausiliari centrale antincendio tipo</b>				
	<b>n</b>	<b>P [kW]</b>	<b>Pt [kW]</b>	<b>tipo</b>
Pompa di compenso	1	4.00	4.00	3P
Aeroterma	1	3.00	3.00	3P
Ventilazione locale	1	1.50	1.50	3P
Misuratore portata	1	0.10	0.10	1P+N
Cavi scaldanti	1	2.00	2.00	1P+N
Misuratore livello	1	0.05	0.05	1P+N
Ventilazione QE..SA	1	0.05	0.05	1P+N
Scaldiglie QE..SA	1	0.05	0.05	1P+N
UPS (sezione continuità assoluta)	1	1.76	1.76	1P+N
kc*ku			0.80	
<b>Totale</b>			<b>10.01</b>	

Quadro elettrico QE.PV.SA

<b>Ausiliari Pozzo</b>				
	<b>n</b>	<b>P [kW]</b>	<b>Pt [kW]</b>	<b>tipo</b>
Serranda	12	0.19	2.24	3P
Ventilazione locale inverter	2	3.00	6.00	3P
Centralina vibrazioni	2	0.50	1.00	1P+N
Aux Inv 1	1	1.00	1.00	1P+N
Aux Inv 2	1	1.00	1.00	1P+N
Aux Inv 3	1	1.00	1.00	1P+N
Aux Inv 4	1	1.00	1.00	1P+N
Ventilazione QE..SA	1	0.05	0.05	1P+N
Scaldiglie QE..SA	1	0.05	0.05	1P+N
Anemometri	2	0.01	0.02	1P+N
UPS (sezione continuità assoluta)	1	1.76	1.76	1P+N
kc*ku			1.00	
<b>Totale</b>			<b>15.12</b>	

Quadro elettrico QE.VE.SA

<b>Ausiliari Finestra tipo</b>				
	<b>n</b>	<b>P [kW]</b>	<b>Pt [kW]</b>	<b>tipo</b>
Serranda	0	0.19	-	3P
Serranda piccola	14	0.10	1.40	1P+N
Ventilazione locale inverter	2	1.50	3.00	3P
Carroponte	1	5.00	5.00	3P+N
Centralina vibrazioni	2	0.50	1.00	1P+N
Ventilazione QE..SA	1	0.05	0.05	1P+N
Scaldiglie QE..SA	1	0.05	0.05	1P+N
Anemometri	2	0.01	0.02	1P+N
UPS (sezione continuità assoluta)	1	2.08	2.08	1P+N
kc*ku			1.00	
<b>Totale</b>			<b>12.60</b>	

Per la sezione servizi ausiliari dei quadri QE.B-Px, secondo quanto indicato nelle tabelle precedenti, si riporta il dettaglio in seguito:

### Quadro elettrico QE.B-Px

<b>Ausiliari QE.B-P - sezione normale</b>				
	<b>n</b>	<b>P [kW]</b>	<b>Pt [kW]</b>	<b>tipo</b>
Serranda piccola	7	0.10	0.10	1P+N
Ventilazione QE.B-P	1	0.05	0.05	1P+N
Scaldiglie QE.B-P	1	0.05	0.05	1P+N
kc*ku			1.00	
<b>Totale</b>			<b>0.8</b>	

<b>Ausiliari QE.B-P - sezione continuità assoluta</b>				
	<b>n</b>	<b>P [kW]</b>	<b>Pt [kW]</b>	<b>tipo</b>
PLC	1	0,05	0,05	1P+N
Aux QE.B-P	1	-	0,32	1P+N
Semaforo LED	2	0,02	0,04	1P+N
Elettromagnete	2	0,02	0,04	1P+N
kc*ku			1.00	
<b>Totale</b>			<b>0,45</b>	

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 11 di 48

## 5. DIMENSIONAMENTO LINEE BT

### 5.1 CALCOLO DELLE CORRENTI D'IMPIEGO

Per i carichi o utenze presenti nell'impianto la corrente d'impiego è calcolata dalla formula seguente, sulla base della potenza realmente assorbita:

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

nella quale:

- $P_d$  = Potenza effettivamente assorbita dal carico
- $V_n$  = Tensione nominale del sistema
- $\cos \varphi$  = Fattore di potenza
- $k_{ca}$  = fattore dipendente dal sistema di collegamento
- $k_{ca} = 1$  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 ( $\Sigma P_d$  a valle) per utenze di distribuzione (somma vettoriale).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 12 di 48

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 ( $\Sigma Q_d$  a valle).

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

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

## 5.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA A SOVRACCARICO DEI CAVI

### 5.2.1 GENERALITÀ

Di seguito sono illustrati i criteri di dimensionamento e verifica dei cavi e delle relative protezioni, in relazione alle correnti di sovraccarico.

Il riferimento è la Norma CEI 64-8/4 (par. 433.2), secondo la quale il dispositivo di protezione deve essere coordinato con la conduttura in modo da verificare le condizioni:

- a)  $I_b \leq I_n \leq I_z$
- b)  $I_f \leq 1.45 \cdot I_z$

dove:

- $I_b$  = Corrente di impiego del circuito
- $I_n$  = Corrente nominale del dispositivo di protezione
- $I_z$  = Portata in regime permanente della conduttura
- $I_f$  = Corrente di funzionamento del dispositivo di protezione

Affinché sia verificata 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC</p> <p>Foglio 13 di 48</p>

L'individuazione della portata si effettua utilizzando le seguenti tabelle di posa assegnate ai cavi:

- CEI 64-8 Tabella 52C (esempi di condutture);
- CEI-UNEL 35024/1 (portata dei cavi isolati in PVC ed EPR);
- CEI-UNEL 35026 (portata dei cavi interrati);

Esse oltre a riportare la corrente ammissibile (portata) 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:

$$I_{z\min} = \frac{I_n}{k_{tot}}$$

dove il coefficiente  $k_{tot}$  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.

Laddove necessario, saranno posti dei vincoli cautelativi, sui coefficienti di declassamento utilizzati.

La sezione viene scelta in modo che la sua portata (ricavata dalla tabella) 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.

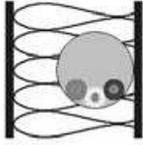
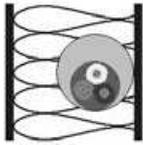
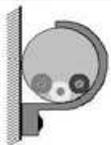
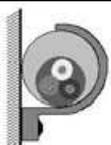
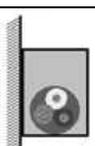
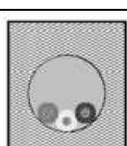
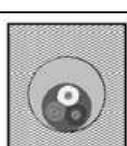
Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

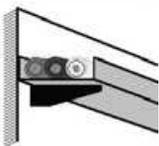
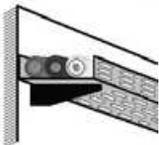
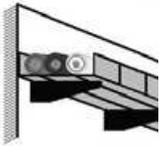
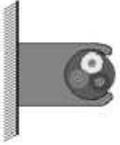
Nei capitoli che seguono sono specificate le modalità di posa contemplate dalla Norma CEI 64-8, le tabelle ricavate dalle norme di cui sopra e i diversi metodi per la determinazione della portata.

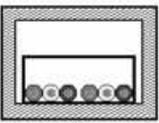
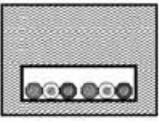
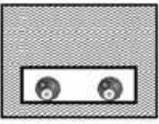
<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC</p>	<p>Foglio 14 di 48</p>

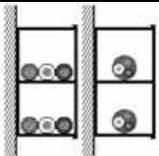
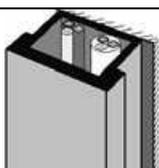
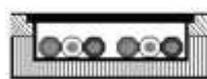
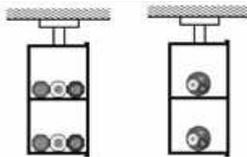
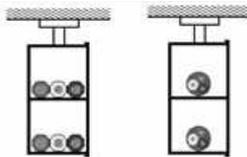
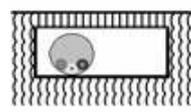
## 5.2.2 MODALITÀ DI POSA

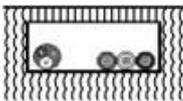
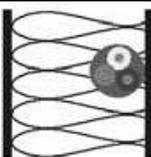
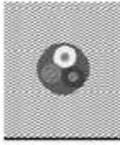
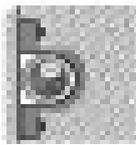
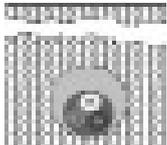
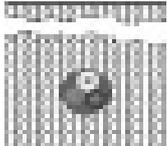
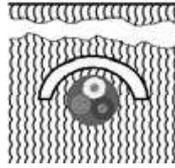
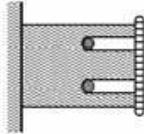
Con riferimento alla norma CEI 64-8/5, le tipologie di installazione previste sono riportate nella tabella seguente:

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	1	cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati entro muri termicamente isolati
	2	cavi multipolari in tubi protettivi circolari posati entro muri termicamente isolati
	3	cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati su o distanziati da pareti
	3A	cavi multipolari in tubi protettivi circolari posati su o distanziati da pareti
	4	cavi senza guaina in tubi protettivi non circolari posati su pareti
	4A	cavi multipolari in tubi protettivi non circolari posati su pareti
	5	cavi senza guaina in tubi protettivi annegati nella muratura
	5A	cavi multipolari in tubi protettivi annegati nella muratura

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	11	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, posati su o distanziati da pareti
	11A	cavi multipolari (o unipolari con guaina) con o senza armatura fissati su soffitti
	12	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle non perforate
	13	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle perforate con percorso orizzontale o verticale
	14	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su mensole
	15	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, fissati da collari
	16	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle a traversini
	17	cavi unipolari con guaina (o multipolari) sospesi a od incorporati in fili o corde di supporto

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	18	conduttori nudi o cavi senza guaina su isolanti
	21	cavi multipolari (o unipolari con guaina) in cavità di strutture
	22	cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari posati in cavità di strutture
	22A	cavi multipolari (o unipolari con guaina) in tubi protettivi circolari posati in cavità di strutture
	23	cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari posati in cavità di strutture
	24	cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari annegati nella muratura
	24A	cavi multipolari (o unipolari con guaina), in tubi protettivi non circolari annegati nella muratura
	25	cavi multipolari (o unipolari con guaina) posati in: controsoffitti pavimenti sopraelevati

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	31	cavi senza guaina e cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali posati su parete con percorso orizzontale
	32	cavi senza guaina e cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali posati su parete con percorso verticale
	33	cavi senza guaina posati in canali incassati nel pavimento
	33A	cavi multipolari posati in canali incassati nel pavimento
	34	cavi senza guaina in canali sospesi
	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
	42	cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati entro cunicoli ventilati incassati nel pavimento

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	43	cavi unipolari con guaina e multipolari posati in cunicoli aperti o ventilati con percorso orizzontale e verticale
	51	cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati direttamente entro pareti termicamente isolanti
	52	cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati direttamente nella muratura senza protezione meccanica addizionale
	53	cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati nella muratura con protezione meccanica addizionale
	61	cavi unipolari con guaina e multipolari in tubi protettivi interrati od in cunicoli interrati
	62	cavi multipolari (o unipolari con guaina) interrati senza protezione meccanica addizionale
	63	cavi multipolari (o unipolari con guaina) interrati con protezione meccanica addizionale
	71	cavi senza guaina posati in elementi scanalati

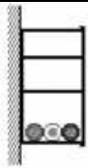
ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	72	<p>cavi senza guaina (o cavi unipolari con guaina o cavi multipolari) posati in canali provvisti di elementi di separazione:</p> <p>circuiti per cavi per comunicazione e per elaborazione dati</p>
	73	<p>cavi senza guaina in tubi protettivi o cavi unipolari con guaina (o multipolari) posati in stipiti di porte</p>
	74	<p>cavi senza guaina in tubi protettivi o cavi unipolari con guaina (o multipolari) posati in stipiti di finestre</p>
	75	<p>cavi senza guaina, cavi multipolari o cavi unipolari con guaina in canale incassato</p>
	81	<p>cavi multipolari immersi in acqua</p>

Tabella 1 - Esempi di condutture (rif. CEI 64-8 tab.5C)

Le figure riportate sono solo indicative dei metodi di installazione descritti, ma non rappresentano la reale messa in opera.

### 5.2.3 DETERMINAZIONE DELLA PORTATA

#### 5.2.3.1 Cavi isolati in PVC ed EPR (CEI-UNEL 35024/1)

Per la determinazione della portata dei cavi in rame isolati in materiale elastomerico o termoplastico si fa riferimento alla tabella CEI-UNEL 35024/1.

La norma non prende in considerazione i cavi con posa interrata, in acqua o i cavi posti all'interno di apparecchi elettrici o quadri e cavi per rotabili o aeromobili.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC</p> <p>Foglio 21 di 48</p>

In particolare:

il coefficiente  $k_{tot}$  è ottenuto dal prodotto dei coefficienti  $k_1$  e  $k_2$  ricavati da Tabella 3, Tabella 4, Tabella 5, Tabella 6;

la portata nominale è ricavata da Tabella 7 e Tabella 8 in relazione al numero della posa (secondo CEI 64-8/5), all'isolante e al numero di conduttori attivi (riferita a 30°C).

$k_1$  è il coefficiente di correzione relativo alla temperatura ambiente

$k_2$  è il coefficiente di correzione per i cavi in fascio, in strato o su più strati.

Il coefficiente  $k_2$  si applica ai cavi del fascio o dello strato aventi sezioni simili (rientranti nelle tre sezioni unificate adiacenti) e uniformemente caricati.

Qualora  $K_2$  non sia applicabile, è sostituito dal coefficiente  $F$ :

$$F = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

dove  $n$  è il numero di cavi che compongono il fascio:

<b>n</b>	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>F</b>	1	0.71	0.57	0.5	0.44	0.41	0.37	0.35

Tabella 2 - Fattore di correzione per conduttori in fascio  $F$

Temperatura [°C]	PVC	EPR
10	1,22	1,15
15	1.17	1.12
20	1.12	1.08
25	1.06	1.04
30	1.00	1.00
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	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Tabella 3 - Influenza della temperatura k1

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
11/12/2025	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 perforate)	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 graffiato ad un sostegno	1	0,87	0,82	0,8	0,8	0,79	0,79	0,78	0,78			

Tabella 4 - Circuiti realizzati con cavi in fascio o strato k2

n° 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	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
			3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
		posa distanziata	2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	
			3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	
13	passerelle perforate verticali	posa ravvicinata	2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
		posa distanziata	2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	
14-15-16-17	scala posa cavi elemento di sostegno	posa ravvicinata	2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
			3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
		posa distanziata	2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	
			3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	

Tabella 5 - Circuiti realizzati con cavi multipolari in strato su più supporti (es. passerelle) k2

Per posa distanziata si intendono cavi posizionati:

ad una distanza almeno doppia del loro diametro in caso di cavi unipolari

ad una distanza almeno pari alloro diametro in caso di cavi multipolari.

Se i cavi sono installati ad una distanza superiore a quella sopra indicata il fattore correttivo per circuiti in fascio non si applica ( $k_2 = 1$ ).

Nelle pose su passerelle orizzontali o su scala posa cavi, i cavi devono essere posizionati ad una distanza dalla superficie verticale (parete) maggiore o uguale a 20 mm.

n° posa CEI 64-8		numero d circuiti trifasi				utilizzato per
		numero di passerelle	1	2	3	
13	passerelle perforate	2	0,96	0,87	0,81	3 cavi in formazione orizzontale
		3	0,95	0,85	0,78	
13	passerelle perforate	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	0,90	0,86	
13	passerelle perforate	2	0,97	0,93	0,89	3 cavi in formazione a trefolo
		3	0,96	0,92	0,86	
13	passerelle perforate	2	1,00	0,90	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	

Tabella 6 - Circuiti realizzati con cavi unipolari in strato su più supporti k2

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC</p>	<p>Foglio 24 di 48</p>

Nelle pose su passerelle orizzontali o su scala posa cavi, i cavi devono essere posizionati ad una distanza dalla superficie verticale (parete) maggiore o uguale a 20 mm. Le terne di cavi in formazione a trefolo si intendono disposte ad una distanza maggiore di due volte il diametro del singolo cavo unipolare.

Metodi di install.	Altri tipi di posa della CEI 64-8	Isol.	n° conduttori caricati	Portata [A]																500	630		
				Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]																			
				1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240			300	400
cavi in tubo incassato in parete isolante	1-51-71-73-74	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	-	-	-	-
			2	-	19	26	35	45	61	81	106	131	158	200	241	278	318	362	424	-	-	-	-
cavi in tubo in aria	3-4-5-22-23 24-31-32-33 34-41-42-72	PVC	3	-	17	23	31	40	54	73	95	117	141	179	216	249	285	324	380	-	-	-	
			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	-	-	-	-
cavi in aria libera in posizione non a portata di mano	18	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	-	-	-	-
			2	-	19,5	26	35	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	-	-	-	-
cavi in aria libera a trifoglio	11-12-21-25 43-52-53	PVC	3	-	19,5	26	35	46	63	85	110	137	167	216	264	308	356	409	485	561	656	749	855
			3	-	24	33	45	58	80	107	135	169	207	268	328	383	444	510	607	703	823	946	1088
			2	-	22	30	40	52	71	96	131	162	196	251	304	352	406	463	546	629	754	868	1005
cavi in aria libera in piano a contatto	17	EPR	3	-	19,5	26	35	46	63	85	114	143	174	225	275	321	372	427	507	587	689	789	905
			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
cavi in aria libera distanziati su un piano orizzontale(2)	14-15-16	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
			2	-	-	-	-	-	-	-	182	226	275	353	430	500	577	661	781	902	1085	1253	1454
cavi in aria libera distanziati su un piano verticale (2)	13-14-15-16	PVC	3	-	-	-	-	-	-	-	182	226	275	353	430	500	577	661	781	902	1085	1253	1454
			2	-	-	-	-	-	-	-	130	162	197	254	311	362	419	480	569	689	795	920	1070
			3	-	-	-	-	-	-	-	130	162	197	254	311	362	419	480	569	689	795	920	1070
cavi in aria libera distanziati su un piano verticale (2)	13-14-15-16	EPR	2	-	-	-	-	-	-	-	161	201	246	318	389	454	527	605	719	833	1008	1169	1362
			3	-	-	-	-	-	-	-	161	201	246	318	389	454	527	605	719	833	1008	1169	1362
			3	-	-	-	-	-	-	-	201	246	318	389	454	527	605	719	833	1008	1169	1362	1569

Tabella 7 - Portata cavi unipolari con e senza guaina con isolamento in PVC o EPR 1 2

<sup>1</sup> PVC: mescola termoplastica a base di polivinilcloruro (temperatura massima del conduttore uguale a 70 °C). EPR: mescola elastomerica reticolata a base di gomma etilenpropilenica o similari (temperatura massima del conduttore uguale a 90 °C)

<sup>2</sup> I cavi unipolari affiancati che compongono il circuito trifase si considerano distanziati se posati in modo che la distanza tra di essi sia superiore o uguale a due volte il diametro esterno del singolo cavo unipolare.

Metod. di install.	Altri tipi di posa della CEI 64-8	Isol.	n° conduttori caricati	Portata [A]																		
				Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]																		
				1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500
cavo in tubo	-	PVC	2	14	18,5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	192	219	248	291	334	-	-	
				13	17,5	23	29	39	52	68	83	99	125	150	172	196	223	261	298	-	-	-
incassato in parete isolante	2-51-73-74	EPR	2	18,5	25	33	42	57	76	99	121	145	183	220	253	290	329	386	442	-	-	
				16,5	22	30	38	51	68	89	109	130	164	197	227	259	295	346	396	-	-	-
cavo in tubo in aria	3A-4A-5A-21 22A-24A-25 33A-31-34A	PVC	2	13,5	16,5	23	30	38	52	69	90	111	133	168	201	232	258	294	344	394	-	-
				12	15	20	27	34	46	62	80	99	118	149	179	206	225	255	297	339	-	-
cavo in aria libera, distanziato dalla parete/soffitto o su passerella	13-14-15-16-17	PVC	3	15	19,5	26	35	44	60	80	105	128	154	194	233	268	300	340	398	455	-	-
				15	22	30	40	51	70	94	119	148	180	232	282	328	379	434	514	593	-	-
cavo in aria libera, distanziato dalla parete/soffitto o su passerella	11-11A-52-53-12	EPR	2	19	26	36	49	63	86	115	149	185	225	289	352	410	473	542	641	741	-	-
				17	23	32	42	54	75	100	127	158	190	246	298	346	399	456	538	621	-	-
cavo in aria libera, fissato alla parete/soffitto	-	PVC	2	15	19,5	27	36	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	530	-	-
				13,5	17,5	24	32	41	57	76	96	119	144	184	223	259	299	341	403	464	-	-
cavo in aria libera, fissato alla parete/soffitto	-	EPR	2	19	24	33	45	58	80	107	138	171	209	269	328	382	441	506	599	693	-	-
				17	22	30	40	52	71	96	119	147	179	229	278	322	371	424	500	576	-	-

Tabella 8 - Portata cavi multipolari con e senza guaina con isolamento in PVC o EPR 3

3 PVC: miscela termoplastica a base di polivinilcloruro (temperatura massima del conduttore uguale a 70 °C). EPR: miscela elastomerica reticolata a base di gomma etilenpropilenica o similari (temperatura massima del conduttore uguale a 90 °C)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC</p>	<p>Foglio 27 di 48</p>

### 5.2.3.2 Cavi interrati (CEI-UNEL 35026)

Per la determinazione della portata dei cavi in rame con isolamento elastomerico o termoplastico si fa riferimento alla tabella CEI-UNEL 35026.

In particolare:

il coefficiente  $k_{tot}$  è ottenuto dal prodotto dei coefficienti  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  e  $k_4$ , ricavati da Tabella 9, Tabella 10, Tabella 11, Tabella 12.

la portata nominale è ricavata dalla Tabella 13 in relazione al numero della posa (secondo CEI 64-8/5), all'isolante e al numero di conduttori attivi (riferita a  $d$  una temperatura del terreno di 20°C).

$k_1$  è il coefficiente di correzione relativo alla temperatura del terreno

$k_2$  è il coefficiente di correzione per gruppi di circuiti installati sullo stesso piano

$k_3$  è il coefficiente di correzione relativo alla profondità di interramento

$k_4$  è il coefficiente di correzione relativo alla resistività termica del terreno

Temperatura terreno [°C]	PVC	EPR
10	1.1	1.07
15	1.05	1.04
20	1	1
25	0.95	0.96
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

Tabella 9 - Influenza della temperatura del terreno – k1

un cavo multipolare per ciascun tubo				
n° circuiti	distanza fra i circuiti [m]			
	a contatto	0.25	0.5	1
2	0.85	0.9	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.9	0.95
4	0.7	0.8	0.85	0.9
5	0.65	0.8	0.85	0.9
6	0.6	0.8	0.8	0.9
un cavo unipolare per ciascun tubo				
n° circuiti	distanza fra i circuiti [m]			
	a contatto	0.25	0.5	1
2	0.8	0.9	0.9	0.95
3	0.7	0.8	0.85	0.9
4	0.65	0.75	0.8	0.9
5	0.6	0.7	0.8	0.9
6	0.6	0.7	0.8	0.9

Tabella 10 - Gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano – k2

<b>profondità di posa [m]</b>	0.5	0.8	1	1.2	1.5
<b>fattore di correzione</b>	1.02	1	0.98	0.96	0.94

Tabella 11 - Influenza della profondità di posa – k3

cavi unipolari					
<b>resistività del terreno [K m/W]</b>	1	1.2	1.5	2	2.5
<b>fattore di correzione</b>	1.08	1.05	1	0.9	0.82
cavi multipolari					
<b>resistività del terreno [K m/W]</b>	1	1.2	1.5	2	2.5
<b>fattore di correzione</b>	1.06	1.04	1	0.91	0.84

Tabella 12 - Influenza della resistività termica del terreno – k4

Metod. di install.	Altri tipi di posa della CEI 64-8	Isol.	n° conduttori caricati	Portata [A]																		
				Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]																		
				1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630
cavi unipolari in tubi interrati a contatto (1 cavo per tubo)		PVC	2	22	29	38	47	63	82	105	127	157	191	225	259	294	330	386				
			3	20	26	34	43	57	74	95	115	141	171	201	231	262	293	342				
			2	26	34	44	54	73	95	122	148	182	222	261	301	343	385	450	509	592	666	759
cavi unipolari in tubo interrato	61	PVC	3	23	31	40	49	67	85	110	133	163	198	233	268	304	340	397	448	519	593	663
			2	21	27	36	45	61	78	101	123	153	187	222	256	292	328	385				
			3	18	23	30	38	51	66	86	104	129	158	187	216	246	277	325				
cavi multipolari in tubo interrato	61	EPR	2	24	32	41	52	70	91	118	144	178	218	258	298	340	383	450	510	595	671	767
			3	21	27	35	44	59	77	100	121	150	184	217	251	287	323	379	429	500	565	645
			2	19	25	33	41	56	73	94	115	143	175	208	240	273	307	360				
		EPR	3	16	21	28	35	47	61	79	97	120	148	175	202	231	259	304				
			2	23	30	39	49	66	86	111	136	168	207	245	284	324	364	428				
			3	19	25	32	41	55	72	93	114	141	174	206	238	272	306	360				

Tabella 13 - Portata cavi unipolari con e senza guaina e cavi multipolari con isolamento in PVC o EPR 4 5

4 PVC: mescola termoplastica a base di polivinilcloruro (temperatura massima del conduttore uguale a 70°C; EPR: mescola elastomerica reticolata a base di gomma etilenpropilenica o similari (temperatura massima del conduttore uguale a 90°C).

5 Per posa direttamente interrata con o senza protezione meccanica (posa 62 e 63), applicare il fattore correttivo 1,15 unitamente ai fattori correttivi K1, k2, k3, e k4.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 31 di 48

#### 5.2.4 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  $16 \text{ mm}^2$ ;
- la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla portata dello stesso
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a  $16 \text{ mm}^2$ ; se il conduttore è in rame e a  $25 \text{ mm}^2$ ; se il conduttore è in alluminio.

Nel caso in cui si abbiano circuiti monofasi o polifasi e questi ultimi con sezione del conduttore di fase minore di  $16 \text{ mm}^2$ ; (conduttore in rame) e  $25 \text{ mm}^2$ ; (conduttore in alluminio), il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase.

$$S_f < 16 \text{ mm}^2 : S_n = S_f$$

$$16 \leq S_f \leq 35 \text{ mm}^2 : S_n = 16 \text{ mm}^2$$

$$S_f > 35 \text{ mm}^2 : S_n = S_f / 2$$

Qualora, in base a esigenze progettuali, si scelga di dimensionare il neutro per la reale corrente circolante, dovranno essere fatte le medesime considerazioni relative ai conduttori di fase.

#### 5.2.5 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:

$$S_f < 16 \text{ mm}^2 : S_{PE} = S_f$$

$$16 \leq S_f \leq 35 \text{ mm}^2 : S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$$

$$S_f > 35 \text{ mm}^2 : S_{PE} = S_f / 2$$

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:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 32 di 48

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

dove:

- $S_p$  è la sezione del conduttore di protezione ( $\text{mm}^2$ );
- $I$  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;
- $4 \text{ mm}^2$  se non è prevista una protezione meccanica;

### 5.2.6 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  $\alpha_{cavo}$  è vincolato dal tipo di isolamento del cavo e dal tipo di tabella di posa che si sta usando.

### 5.3 CADUTE DI TENSIONE

La caduta di tensione in una linea percorsa dalla corrente  $I_b$  è rappresentata dalla formula seguente:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 33 di 48

$$\Delta V = k_{cdt} \cdot I_b \cdot \sqrt{(R_L \cdot L_c)^2 + (X_L \cdot L_c)^2}$$

dove

- $R_L$  = resistenza alla temperatura di funzionamento (per unità di lunghezza);
- $X_L$  = reattanza della linea (per unità di lunghezza);
- $k_{cdt}$  = coefficiente pari a 2 per i sistemi monofase e 1.73 per i sistemi trifase.

I parametri  $R_L$  e  $X_L$  per i cavi sono ricavati dalla tabella 35023-70 in funzione della tipologia (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori (espressi in unità di lunghezza).

In particolare la resistenza è riferita alla temperatura di 80°C e la reattanza è riferita a 50Hz.

Sezione (mm <sup>2</sup> )	Cavi unipolari		Cavi multipolari	
	R	X	R	X
	mΩ/m	mΩ/m	mΩ/m	mΩ/m
1	22.1	0.176	22.5	0.125
1.5	14.8	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	0.0943	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

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

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

Il calcolo può essere anche essere semplificato secondo la seguente formula seguente:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 35 di 48

$$cdt(I_b) = k_{cdt} \cdot I_b \cdot L_c \cdot (R_L \cdot \cos \varphi + X_L \cdot \sin \varphi)$$

Nei calcoli di verifica, il carico è ipotizzato concentrato a fondo della linea per le utenze singole e distribuito lungo la linea per le utenze multiple alimentate da dorsali.

La caduta di tensione da monte a valle (totale) di una utenza è determinata come somma vettoriale delle cadute di tensione, riferite ad un solo conduttore.

Nel caso in cui siano presenti trasformatori, il calcolo della caduta di tensione tiene conto della caduta interna e della presenza di eventuali prese di regolazione del rapporto spire.

La caduta di tensione percentuale è riferita alla tensione nominale dell'utenza in esame.

La verifica prevede il confronto tra il valore massimo calcolato nelle tre fasi e il limiti prestabiliti dalla Norma CEI 64-8 (par. 525).

#### 5.4 CALCOLO DELLE CORRENTI DI GUASTO

Le tipologie di guasto considerate, sulla base della modellizzazione delle apparecchiature che compongono la rete, sono le seguenti:

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

Per i diversi casi, i risultati del calcolo riguardano le correnti di cortocircuito minime e massime immediatamente a valle della protezione dell'utenza (inizio linea) e a valle dell'utenza (fondo linea).

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

Nel seguito è riportato il metodo di calcolo utilizzato, con particolare riferimento a quanto indicato nella norma CEI 11-25. Qualora si ritenga necessario, nei casi specifici, sono talvolta introdotte alcune approssimazioni, sotto opportune ipotesi, per mezzo di formule semplificate.

##### 5.4.1 MODELLIZZAZIONE DELLE APPARECCHIATURE IN RETE

###### 5.4.1.1 Trasformatori

Le caratteristiche dei trasformatori in rete sono ricavate a partire dai seguenti dati di targa:

- Potenza nominale  $P_n$  (in kVA);
- Perdite di cortocircuito  $P_{cc}$  (in W);
- Tensione di cortocircuito  $v_{cc}$  (in %)
- Rapporto tra la corrente di inserzione e la corrente nominale  $I_{lr}/I_{rt}$ ;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC</p>	<p>Foglio 36 di 48</p>

- Rapporto tra la impedenza alla sequenza omopolare e quella di corto circuito;
- Tipo di collegamento;
- Tensione nominale del primario V1 (in kV);
- Tensione nominale del secondario V02 (in V).

Impedenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

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

Resistenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

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

Reattanza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

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

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

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

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

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

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

nella quale:

$$R_d = R_{cct}$$

$$X_d = X_{cct}$$

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 37 di 48

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

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

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

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

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

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

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

Fattore di correzione per trasformatori, CEI 11-25 (3.3.3)

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

$$Z_{cctK} = K_T \cdot Z_{cct}$$

$$Z_{otK} = K_T \cdot Z_{ot}$$

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_T}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 38 di 48

dove la reattanza relativa del trasformatore è calcolata con la formula seguente:

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

Tale fattore deve essere applicato sia alla impedenza diretta che a quelle omopolari e non va applicato nel caso di autotrasformatori.

#### 5.4.1.2 Generatori

Le caratteristiche dei generatori in rete sono ricavate a partire dai seguenti dati di targa:

- potenza nominale P<sub>n</sub> (in kVA);
- reattanza sincrona percentuale x<sub>S</sub>;
- reattanza subtransitoria percentuale x'';
- rapporto tra l'impedenza omopolare e l'impedenza sincrona Z<sub>og</sub>/Z<sub>S</sub>.

L'impedenza subtransitoria si calcola con la formula:

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

dalla quale si ricavano le componenti alla sequenza diretta:

$$R_d = 0$$

$$X_d = X''$$

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

L'impedenza sincrona si calcola con la formula:

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

Dalla quale, tramite il rapporto Z<sub>og</sub>/Z<sub>S</sub>, si ricavano le componenti omopolari:

$$R_0 = 0$$

$$X_0 = \frac{Z_{og}}{Z_s} \cdot X_s$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 39 di 48

### 5.4.1.3 Motori asincroni

Le caratteristiche dei motori asincroni in rete sono ricavate a partire dai seguenti dati di targa:

- $U_{rm}$  tensione nominale del motore [V] (concatenata per motori trifasi, di fase per motori monofasi collegati fase neutro o fase fase);
- $I_{rm}$  corrente nominale del motore [A];
- $S_{rm}$  potenza elettrica apparente nominale [kVA];
- P numero di coppie polari;
- $I_{lr}/I_{rm}$  rapporto tra la corrente a rotore bloccato (di c.c.) e la corrente nominale del motore;
- Fattore di potenza allo spunto.
- Possibilità di avviamento stella/triangolo per i motori trifasi, per cui si diminuisce  $I_{lr}/I_{rm}$  di 3.

L'impedenza del motore si calcola con la formula:

$$Z_M = \frac{1}{I_{lr}/I_{rm}} \cdot \frac{U_{rm}^2}{S_{rm}}$$

Per i motori asincroni si considera la corrente di interruzione  $i_b$  tenendo conto del tempo di ritardo di default pari a 0.02s. per calcolare i coefficienti  $m$  e  $\mu$

Il coefficiente  $m$  si calcola secondo la seguente tabella:

$$\begin{aligned} \mu &= 0.84 + 0.26 \cdot e^{-0.26 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} &= 0.02 \text{ s} \\ \mu &= 0.71 + 0.51 \cdot e^{-0.30 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} &= 0.05 \text{ s} \\ \mu &= 0.62 + 0.72 \cdot e^{-0.32 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} &= 0.10 \text{ s} \\ \mu &= 0.56 + 0.94 \cdot e^{-0.38 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} &\geq 0.25 \text{ s} \end{aligned}$$

se  $I_{lr}/I_{rm} \leq 2$  allora  $\mu = 1$ .

Per il coefficiente  $q$  si deve prendere la potenza attiva meccanica espressa in MW e dividerla per il numero di coppie polari P al fine di ottenere la variabile  $m$ :

$$m = \frac{S_{rm} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{1000 \cdot P}$$

con  $\cos \varphi$  fattore di potenza e  $\eta$  rendimento del motore.

Quindi:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 40 di 48

$$q = 1.03 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{\min} = 0.02 \text{ s}$$

$$q = 0.79 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{\min} = 0.05 \text{ s}$$

$$q = 0.57 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{\min} = 0.10 \text{ s}$$

$$q = 0.26 + 0.10 \cdot \ln m \quad t_{\min} \geq 0.25 \text{ s}$$

Se  $q > 1$  si pone  $q = 1$ .

Si divide  $Z_M$  per i coefficienti  $\mu$  e  $q$  per ottenere l'impedenza equivalente vista al momento del guasto:

$$Z_{Mib} = \frac{Z_M}{\mu \cdot q}$$

Da cui, a seconda della tensione e della potenza del motore, si possono avere:

$X_M = 0.995 \cdot Z_{Mib}$ $R_M = 0.10 \cdot X_M$	per motori a media tensione con potenza $P_{rm}$ per coppie di poli $\geq 1 \text{ MW}$
$X_M = 0.989 \cdot Z_{Mib}$ $R_M = 0.15 \cdot X_M$	per motori a media tensione con potenza $P_{rm}$ per coppie di poli $< 1 \text{ MW}$
$X_M = 0.922 \cdot Z_{Mib}$ $R_M = 0.42 \cdot X_M$	per motori a bassa tensione

Per le componenti alle sequenze si considerano le sole componenti dirette mentre quelle omopolari non vengono considerate, in quanto il contributo ai guasti lo danno solo i motori trifasi. Essi contribuiscono ai guasti trifasi e a quelli bifasi nelle utenze trifasi e bifasi.

$$R_d = R_M$$

$$X_d = X_M$$

#### 5.4.2 CALCOLO DELLE CORRENTI MASSIME DI CORTOCIRCUITO

Le condizioni di calcolo sono le seguenti:

tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione  $c_{\max}$  (CEI 11-25 tab.1);

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 a 80 °C, data dalle tabelle UNEL 35023-70, per cui esprimendola in mΩ risulta:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 41 di 48

$$R_{dcavo} = \frac{R_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \left( \frac{1}{1 + (60 \cdot 0.004)} \right)$$

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

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

L'impedenza di guasto minima a fine utenza è ricavata dalla somma dei parametri diretti di cui sopra con quelli relativi all'utenza a monte.

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:

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 42 di 48

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  $I_{k\max}$ , fase neutro  $I_{k1Neutro\max}$ , fase terra  $I_{k1PE\max}$  e bifase  $I_{k2\max}$  espresse in kA:

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 43 di 48

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

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

$$I_{p1Neutro} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutro \max}$$

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

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

dove:

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

#### 5.4.3 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.

La tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione cmin di cui alla tab. 1 della norma CEI 11-25.

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. Essa viene indicata dalla norma CEI 64-8/4 par 434.3 nella quale sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

- isolamento in PVC    Tmax = 70°C
- isolamento in G            Tmax = 85°C
- isolamento in G5/G7        Tmax = 90°C
- isolamento serie L rivestito    Tmax = 70°C
- isolamento serie L nudo        Tmax = 105°C
- isolamento serie H rivestito    Tmax = 70°C
- isolamento serie H nudo        Tmax = 105°C

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 44 di 48

Queste, sommate alle resistenze a monte, determinano 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:

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

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

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

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

## 5.5 VERIFICA DELLA PROTEZIONE CONTRO IL CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE

### 5.5.1 GENERALITÀ

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:

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

dove:

- I: corrente di corto circuito [A] espressa in valore efficace
- t: durata del corto circuito
- S: sezione del conduttore [mm<sup>2</sup>]
- K: coefficiente che dipende dal tipo di cavo e dall'isolamento (descritto nei paragrafi successivi)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 45 di 48

Pertanto, 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 Ia);
- $I_{ccmax} \leq I_{inters\ max}$  (quest'ultima riportata nella norma come Ib).

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:

- $I_{cc\ max} \leq I_{inters\ max}$ .

Sono pertanto verificate le relazioni in corrispondenza del guasto, calcolato, minimo e massimo.

### 5.5.2 INTEGRALE DI JOULE

La verifica a corto circuito, come riportato nel paragrafo precedente, fa riferimento al calcolo dell'integrale di Joule:

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 46 di 48

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

### 5.5.3 MASSIMA LUNGHEZZA PROTETTA

Il calcolo della massima lunghezza protetta è eseguito mediante il criterio proposto dalla norma CEI 64-8 al paragrafo 533.3, secondo cui la corrente di cortocircuito presunta è calcolata come:

$$I_{ctocto} = \frac{0.8 \cdot U}{1.5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot \frac{L_{\max prot}}{S_f}}$$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC</p> <p>Foglio 47 di 48</p>

partendo da essa e nota la taratura magnetica della protezione è possibile calcolare la massima lunghezza del cavo protetto in base ad essa.

Pertanto:

$$L_{\max prot} = \frac{0.8 \cdot U}{1.5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot \frac{I_{ctocto}}{S_f}}$$

Dove:

- U: è la tensione concatenata per i neutro non distribuito e di fase per neutro distribuito;
- $\rho$ : è la resistività a 20°C del conduttore;
- m: rapporto tra sezione del conduttore di fase e di neutro (se composti dello stesso materiale);
- $I_{mag}$ : taratura della magnetica.

Viene tenuto conto, inoltre, dei fattori di riduzione (per la reattanza):

- 0.9 per sezioni di 120 mm<sup>2</sup>;
- 0.85 per sezioni di 150 mm<sup>2</sup>;
- 0.8 per sezioni di 185 mm<sup>2</sup>;
- 0.75 per sezioni di 240 mm<sup>2</sup>;

Per ulteriori dettagli si veda norma CEI 64-8 par.533.3 sezione commenti.

## 5.6 VERIFICA CONTATTI INDIRETTI

La verifica della protezione contro i contatti indiretti è eseguita secondo i criteri descritti dalla Norma CEI 64-8 e di seguito riportati, relativamente ai diversi sistemi di distribuzione.

Per assicurare la protezione contro i contatti indiretti mediante interruzione automatica del circuito è necessario adottare i seguenti accorgimenti:

- Collegamento a terra di tutte le masse metalliche;
- Collegamento al collettore di terra dell'edificio dei conduttori di protezione, delle masse estranee (ad esempio: le delle tubazioni metalliche entranti nel fabbricato) tramite collegamenti equipotenziali principali e supplementari.

### 5.6.1 SISTEMA DI DISTRIBUZIONE TN

La protezione contro i contatti indiretti, in un sistema TN, deve essere garantita mediante una o più delle seguenti misure:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento A301-00-D-CV-CL-AI00-0X-001-F00.DOC
	Foglio 48 di 48

- Tempestivo intervento delle protezioni di massima corrente degli interruttori preposti alla protezione delle linee e, laddove ciò non risultasse possibile, tramite protezioni di tipo differenziale
- Utilizzo di componenti di classe II
- Realizzazione di separazione elettrica con l'uso di trasformatore di isolamento

Nel primo caso, affinché sia verificata la protezione contro i contatti indiretti, è necessario che in ogni punto dell'impianto sia rispettata la condizione:

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_g}$$

dove:

- $U_0$  è la tensione di fase (stellata)
- $Z_g$  è l'impedenza dell'anello di guasto
- $I_a$  è la corrente di intervento entro i tempi previsti dalla Norma

I tempi di intervento (dipendenti dalla tensione nominale), sono indicati nella tabella seguente (rif. CEI 64-8/4 tab.41A):

U0[V]	Tempi di interruzione [s]
120	0.8
230	0.4
400	0.2
>400	0.1

I dati in tabella sono validi per circuiti terminali protetti da dispositivi con corrente nominale non superiore a 32 A.

Tempi di interruzione convenzionali non superiori a 5 s sono ammessi negli altri casi.

Se il dispositivo di protezione è equipaggiato con una protezione differenziale, la corrente utilizzata per la verifica è la soglia di intervento nominale del dispositivo differenziale.