



**ANAS S.p.A.**

Direzione Generale

**DG 41/08**

LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA - CAT. B -  
DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)

**PROGETTO ESECUTIVO**

IMPIANTI TECNOLOGICI

OPERE ALL'APERTO

Relazione tecnica specialistica impianti elettrici esterni di potenza

**CONTRAENTE GENERALE:**

Società di Progetto

**SIRJO S.C.p.A.**

Presidente:

Dott. Arch. Maria Elena Cuzzocrea

**PROGETTAZIONE :**



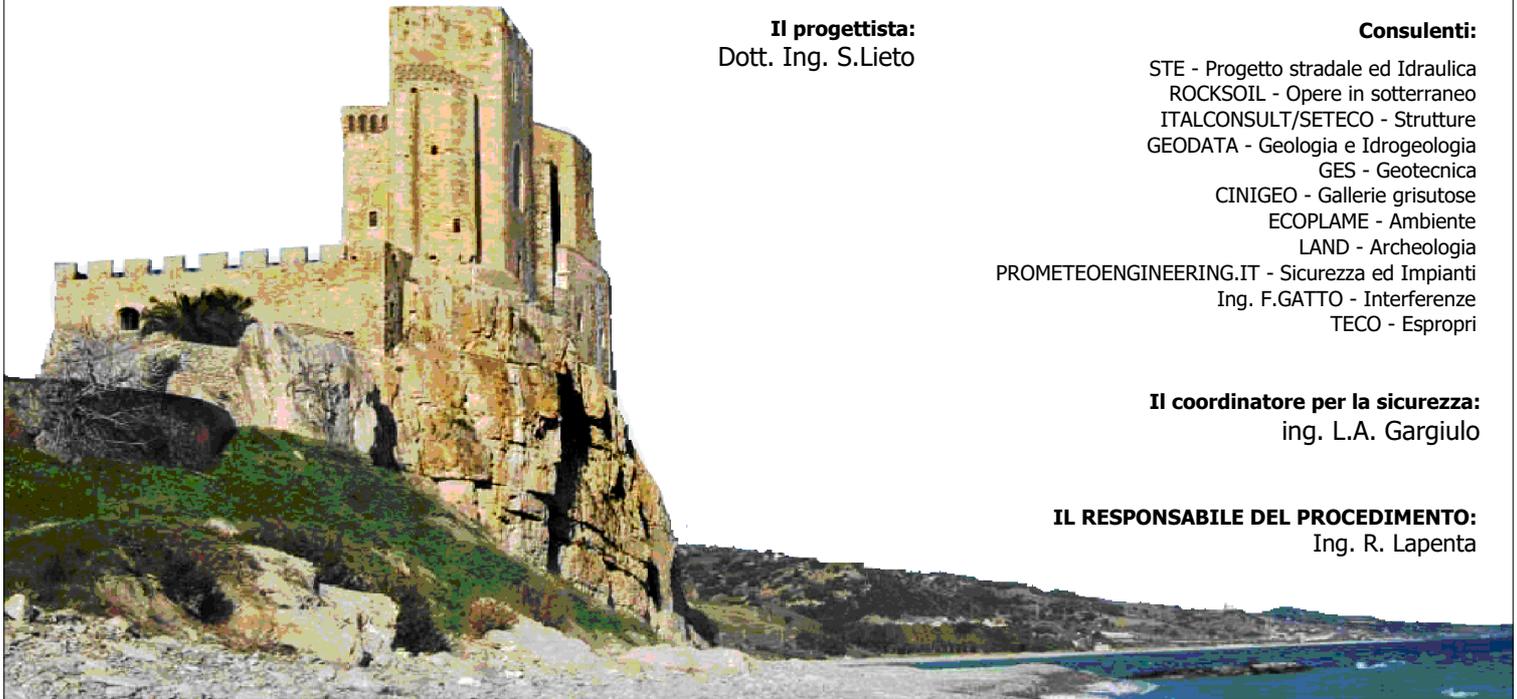
**Il progettista:**  
Dott. Ing. S.Lieto

**Consulenti:**

- STE - Progetto stradale ed Idraulica
- ROCKSOIL - Opere in sotterraneo
- ITALCONSULT/SETECO - Strutture
- GEODATA - Geologia e Idrogeologia
- GES - Geotecnica
- CINIGEO - Gallerie grisutose
- ECOPLAME - Ambiente
- LAND - Archeologia
- PROMETEOENGINEERING.IT - Sicurezza ed Impianti
- Ing. F.GATTO - Interferenze
- TECO - Espropri

**Il coordinatore per la sicurezza:**  
ing. L.A. Gargiulo

**IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:**  
Ing. R. Lapenta



Rep.: P/3

Scala di rappresentazione: -:----

Codice Progetto:

Codice Elaborato:

L	O	7	1	6	C	E	1	9	0	1	T	0	0	I	M	0	0	I	M	P	R	E	0	4	D
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
C	15.04.2019	Emissione	Ing M. Mauriello	Ing M. Minunno	Ing A. Focaracci
D	08.09.2019	Emissione per validazione	Ing M. Mauriello	Ing M. Minunno	Ing A. Focaracci

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 1 di 45
---	--	----------------------------	------------------------

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI UTILIZZATE .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>CRITERI GENERALI DI PROGETTO .....</b>	<b>5</b>
<b>5.</b>	<b>DATI E REQUISITI DI BASE DEL PROGETTO .....</b>	<b>8</b>
<b>6.</b>	<b>CLASSIFICAZIONE DELLE AREE E DEGLI AMBIENTI.....</b>	<b>9</b>
<b>7.</b>	<b>DESCRIZIONE TECNICA DEGLI IMPIANTI ELETTRICI DI POTENZA.....</b>	<b>9</b>
	7.1. Struttura generale della rete elettrica .....	9
	7.2. Potenze elettriche assorbite .....	9
	7.3. Sistema di alimentazione ausiliaria in continuità assoluta (UPS) .....	10
	7.4. Rete BT di distribuzione .....	11
	7.5. Cavidotti tratta all'aperto (in itinere).....	12
	7.6. Cavidotti sui viadotti (in itinere) .....	13
	7.7. Interfacciamento al sistema di supervisione locale.....	13
<b>8.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO LINEE BT .....</b>	<b>14</b>
	8.1. Calcolo delle correnti d'impiego .....	14
	8.2. Dimensionamento e verifica a sovraccarico dei cavi .....	15
	8.2.1. Generalità.....	15
	8.2.2. Modalità di posa.....	16
	8.2.3. Determinazione della portata .....	22
	8.2.3.1. Cavi isolati in PVC ed EPR (CEI-UNEL 35024/1).....	22
	8.2.3.2. Cavi interrati (CEI-UNEL 35026) .....	26
	8.2.4. Dimensionamento dei conduttori di neutro .....	28
	8.2.5. Dimensionamento dei conduttori di protezione .....	28
	8.2.6. Calcolo della temperatura dei cavi .....	29

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 2 di 45
---	--	----------------------------	------------------------

8.3. Cadute di tensione .....	29
8.4. Rifasamento .....	30
8.5. Calcolo dei guasti .....	31
8.5.1. Modellizzazione delle apparecchiature in rete .....	31
8.5.1.1. Rete elettrica MT di fornitura.....	31
8.5.1.2. Trasformatori MT/BT.....	32
8.5.2. Calcolo delle correnti massime di cortocircuito .....	34
8.5.3. Calcolo delle correnti minime di cortocircuito .....	36
8.6. Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture.....	37
8.6.1. Generalità.....	37
8.6.2. Integrale di Joule .....	38
8.6.3. Massima lunghezza protetta.....	40
8.7. Verifica contatti indiretti.....	40
8.7.1. Sistema di distribuzione TT .....	41
8.7.2. Sistema di distribuzione TN.....	41
8.8. Calcoli dimensionali linee BT.....	42
<b>9. ALLEGATO 1 – Svincolo Sibari .....</b>	
<b>10. ALLEGATO 2 – Svincolo Francavilla .....</b>	
<b>11. ALLEGATO 3 – Svincolo Trebisacce .....</b>	

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 3 di 45
---	--	----------------------------	------------------------

## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento intende illustrare le soluzioni progettuali adottate nello sviluppo del progetto esecutivo degli impianti elettrici di potenza da realizzare a servizio delle opere esterne nelle tratte all'aperto (da pk 0+000 a pk 18+863) presenti nel progetto di ammodernamento in nuova sede della S.S. N°. 106 "Jonica" nel tratto compreso tra l'innesto con la S.S. N°. 534 e l'abitato di Roseto Capo Spulico (denominato come "Megalotto 3" dal km 365+150 al km 400+000).

Nel presente documento, col termine "impianti elettrici di potenza" si intendono compresi i seguenti impianti e sistemi:

- quadri elettrici BT a servizio degli svincoli e relativi impianti ausiliari
- sistemi di alimentazione ausiliaria in continuità assoluta a servizio degli svincoli
- rete BT di distribuzione a servizio delle opere impiantistiche all'aperto
- cavidotti di tratta (in itinere)

Si precisa che gli impianti elettrici di potenza realizzati a servizio dei tunnel costituiscono oggetto di un'altra relazione tecnica specialistica.

## 2. DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI UTILIZZATE

Per comodità vengono introdotte le seguenti abbreviazioni (in ordine alfabetico):

- BT o bt - Bassa Tensione in c.a. (400/230V)
- CA - Continuità assoluta
- CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano
- DLgs - D.Lgs n° 264 del 5/10/2006 di attuazione della Direttiva europea 2004/54/CE
- FO - Fibra Ottica
- GE - Gruppo Elettrogeno
- I/O - Input/Output
- LAN - Local Area Network
- PMV - Pannello a Messaggio Variabile
- VVF - Vigili del Fuoco

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 4 di 45
---	--	----------------------------	------------------------

- UPS - Gruppo di Continuità Assoluta
- WAN - Wide Area Network

Eventuali altri acronimi potranno essere introdotti nel seguito solo dopo che siano stati definiti, tra parentesi, accanto alla definizione estesa del proprio significato.

### 3. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

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

- Leggi e Decreti Ministeriali dello Stato cogenti
- Normativa CEI, UNI, UNI-EN, UNI-CIG,
- Circolari ANAS
- Regole tecniche dei VV.F.
- Prescrizioni e raccomandazioni di ENEL

Nel caso di cui trattasi, si è fatto particolare riferimento alle seguenti Leggi, Circolari e Norme:

#### Leggi e Circolari

- D.M. Infrastrutture e dei Trasporti del 14/10/2005 – “Norme di illuminazione delle gallerie stradali”
  - D.Lgs n° 264 del 5/10/2006 di attuazione della Direttiva europea 2004/54/CE (nel seguito indicata brevemente con DLgs)
- D.M. Interni del 22/10/2007 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la installazione di motori a combustione interna accoppiati a macchina generatrice elettrica o a macchina operatrice a servizio di attività civili, industriali, agricole, artigianali, commerciali e di servizi”
- D.M. n° 37 del 22/01/08 "Regolamento [...] recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici"
  - Circolare ANAS n. 179431/09 “Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali” – Seconda edizione 2009 (nel seguito indicata brevemente con LG)

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 5 di 45
---	--	----------------------------	------------------------

### Norme Tecniche

- CEI 0-16 - Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica – Dicembre 2012
- Norma CEI 11-1 - “Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica. Norme generali”
- Norma CEI 11-17 - “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo”
- Norma CEI 64-8 - “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1.000 Volt in corrente alternata e 1.500 Volt in corrente continua”
- Norma UNI 9795 - Sistemi fissi automatici di rivelazione, segnalazione manuale ed allarme incendi – Gennaio 2010
- Norma UNI 10779 – Impianti di estinzione incendi - Reti di idranti - Progettazione, installazione ed esercizio – Luglio 2007
- Norma UNI 11095 – Illuminazione delle gallerie – Dicembre 2003
- Norma UNI 11248 - Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche – Ottobre 2007
- Norma UNI EN 12464-1 – Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni – Ottobre 2004
- Norma UNI EN 12464-2 – Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 2: Posti di lavoro in esterno – Gennaio 2008
- Norme UNI 13201-2 - Illuminazione stradale - Parte 2: Requisiti prestazionali – Settembre 2004
- Norme UNI 13201-3 - Illuminazione stradale - Parte 3: Calcolo delle prestazioni – Settembre 2004

Si precisa come per l’opera di cui trattasi, facendo parte della rete TERN, risulta cogente il Dlgs n. 264/06 mentre le Linee guida ANAS costituiscono uno strumento che rendono pratica l’applicazione del Dlgs per quegli aspetti impiantistici in merito ai quali il Dlgs stesso si limita soltanto a fornire delle indicazioni prescrittive generali.

#### **4. CRITERI GENERALI DI PROGETTO**

Considerata la crescente applicazione ed eterogeneità degli impianti elettrici e speciali lungo i sistemi viari, nonché la loro funzione specifica di sicurezza, la loro definizione richiede un'attenta

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 6 di 45
---	--	----------------------------	------------------------

valutazione dei criteri progettuali guida da porre alla base della progettazione impiantistica, che si possono così riassumere:

- **elevato livello di affidabilità**, sia nei riguardi di guasti interni alle apparecchiature, sia nei riguardi di eventi esterni: oltre all'adozione di apparecchiature e componenti con alto grado di sicurezza intrinseca, si dovrà realizzare un'architettura degli impianti in grado di far fronte a situazioni di emergenza in caso di guasto o di fuori servizio di componenti o di intere sezioni d'impianto, con tempi di ripristino del servizio limitati ai tempi di attuazione di manovre automatiche o manuali di commutazione, di messa in servizio di apparecchiature, ecc. A tale scopo le apparecchiature saranno adeguatamente sovradimensionate e/o si adotteranno schemi d'impianto ridondanti (doppio trasformatore, sistemi di alimentazione di emergenza e di sicurezza, ecc.);
- **manutenibilità**: dovrà essere possibile effettuare la manutenzione ordinaria degli impianti in condizioni di sicurezza continuando ad alimentare le varie utilizzazioni; i tempi di individuazione dei guasti, o di sostituzione dei componenti avariati, nonché il numero delle parti di scorta debbono essere ridotti al minimo: a tale scopo saranno adottati i seguenti provvedimenti:
  - a) omogeneità per quanto possibile delle tipologie impiantistiche
  - b) collocazione, per quanto possibile, delle apparecchiature in locali protetti (tipicamente cabine elettriche o vani tecnici nei by-pass all'interno dei tunnel)
  - c) costante monitoraggio dello stato degli impianti e delle reti tramite le funzioni di diagnostica attuate dal sistema di supervisione
  - d) facile accesso per ispezione e manutenzione delle varie apparecchiature garantendo adeguati distanze di rispetto tra di esse ovvero tra esse ed altri vincoli strutturali
- **flessibilità** degli impianti intesa nel senso di:
  - a) consentire l'ampliamento dei quadri elettrici principali e secondari, prevedendo già in questa fase le necessarie riserve di spazio e di potenza;
  - b) consentire la gestione di sistemi futuri tramite il sistema di controllo e comando, prevedendo già in questa fase le necessarie riserve di punti controllati gestibili dal sistema ovvero di spazio nei quadri PLC
- **integrazione**: saranno preferite le soluzioni che, consentendo un'integrazione dei vari servizi (voce, dati e video), garantiscono un'ottimizzazione dell'utilizzo delle reti di trasmissione. Le reti, pertanto, costituiranno una risorsa condivisa da tutti i servizi sopra menzionati razionalizzando, in tal modo, l'uso di fibre ottiche e lo spazio dedicato ai percorsi impiantistici. Ovviamente, pur usando la medesima dorsale di comunicazione, i tre servizi saranno,

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 7 di 45
---	--	----------------------------	------------------------

funzionalmente e fisicamente, distinti tra loro prevedendo sia fibre ottiche dedicate, seppur appartenenti allo stesso cavo, sia specifici apparati attivi di rete (switch)

- **standardizzazione:** nelle tratte all'aperto trovano applicazione diversi impianti e sistemi che, per garantire un adeguato livello di sicurezza, devono efficacemente interagire tra loro. I vari sottosistemi dovranno quindi essere integrati e coordinati, secondo logiche automatiche predefinite, dal sistema di automazione e di supervisione. Stante questa necessità di integrazione degli impianti, al fine di evitare i problemi derivanti dall'eterogeneità delle forniture, saranno standardizzate le relative interfacce ed i protocolli di comunicazione verso il sistema di controllo e di supervisione.
- **selettività di impianto:** l'architettura prescelta dovrà assicurare che la parte di impianto che viene messa fuori servizio in caso di guasto venga ridotta al minimo; nel caso specifico il criterio seguito per conseguire tale obiettivo consiste sia nell'adozione di dispositivi di interruzione tra loro coordinati caratterizzati da adeguate curve di intervento sia tramite un elevato frazionamento ed articolazione delle reti elettriche;
- **sicurezza degli impianti,** sia contro i pericoli derivanti dall'utilizzazione dell'energia elettrica, sia in termini di protezione nel caso di incendio o altri eventi estranei all'utilizzazione dell'energia elettrica;
- **minimizzazione degli oneri di gestione:** tale obiettivo sarà conseguito tramite la previsione di componenti impiantistici caratterizzati da elevata durata di vita (ad esempio sorgenti luminose a LED), costituiti da materiali ad elevata resistenza (alluminio, inox ecc.). Inoltre saranno preferite le soluzioni tecniche che consentono di contenere, per quanto possibile, i consumi energetici quali sorgenti luminose ad elevata efficienza, l'adozione di idonei dispositivi di regolazione degli impianti di illuminazione, ecc.
- **comfort** per gli addetti e gli utenti, ottenuto con una scelta opportuna dei livelli di illuminamento e degli apparecchi illuminanti e con una attenta progettazione degli impianti speciali;



<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 9 di 45
---	--	----------------------------	------------------------

## 6. CLASSIFICAZIONE DELLE AREE E DEGLI AMBIENTI

Per gli impianti delle aree esterne (strade, aree di svincolo e viadotti): in tale contesto trova applicazione la sezione 714 della Norma CEI 64-8/7 relativa agli "Impianti di illuminazione situati all'esterno". Tale sezione prescrive i seguenti provvedimenti particolari che si possono, con i dovuti adeguamenti, estendere per analogia anche per gli altri impianti realizzati all'aperto:

- pali di sostegno conformi alla Norma UNI EN 40
- grado di protezione minimo IPX7 per componenti elettrici nei pozzetti con drenaggio o per componenti direttamente interrati
- apparecchi illuminanti con grado di protezione minimo IP23 se posti ad una altezza maggiore di 2,5m dal piano di calpestio
- caduta di tensione massima pari al 5%

## 7. DESCRIZIONE TECNICA DEGLI IMPIANTI ELETTRICI DI POTENZA

Nel seguito si riporta la descrizione tecnica dei vari impianti elettrici di potenza previsti a servizio delle varie aree di svincolo.

Per quanto concerne le ipotesi ed i dati di progetto per i diversi tunnel, si rinvia alle varie relazioni di calcolo facenti parte del presente progetto mentre per ulteriori dettagli in merito agli impianti elettrici di potenza (protezioni e linee) si rinvia agli schemi elettrici unifilari dei quadri.

### 7.1. Struttura generale della rete elettrica

Per ogni area di svincolo il progetto prevede una rete di alimentazione elettrica così articolata:

- attestazione della fornitura BT collocata nei pressi dell'area di svincolo. Si precisa che qualora uno svincolo si trovi nelle immediate vicinanze di una cabina asservita agli impianti di una galleria esso sarà alimentato in derivazione dalla cabina stessa
- quadri BT di svincolo per l'alimentazione degli impianti di svincolo e in itinere (apparecchi illuminanti, PMV, colonnine SOS, sistema di monitoraggio tratta, ecc...)

Gli impianti all'aperto (PMV, telecamere, ecc...) a servizio delle gallerie saranno alimentati direttamente dalle cabine elettriche BT e MT/BT di galleria.

### 7.2. Potenze elettriche assorbite

Per completezza, si riporta nel seguito una tabella che evidenzia le potenze assorbite dagli impianti in itinere dai quadri di illuminazione degli svincoli.

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 10 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

OPERA	POTENZA ASSORBITA [KW]
Quadro illuminazione svincolo di Sibari (QSV1)	30
Quadro illuminazione svincolo di Francavilla (QSV2)	21
Quadro illuminazione svincolo di Trebisacce (QSV3) (*)	13
Quadro Area di servizio 1 (QAS1)	18
Quadro Area di servizio 2 (QAS2)	18
Quadro impianti in itinere 1 (QIT1)	5
Quadro impianti in itinere 2 (QIT2)	5

*Nota: (\*) alimentato da quadro generale di bassa tensione della cabina MT/BT nelle più dirette vicinanze*

### 7.3. Sistema di alimentazione ausiliaria in continuità assoluta (UPS)

Come già precisato, qualora uno svincolo si trovi nelle immediate vicinanze di una cabina asservita agli impianti di una galleria esso sarà alimentato in derivazione dalla cabina stessa.

Pertanto le utenze che necessitano di alimentazione in CA saranno alimentate dal sistema UPS previsto per i servizi di galleria.

Nel caso di realizzazione di un quadro dedicato all'area di svincolo il progetto prevede, all'interno del quadro, la realizzazione di un sistema di continuità assoluta costituito da:

- gruppo di continuità (UPS) completo di batterie ermetiche al piombo, di lunga durata, in grado di garantire un'autonomia di almeno 60 minuti.
- rete di distribuzione in continuità assoluta per l'alimentazione degli impianti e delle apparecchiature che richiedono una alimentazione stabilizzata senza nessuna interruzione per motivi di sicurezza e/o per motivi funzionali.

In caso di "black-out", conseguente alla mancanza dell'alimentazione da rete, il sistema di alimentazione in continuità assoluta sarà in grado di garantire l'alimentazione contemporanea dei seguenti impianti:

- tutti gli impianti speciali a servizio dell'area di svincolo: SOS, TVCC, PMV, apparati di supervisione, radio, ecc. ...
- servizi ausiliari di cabina (luce, PLC, prese CA,....)

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	<b>OPERE A CIELO APERTO</b> RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 11 di 45
---	---	----------------------------	-------------------------

#### **7.4. Rete BT di distribuzione**

Costituiscono oggetto del presente paragrafo le alimentazioni derivate dai quadri di per l'alimentazione delle apparecchiature in campo, tipicamente secondo una configurazione dorso-radiale o radiale semplice.

Si ritiene innanzitutto opportuno far osservare come, nel caso specifico, le reti elettriche di distribuzione, siano esse principali o terminali, si possano suddividere in due classi fondamentali:

- reti o circuiti ordinari: costituite dai circuiti relativi agli impianti che in caso di emergenza (mancanza rete ENEL) possono essere soggetti ad interruzione del loro servizio senza pregiudicare, significativamente, la sicurezza degli utenti.
- reti o circuiti di sicurezza: costituite dai circuiti relativi agli impianti che, in caso di emergenza (mancanza rete ENEL), devono funzionare con continuità senza alcuna interruzione del loro servizio in modo da assicurare un adeguato livello di sicurezza ai fruitori dell'opera. Ne consegue che tali reti saranno alimentate dal sistema di alimentazione in continuità assoluta (UPS)

Le linee BT di distribuzione saranno così caratterizzate:

- le linee BT relative agli impianti di illuminazione esterna su palo avranno una configurazione dorso-radiale e saranno costituite da cavi unipolari non propaganti l'incendio, tipo FG7R 0.6/1 kV (a norme CEI 20-35, CEI 20-22 II, CEI 20-37 e CEI 20-13). I circuiti saranno di tipo trifase, posati entro tubazioni interrate. Per ogni tratto stradale all'aperto si prevedono due circuiti di illuminazione distinti con derivazione terminale alternata verso gli apparecchi illuminanti. Nei tratti lungo i viadotti le linee BT saranno posate all'interno di appositi vani.
- le linee BT relative all'alimentazione degli impianti speciali collocati all'aperto avranno una configurazione radiale (punto – punto) e saranno costituite da cavi non propaganti l'incendio, tipo FG7(O)R 0.6/1 kV (a norme CEI 20-35, CEI 20-22 II, CEI 20-37 e CEI 20-13). I circuiti saranno di tipo trifase, posati entro tubazioni interrate. Nei tratti lungo i viadotti le linee BT saranno posate all'interno di appositi vani.

I circuiti di alimentazione delle diverse utenze saranno dimensionati in modo da garantire sia una caduta di tensione complessiva massima inferiore al 4% sia il coordinamento con i dispositivi di protezione.

Le tubazioni interrate BT saranno interrotte, ogni 300m circa, con pozzetti di ispezione. Altri pozzetti saranno inoltre collocati in corrispondenza di ogni cambio di direzione delle condutture, prima e dopo i viadotti, in corrispondenza delle utenze terminali da servire (apparecchi illuminanti, PMV, ecc..). I pozzetti collocati all'aperto saranno di tipo prefabbricato aventi dimensioni indicative pari a 600x600xh600 mm completi di chiusino in ghisa.

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 12 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

Vista la ridotta consistenza degli impianti elettrici esterni rispetto al diametro del cavidotto si è valutata, anche sulla base di altri progetti analoghi, sufficiente l'interdistanza dei pozzetti di ispezione pari a 300 m.

Le linee BT sopra descritte faranno capo ai nodi di attestazione e/o derivazione che a loro volta saranno, a seconda delle modalità esecutive, così costituiti:

- per le derivazioni agli apparecchi illuminanti su palo saranno costituiti dalle morsettiere collocate su palo.
- per le attestazioni delle linee BT , punto-punto, relative agli impianti speciali collocati all'aperto saranno costituite dalle morsettiere di ingresso previste nelle cassette terminali di alimentazione degli impianti speciali.

#### **7.5. Cavidotti tratta all'aperto (in itinere)**

Costituiscono oggetto del presente paragrafo le tubazioni che si prevede di interrare ai lati esterni delle due carreggiate all'aperto. Tali tubazioni troveranno, ovviamente, continuità con i cavidotti predisposti all'interno dei tunnel. Esse saranno realizzate in polietilene tipo 450N adeguate quindi, in base alla Norma CEI 23-46, anche per una profondità di posa inferiore a 50 cm rispetto al piano di calpestio.

Per ogni lato di carreggiata lato corsia di marcia sono previste le seguenti tubazioni:

- n. 1 tubazione in polietilene corrugato a doppia parete serie pesante di diametro 160 mm per servizi BT all'aperto quali l'illuminazione degli svincoli e l'alimentazione degli impianti speciali collocati in itinere. Le tubazioni BT saranno interrotte sia all'aperto che all'interno delle gallerie, ogni 300m circa con pozzetti rompi tratta di tiro. Altri pozzetti saranno inoltre collocati in corrispondenza di ogni cambio di direzione delle condutture, prima e dopo i viadotti. I pozzetti collocati all'aperto e degli SOS dei tunnel stradali saranno di tipo prefabbricato aventi dimensioni indicative pari a 600x600xh600 mm completi di chiusino in ghisa.
- n. 1 tubazione in polietilene corrugato a doppia parete serie pesante di diametro 160 mm dedicata agli impianti speciali (SP) collocati all'aperto all'interno delle quali saranno posate le reti di comunicazione (in rame schermate o in fibra ottica) asservite alle apparecchiature speciali collocate in itinere (tipicamente PMV, colonnine SOS e telecamere). Le ispezioni delle tubazioni SP saranno realizzate contestualmente e con le medesime modalità delle interruzioni/ispezioni delle reti BT. L'uso diffuso di fibre ottiche e di cavi speciali di comunicazione di tipo schermato aventi adeguato livello di isolamento, comparabile con le linee di potenza BT, non rende necessaria la realizzazione di setti separatori in corrispondenza dei pozzetti e dei vani di ispezione BT/SP.
- n. 2 tritubi in polietilene da 50 mm (di cui una di riserva) per la posa di fibre ottiche relative a

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 13 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

reti geografiche estese di comunicazione (come la WAN prevista nel presente progetto) . I tritubi saranno interrotti sia all'aperto che all'interno delle gallerie, ogni 300m circa con pozzetti rompi tratta di tiro. Altri pozzetti saranno inoltre collocati in corrispondenza di ogni cambio di direzione delle condutture, prima e dopo i viadotti e nei bypass dei tunnel stradali. I pozzetti saranno di tipo prefabbricato avente dimensioni indicative pari a 600x600xh600 mm completi di chiusino in ghisa.

#### **7.6. Cavidotti sui viadotti (in itinere)**

Costituiscono oggetto del presente paragrafo le tubazioni che si prevede apposti vani lungo i lati esterni delle due carreggiate all'aperto in corrispondenza dei viadotti. Per ogni lato di carreggiata lato corsia di marcia sono previste le seguenti tubazioni:

- n. 1 tubazione in polietilene corrugato a doppia parete serie pesante di diametro 125 mm per servizi BT all'aperto quali l'illuminazione degli svincoli e l'alimentazione degli impianti speciali collocati in itinere.
- n. 1 tubazione in polietilene corrugato a doppia parete serie pesante di diametro 160 mm dedicata agli impianti speciali (SP) collocati all'aperto all'interno delle quali saranno posate le reti di comunicazione (in rame schermate o in fibra ottica) asservite alle apparecchiature speciali collocate in itinere (tipicamente PMV, colonnine SOS e telecamere). L'uso diffuso di fibre ottiche e di cavi speciali di comunicazione di tipo schermato aventi adeguato livello di isolamento, comparabile con le linee di potenza BT, non rende necessaria la realizzazione di setti separatori in corrispondenza dei pozzetti e dei vani di ispezione BT/SP.
- n. 2 tritubi in polietilene da 50 mm (di cui una di riserva) per la posa di fibre ottiche relative a reti geografiche estese di comunicazione (come la WAN prevista nel presente progetto) .

#### **7.7. Interfacciamento al sistema di supervisione locale**

Al fine di monitorare e gestire gli impianti elettrici di potenza essi saranno adeguatamente interfacciati con il sistema di controllo e supervisione locale.

I quadri per gli impianti di tratta si interfacceranno con la rete generale di tratta tramite lo switch di rete WAN più vicino attraverso cavo in fibra ottica.

Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	Data: 08.09.2019	Pag. 14 di 45
--	--	---------------------	------------------

## 8. DIMENSIONAMENTO LINEE BT

### 8.1. Calcolo delle correnti d'impiego

Per i carichi o le 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 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.

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

<p>Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D</p>	<p style="text-align: center;">OPERE A CIELO APERTO</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA</p>	<p>Data: 08.09.2019</p>	<p>Pag. 15 di 45</p>
--	--	-----------------------------	--------------------------

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

## 8.2. Dimensionamento e verifica a sovraccarico dei cavi

### 8.2.1. 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 condotta in modo da verificare le condizioni:

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

dove:

- $I_b$  = Corrente di impiego del circuito
- $I_n$  = Corrente nominale del dispositivo di protezione
- $I_z$  = Portata in regime permanente della condotta
- $I_f$  = 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. 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 condotta principale protetta contro i sovraccarichi con dispositivo idoneo ed in grado di garantire la protezione anche delle condutture derivate;
- condotta 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 condotta principale.

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:

<b>Codifica:</b> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	<b>OPERE A CIELO APERTO</b> RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<b>Data:</b> 08.09.2019	<b>Pag.</b> 16 di 45
---	---	----------------------------	-------------------------

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

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.

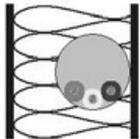
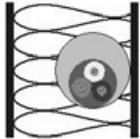
Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

Nei capitoli che seguono sono specificate:

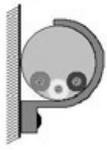
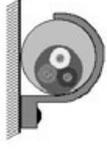
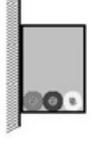
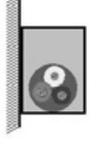
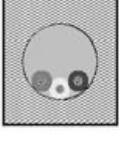
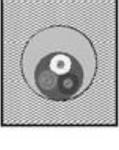
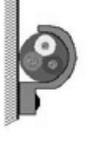
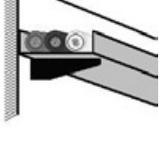
- le modalità di posa contemplate dalla Norma CEI 64-8
- metodi per la determinazione della portata.

### 8.2.2. Modalità di posa

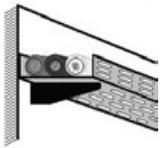
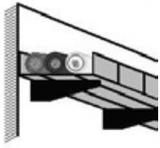
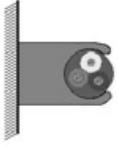
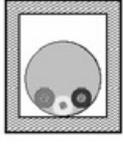
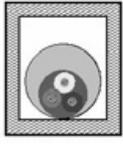
Con riferimento alla norma CEI 64-8/5, le tipologie di installazione previste sono riportate nella tabella seguente:

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

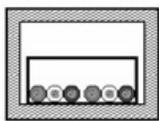
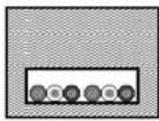
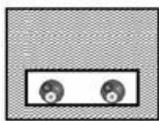
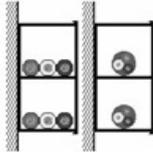
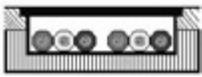
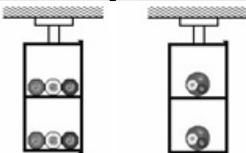
<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	<b>OPERE A CIELO APERTO</b> RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 17 di 45
---	---	----------------------------	-------------------------

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	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
	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

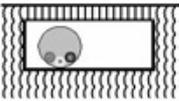
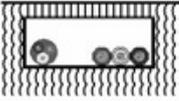
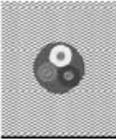
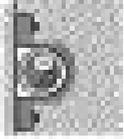
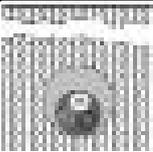
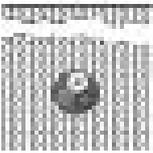
<p>Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D</p>	<p>OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA</p>	<p>Data: 08.09.2019</p>	<p>Pag. 18 di 45</p>
--	---	-----------------------------	--------------------------

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	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 o incorporati in fili o corde di supporto
	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

<p>Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D</p>	<p>OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA</p>	<p>Data: 08.09.2019</p>	<p>Pag. 19 di 45</p>
--	---	-----------------------------	--------------------------

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	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
	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

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 20 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	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
	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

Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	Data: 08.09.2019	Pag. 21 di 45
--	--	---------------------	------------------

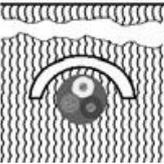
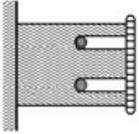
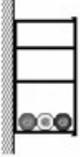
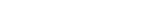
ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	63	cavi multipolari (o unipolari con guaina) interrati con protezione meccanica addizionale
	71	cavi senza guaina posati in elementi scanalati
	72	cavi senza guaina (o cavi unipolari con guaina o cavi multipolari) posati in canali provvisti di elementi di separazione: circuiti per cavi per comunicazione e per elaborazione dati
	73	cavi senza guaina in tubi protettivi o cavi unipolari con guaina (o multipolari) posati in stipiti di porte
	74	cavi senza guaina in tubi protettivi o cavi unipolari con guaina (o multipolari) posati in stipiti di finestre
	75	cavi senza guaina, cavi multipolari o cavi unipolari con guaina in canale incassato
	81	cavi multipolari immersi in acqua

Tabella 1 - Esempi di condutture (rif. CEI 64-8 tab.52C)

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

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 22 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

### 8.2.3. Determinazione della portata

#### 8.2.3.1. 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.

In particolare:

- il coefficiente  $k_{tot}$  è ottenuto dal prodotto dei coefficienti  $k_1$  e  $k_2$  ricavati dalle tabelle 3, 4, 5, 6;
- la portata nominale è ricavata dalle tabelle 7 e 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

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	<b>OPERE A CIELO APERTO</b> RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 23 di 45
---	---	----------------------------	-------------------------

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  $k_1$**

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  $k_2$**

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)  $k_2$**

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 24 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

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  $k_2$*

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.

n° conduttori caricati	Portata [A]															
	Sezione nominale [mm²]															
	1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	200	250
2	-	14.5	19.5	26	34	46	61	80	99	119	151	182	210	240	-	
3	-	13.5	18	24	31	42	56	73	89	108	136	164	188	216	-	
2	-	19	26	35	45	61	81	106	131	158	200	241	278	318	-	
3	-	17	23	31	40	54	73	95	117	141	179	216	249	285	-	
2	13.5	17.5	24	32	41	57	76	101	125	151	192	232	269	309	-	
3	12	15.5	21	28	36	50	68	89	110	134	171	207	239	275	-	
2	17	23	31	42	54	75	100	133	164	198	253	306	354	402	-	
3	15	20	28	37	48	66	88	117	144	175	222	269	312	355	-	
2	-	19.5	26	35	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	-	
3	-	15.5	21	28	36	57	76	101	125	151	192	232	269	309	-	
2	-	24	33	45	58	80	107	142	175	212	270	327	-	-	-	
3	-	20	28	37	48	71	96	127	157	190	242	293	-	-	-	
3	-	19.5	26	35	46	63	85	110	137	167	216	264	308	356	-	
3	-	24	33	45	58	80	107	135	169	207	268	328	383	444	-	
2	-	22	30	40	52	71	96	131	162	196	251	304	352	406	-	
3	-	19.5	26	35	46	63	85	114	143	174	225	275	321	372	-	
2	-	27	37	50	64	88	119	161	200	242	310	377	437	504	-	
3	-	24	33	45	58	80	107	141	176	216	279	342	400	464	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	146	181	219	281	341	396	456	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	146	181	219	281	341	396	456	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	182	226	275	353	430	500	577	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	182	226	275	353	430	500	577	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	130	162	197	254	311	362	419	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	130	162	197	254	311	362	419	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	161	201	246	318	389	454	527	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	161	201	246	318	389	454	527	-	

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

n° conduttori caricati	Portata [A]															
	Sezione nominale [mm²]															
	1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	11	15	20	25
-	14	18.5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	16	21	28	36	
-	13	17.5	23	29	39	52	68	83	99	125	150	17	22	29	37	
-	18.5	25	33	42	57	76	99	121	145	183	220	24	31	40	50	
-	16.5	22	30	38	51	68	89	109	130	164	197	22	28	36	45	
13.5	16.5	23	30	38	52	69	90	111	133	168	201	22	28	36	45	
12	15	20	27	34	46	62	80	99	118	149	179	20	26	34	43	
17	22	30	40	51	69	91	119	146	175	221	265	30	39	50	63	
15	19.5	26	35	44	60	80	105	128	154	194	233	26	34	44	56	
15	22	30	40	51	70	94	119	148	180	232	282	32	41	53	67	
13.6	18.5	25	34	43	60	80	101	126	153	196	238	27	35	46	59	
19	26	36	49	63	86	115	149	185	225	289	352	41	53	68	86	
17	23	32	42	54	75	100	127	158	190	246	298	34	44	57	73	
15	19.5	27	36	46	63	85	112	138	168	213	258	29	38	49	63	
13.5	17.5	24	32	41	57	76	96	119	144	184	223	26	34	44	57	
19	24	33	45	58	80	107	138	171	209	269	328	38	49	63	81	
17	22	30	40	52	71	96	119	147	179	229	278	32	41	53	68	

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

1.1 <sup>1</sup> 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)

1.2

1.3

2 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.

1.4

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 26 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

### 8.2.3.2. 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 dalle tabelle 9, 10, 11, 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

1.5  
90 °C)

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

**1.6**

Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	Data: 08.09.2019	Pag. 27 di 45
--	--	---------------------	------------------

Tabella 9 - Influenza della temperatura del terreno –  $k_1$

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 –  $k_2$

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

Tabella 11 - Influenza della profondità di posa –  $k_3$

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

Tabella 12 - Influenza della resistività termica del terreno –  $k_4$

Portati	Sezione nomi									
	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	70
29	38	47	63	82	105	127	157	191		
26	34	43	57	74	95	115	141	171		
34	44	54	73	95	122	148	182	222		
31	40	49	67	85	110	133	163	198		
27	36	45	61	78	101	123	153	187		
23	30	38	51	66	86	104	129	155		
32	41	52	70	91	118	144	178	218		
27	35	44	59	77	100	121	150	184		
25	33	41	56	73	94	115	143	177		
21	28	35	47	61	79	97	120	148		
30	39	49	66	86	111	136	168	207		
25	32	41	55	72	93	114	141	174		

Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	Data: 08.09.2019	Pag. 28 di 45
--	--	---------------------	------------------

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

#### 8.2.4. 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 mm<sup>2</sup>;
- 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 mm<sup>2</sup>; se il conduttore è in rame e a 25 mm<sup>2</sup>; 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 mm<sup>2</sup>; (conduttore in rame) e 25 mm<sup>2</sup>; (conduttore in alluminio), il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase.

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

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.

#### 8.2.5. 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:

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

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:

1.7 4 PVC: miscela termoplastica a base di polivinilcloruro (temperatura massima del conduttore uguale a 70°C; EPR: miscela elastomerica reticolata a base di gomma etilpropilena o similari (temperatura massima del conduttore uguale a 90°C).

1.8

1.9 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.

<p>Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D</p>	<p style="text-align: center;">OPERE A CIELO APERTO</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA</p>	<p>Data: 08.09.2019</p>	<p>Pag. 29 di 45</p>
--	--	-----------------------------	--------------------------

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

dove:

- $S_p$  è la sezione del conduttore di protezione (mm<sup>2</sup>);
- $I$  è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);
- $t$  è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);
- $K$  è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti.

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

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

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

- 2,5 mm<sup>2</sup> se è prevista una protezione meccanica
- 4 mm<sup>2</sup> se non è prevista una protezione meccanica

### 8.2.6. 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 °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.

### 8.3. Cadute di tensione

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

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

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>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 30 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

- $L_c$  = Lunghezza linea

I parametri  $R_L$  e  $X_L$  per i cavi sono ricavati dalla tabella UNEL 35023-2012 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 70°C per i cavi con isolamento in PVC e a 90°C per i cavi isolati in EPR mentre la reattanza è riferita a 50Hz.

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 formula seguente:

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

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.

#### 8.4. Rifasamento

Dato un carico che assorbe la potenza attiva  $P_n$  e la potenza reattiva  $Q$ , per diminuire  $\varphi$  e quindi aumentare  $\cos \varphi$  senza variare  $P_n$  (cioè per passare a  $\Theta < \varphi$ ), si deve introdurre una potenza  $Q_{rif}$  di segno opposto a quello di  $Q$ , tale che:

$$Q_{rif} = P_n \cdot (\tan \varphi - \tan \Theta)$$

nella quale  $\Theta$  è l'angolo corrispondente al fattore di potenza a cui si vuole rifasare. Tale valore oscilla tra 0.8 e 0.9 a seconda delle esigenze progettuali.

Il rifasamento può essere eseguito in due modalità:

- distribuito;
- centralizzato.

Tale scelta va valutata al fine di ottimizzare i costi ed i risultati finali, quindi le batterie di condensatori potranno essere inseriti localmente in parallelo ad un carico terminale, oppure centralizzato per rifasare un determinato nodo della rete.

Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	Data: 08.09.2019	Pag. 31 di 45
--	--	---------------------	------------------

Se la rete dispone di trasformatori, possono essere inserite anche batterie di rifasamento a valle degli stessi per compensare l'energia reattiva assorbita a vuoto dalla macchina.

La corrente nominale della batteria di condensatori viene calcolata tramite la:

$$I_{nc} = \frac{Q_{rif}}{k_{ca} \cdot V_n}$$

Le correnti nominali e di taratura delle protezioni devono tenere conto (CEI 33-5) che ogni batteria di condensatori può sopportare costantemente un sovraccarico del 30% dovuto alle armoniche; inoltre deve essere ammessa una tolleranza del +15% sul valore reale della capacità dei condensatori. Pertanto la corrente nominale dell'interruttore deve essere almeno di  $I_{arth}=1.53 I_{nc}$ .

Infine la taratura della protezione magnetica non dovrà essere inferiore a  $I_{larmag}= 10 I_{nc}$

## 8.5. Calcolo dei guasti

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.

### 8.5.1. Modellizzazione delle apparecchiature in rete

#### 8.5.1.1. Rete elettrica MT di fornitura

Nel caso in cui la fornitura sia in media tensione si considerano i seguenti dati di partenza:

- Tensione di fornitura  $V_{mt}$  (in kV);
- Corrente di corto circuito trifase massima,  $I_{kmax}$  (in kA);
- Corrente di corto circuito monofase a terra massima,  $I_{k1tmax}$  (in kA);

Dai dati si ricavano le impedenze equivalenti della rete di fornitura per determinare il generatore equivalente di tensione.

Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	Data: 08.09.2019	Pag. 32 di 45
--	--	---------------------	------------------

$$Z_{ccmt} = \frac{1,1 \cdot V_{mt}}{\sqrt{3} \cdot I_{k \max}} \cdot 1000$$

da cui si ricavano le componenti dirette:

$$\cos \varphi_{ccmt} = \sqrt{1 - (0,995)^2}$$

$$X_{dl} = 0,995 \cdot Z_{ccmt}$$

$$R_{dl} = \cos \varphi_{ccmt} \cdot Z_{ccmt}$$

e le componenti omopolari:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot V_{mt}}{I_{k1ft \max}} \cdot 1000 \cdot \cos \varphi_{ccmt} - (2 \cdot R_{dl})$$

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

#### 8.5.1.2. Trasformatori MT/BT

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  $I_d/I_n$ ;
- Rapporto tra la impedenza alla sequenza omopolare e quella di corto circuito;
- Tipo di collegamento;
- Tensione nominale del primario  $V_1$  (in kV);
- Tensione nominale del secondario  $V_{02}$  (in V).

Impedenza di cortocircuito del trasformatore espressa in  $m\Omega$ :

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

Resistenza di cortocircuito del trasformatore espressa in  $m\Omega$ :

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

Reattanza di cortocircuito del trasformatore espressa in  $m\Omega$ :

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

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

<p>Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D</p>	<p>OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA</p>	<p>Data: 08.09.2019</p>	<p>Pag. 33 di 45</p>
--	---	-----------------------------	--------------------------

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

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:

$$\begin{aligned} R_d &= R_{cct} \\ X_d &= X_{cct} \end{aligned}$$

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:

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

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

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

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)

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 34 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

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:

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

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

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

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.

#### 8.5.2. 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 dalle tabelle UNEL 35023-2012, per cui esprimendola in mΩ risulta:

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

Dove  $\Delta T$  vale 50 per i cavi in PVC e 70 per i cavi in EPR

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.

Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	Data: 08.09.2019	Pag. 35 di 45
--	--	---------------------	------------------

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

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

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

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

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

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

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

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

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

Per il conduttore di neutro si ha:

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

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

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

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

$$X_{0sbarraPE} = 2 \cdot X_{anello\_guasto}$$

I parametri di ogni utenza vengono sommati con i parametri, alla stessa sequenza, della utenza a monte, espressi in  $m\Omega$ :

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

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

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

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

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

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

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

Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

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

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

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

Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	Data: 08.09.2019	Pag. 36 di 45
--	--	---------------------	------------------

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  $I_{k1Neutr\max}$ , fase terra  $I_{k1PE\max}$  e bifase  $I_{k2\max}$  espresse in kA:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

### 8.5.3. 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  $C_{\min}$  di cui alla tab. 1 della norma CEI 11-25.

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.

Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	Data: 08.09.2019	Pag. 37 di 45
--	--	---------------------	------------------

Le temperature sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, nella seguente tabella:

Isolante	Tmax (C°) (rapporto Cenelec R064-003)	Tmax (C°) (CEI EN 60909-0)
isolamento in PVC	70	160
isolamento in G	85	200
isolamento in G5/G7/G10/EPR	90	250
HEPR	120	250
isolamento serie L rivestito	70	160
isolamento serie L nudo	105	160
isolamento serie H rivestito	70	160
isolamento serie H nudo	105	160

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

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

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

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

Queste, sommate alle resistenze a monte, 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:

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

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

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

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

## 8.6. Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

### 8.6.1. 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:

<i>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 38 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

- 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)

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  $I_a$ );
- $I_{ccmax} \leq I_{inters\ max}$  (quest'ultima riportata nella norma come  $I_b$ ).

Se la protezione è costituita da un fusibile, è sufficiente la verifica della seguente condizione:

- $I_{ccmin} \geq I_{inters\ min}$ .
- Se la protezione è costituita da un unico dispositivo, che assicura anche la protezione da sovraccarico, è sufficiente la verifica della seguente condizione:
  - $I_{ccmax} \leq I_{inters\ max}$ .

Sono pertanto verificate le relazioni in corrispondenza del guasto calcolato.

### 8.6.2. 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>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 39 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

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

<p>Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D</p>	<p>OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA</p>	<p>Data: 08.09.2019</p>	<p>Pag. 40 di 45</p>
--	---	-----------------------------	--------------------------

### 8.6.3. 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:

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

partendo da essa e nota la taratura magnetica della protezione è possibile calcolare la massima lunghezza del cavo protetta 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);
- $Imag$ : 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.

### 8.7. 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.

<p>Codifica: LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D</p>	<p>OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA</p>	<p>Data: 08.09.2019</p>	<p>Pag. 41 di 45</p>
--	---	-----------------------------	--------------------------

### 8.7.1. Sistema di distribuzione TT

La protezione contro i contatti indiretti in un sistema TT deve essere garantita tramite una o più delle seguenti misure:

- Interruzione automatica dl circuito mediante protezioni differenziali coordinate con l'impianto di terra
- 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:

$$I_{dn} < \frac{V_L}{R_E}$$

dove:

- $I_{dn}$  [A] è il valore massimo di corrente differenziale presente nell'impianto;
- $V_L$  [V] è la tensione limite di contatto;
- $R_E$  [ $\Omega$ ] è la resistenza di terra ( $\Omega$ )

L'eventuale interruttore differenziale presente sul gruppo di misura non può essere utilizzato ai fini della protezione contro i contatti indiretti. A monte delle protezioni differenziali non devono rimanere masse (comprese le carpenterie di eventuali quadri metallici).

Nel caso di utilizzo, a diversi livelli dell'impianto, di più dispositivi differenziali, dovrà essere garantita la selettività di intervento.

### 8.7.2. Sistema di distribuzione TN

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

- 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>Codifica:</i> LO716CE1901 T00 IM00 IMP RE04 D	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 42 di 45
---	--	----------------------------	-------------------------

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

<b>U<sub>0</sub>[V]</b>	<b>Tempi di interruzione [s]</b>
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.

## **8.8. Calcoli dimensionali linee BT**

I calcoli e le verifiche delle linee BT (ad eccezione delle linee dorso radiali relative all'illuminazione esterna) sono stati condotti con software dedicato i-Project<sup>®</sup> (Schneider Electric SpA), che tiene conto dei vincoli e dei procedimenti sopra indicati.

Il software si caratterizza per le seguenti funzioni principali:

- simulazione e dimensionamento reti BT
- dimensionamento cavi BT secondo norme CEI 64-8
- dimensionamento condotti sbarre
- determinazione della potenza dissipata dalle reti
- equilibratura dei carichi monofase
- verifica linee e protezioni
- tarature e coordinamento delle protezioni

I report di calcolo delle linee BT sono riportati in Allegato 1.

<i>Codifica:</i> LO716CE1701 T00 IM00 IMP RE04 A	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 15.03.2017	
---	--	----------------------------	--

## 9. ALLEGATO 1 – Svincolo Sibari

<i>Codifica:</i> LO716CE1701 T00 IM00 IMP RE04 A	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 15.03.2017	
---	--	----------------------------	--

## 10. ALLEGATO 2 – Svincolo Francavilla

<i>Codifica:</i> LO716CE1701 T00 IM00 IMP RE04 A	OPERE A CIELO APERTO RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI ELETTRICI ESTERNI DI POTENZA	<i>Data:</i> 15.03.2017	
---	--	----------------------------	--

## 11. ALLEGATO 3 – Svincolo Trebisacce