

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p><b>IL PROGETTISTA</b></p>  <p>Dott. Ing. I. Barilli          Ordine Ingegneri          V.C.O.          n° 122</p> <p>Dott. Ing. E. Pagani          Ordine Ingegneri Milano          n° 15408</p> 	<p><b>IL CONTRAENTE GENERALE</b></p> <p>Project Manager          (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b>          Direttore Generale e          RUP Validazione          (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b>          Amministratore Delegato          (Dott. P. Ciucci)</p>
--	--	---	--

<p><i>Unità Funzionale</i></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p>	<p>COLLEGAMENTI SICILIA</p> <p>INFRASTRUTTURE STRADALI - IMPIANTI TECNOLOGICI</p> <p>SVINCOLO CURCURACI</p> <p>GENERALE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUPTORI E QUADRI</p>	<p>SS1307_F0</p>
---	---	------------------

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	4	R	D	S	S	I	C	5	G	0	0	0	0	0	0	0	0	2	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	D. RE	G. LUPI	I. BARILLI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO  DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,  INTERRUTTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
1 Introduzione .....	5
2 Denominazioni ed abbreviazioni utilizzate .....	6
3 Leggi e norme di riferimento .....	7
4 Dati e requisiti di base del progetto .....	7
5 Dimensionamento linee BT .....	9
5.1 Calcolo delle correnti d'impiego .....	9
5.2 Dimensionamento e verifica a sovraccarico dei cavi .....	11
5.2.1 Generalità .....	11
5.2.2 Modalità di posa .....	13
5.2.3 Determinazione della portata .....	19
5.2.3.1 Cavi isolati in PVC ed EPR (CEI-UNEL 35024/1) .....	19
5.2.3.2 Cavi interrati (CEI-UNEL 35026) .....	25
5.2.4 Dimensionamento dei conduttori di neutro .....	28
5.2.5 Dimensionamento dei conduttori di protezione .....	29
5.2.6 Calcolo della temperatura dei cavi .....	30
5.3 Cadute di tensione .....	31
5.4 Calcolo dei guasti .....	31
5.4.1 Modellizzazione delle apparecchiature in rete .....	32
5.4.1.1 Trasformatori .....	32
5.4.1.2 Generatori .....	35
5.4.1.3 Motori asincroni .....	35
5.4.2 Calcolo delle correnti massime di cortocircuito .....	37
5.4.3 Calcolo delle correnti minime di cortocircuito .....	40
5.5 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture .....	42
5.5.1 Generalità .....	42
5.5.2 Integrale di Joule .....	43
5.5.3 Massima lunghezza protetta .....	44
5.6 Verifica contatti indiretti .....	45
5.6.1 Sistema di distribuzione TN .....	46
5.7 Calcoli dimensionali linee BT .....	47

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUSSIONI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6 Allegati.....47

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1 Introduzione

Nella presente relazione vengono illustrati le modalità ed i risultati dei calcoli eseguiti durante lo sviluppo del progetto definitivo relativo agli impianti elettrici di potenza BT da realizzare a servizio dell'area di svincolo Curcuraci prevista nel versante siciliano, nell'ambito della costruzione dell'Opera di attraversamento sullo Stretto di Messina.

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

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

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

- la normativa tecnica utilizzata per il dimensionamento;
- i criteri di dimensionamento, tenendo conto dei vincoli impiantistici e della normativa vigente;
- i dati di input
- i risultati dei calcoli dimensionali e delle verifiche di calcolo necessarie per la definizione degli impianti BT.

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

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

Per ulteriori dettagli sulle caratteristiche delle apparecchiature scelte, si rimanda agli elaborati grafici relativi ed in particolare agli schemi unifilari dei quadri elettrici.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO  DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,  INTERRUTTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2 Denominazioni ed abbreviazioni utilizzate

Vengono introdotte le seguenti abbreviazioni (in ordine alfabetico):

- ac - Corrente alternata
- AD - Azienda distributrice di energia elettrica nel caso specifico sinonimo di ENEL
- AI - AntIncendio
- BT o bt - Bassa Tensione in c.a. (400/230V)
- CA - Continuità assoluta
- cc - Corrente Continua
- CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano
- CSA - Capitolato Speciale di Appalto
- DL - Direzione dei Lavori, generale o specifica
- FM - Forza Motrice
- GE - Gruppo Elettrogeno
- IMQ - Istituto Italiano per il Marchio di Qualità
- IMS - Interruttore di Manovra e Sezionatore
- I/O - Input/Output
- IS - Illuminazione di Sicurezza
- ME - Messina
- MT - Media Tensione in c.a.: nel caso specifico sta per 20kV
- PC - Personal Computer
- PLC - Programmable Logic Controller
- RC - Reggio Calabria
- SA - Servizi Ausiliari ordinari
- SE - Servizi ausiliari Essenziali ai fini della sicurezza
- UNEL - Unificazione Elettrotecnica Italiana
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione
- VE - Impianti di ventilazione
- VVF - Vigili del Fuoco
- UPS - Gruppo di Continuità Assoluta

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUZZORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3 Leggi e norme di riferimento

Nello sviluppo del progetto definitivo delle opere impiantistiche descritte nel presente documento, oltre ai riferimenti legislativi, alle circolari ed alle norme tecniche indicate nel documento GCG.F.01.02 (Ottobre 2004), sono stati considerati, in particolare, anche i seguenti riferimenti:

- Norma CEI 11-17 - “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo”
- CEI 11-25 2001 IIa Ed. (IEC 60909-2001): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- CEI 11-28 1993 I a Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIII Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 23-3/1 I a Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI 64-8 VIa Ed. 2007: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35023 2009: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastometrico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- IEC 60287: Electric cables - Calculation of the current rating.

### 4 Dati e requisiti di base del progetto

I calcoli di progetto saranno eseguiti facendo riferimento alle seguenti condizioni principali:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO  DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,  INTERRUTTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Ubicazione e altitudine: Messina - Reggio Calabria <100 s.l.m.
- Destinazione ambienti:
  - opere all'aperto
  - locali tecnici (locale ordinario)
- Temperature di riferimento:
  - Tmax int.: 40°C
  - Tmin int.: 5°C
  - Test.: 34°C - Uest.: 40%
  - Test.: 3°C - Uest.: 85%
- Dati rete di alimentazione BT:
  - tensione di alimentazione: 400/230 Vac
  - frequenza : 50 Hz
  - Sistema TN-S (impianto alimentato da cabina MT/BT)
- Assorbimenti unitari (W):
  - Apparecchio illuminante a 60 LED: 145 W
  - Apparecchio illuminante 80 LED: 190 W
  - Apparecchio illuminante 100 LED: 236 W
  - Apparecchio illuminante 120 LED: 284 W
  - Proiettore torre faro: 1080 W
  - PMV esterno tipo A: 4100 W
  - PMV esterno tipo B: 2800 W
  - Indicatore di corsia: 200 W
  - Telecamera fissa: 50 W
  - Telecamera brandeggiabile: 100 W
  - Sistema telecamere targhe/merci pericolose: 200 W
  - Sistema di conteggio traffico: 100 W
  - Sistema di pesatura dinamica: 500 W
  - Colonnina SOS: 300W
  - Centralina controllo meteo: 300 W
  - Sistema Tutor: 500 W
  - Barriere automatiche: 300 W
  - Centralina delineatori: 300 W
  - Semafori: 30 W

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUSSIONI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Caduta di tensione massima: < 4%
- Margine di sicurezza portate cavi e interruttori: 20%
- Riserva di spazio (o interruttori) sui quadri BT: 20%
- Riserva di spazio nelle canalizzazioni: 50%
- Riserva di spazio nelle tubazioni: diametro interno tubazione ≥ 1/3 del diametro circoscritto al fascio dei cavi
- Tipologia conduttori BT:
  - cavi interrati all'aperto posati all'interno di tubazioni in materiale plastico: FG7(O)R 0.6/1 kV

## 5 Dimensionamento linee BT

### 5.1 Calcolo delle correnti d'impiego

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

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

nella quale:

- Pd = Potenza effettivamente assorbita dal carico
- Vn = Tensione nominale del sistema
- cos φ = Fattore di potenza
- kca = fattore dipendente dal sistema di collegamento
  - kca = 1 sistema monofase o bifase, due conduttori attivi;
  - kca = 1.73 sistema trifase, tre conduttori attivi.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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

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

La potenza di dimensionamento  $P_d$  è data dal prodotto:

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

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

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

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

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

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUPTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5.2 Dimensionamento e verifica a sovraccarico dei cavi

### 5.2.1 Generalità

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

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

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

dove:

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

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

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

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

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);

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO  DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,  INTERRUTTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

La portata minima del cavo viene calcolata come:

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

dove il coefficiente  $k_{tot}$  ha lo scopo di declassare il cavo e tiene conto dei seguenti fattori:

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

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

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

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

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

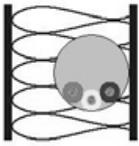
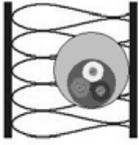
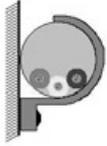
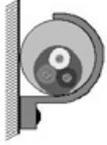
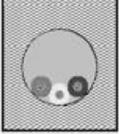
Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

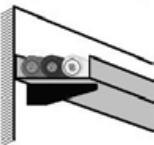
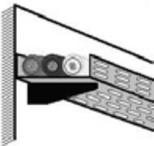
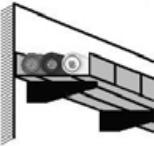
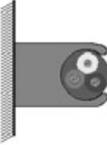
Nei capitoli che seguono sono specificate le modalità di posa contemplate dalla Norma CEI 64-8, le tabelle ricavate dalle norme di cui sopra e i diversi metodi per la determinazione della portata.

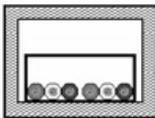
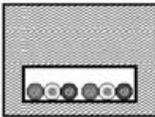
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUSSIONI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

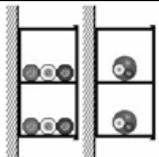
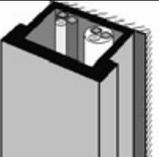
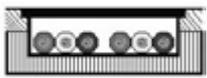
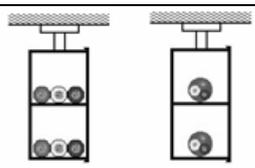
### 5.2.2 Modalità di posa

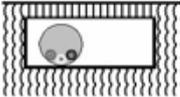
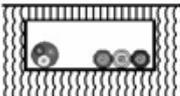
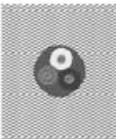
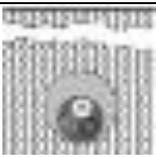
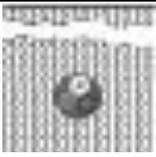
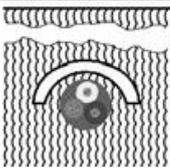
Con riferimento alla norma CEI 64-8/5, le tipologie di installazione previste sono riportate nelle tabella seguente:

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

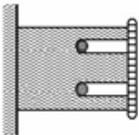
<b>ESEMPIO</b>	<b>RIFERIMENTO</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
	5A	cavi multipolari in tubi protettivi annegati nella muratura
	11	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, posati su o distanziati da pareti
	11A	cavi multipolari (o unipolari con guaina) con o senza armatura fissati su soffitti
	12	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle non perforate
	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

<b>ESEMPIO</b>	<b>RIFERIMENTO</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
	17	cavi unipolari con guaina (o multipolari) sospesi a od 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
	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

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	25	cavi multipolari (o unipolari con guaina) posati in: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ controsoffitti</li> <li>▪ pavimenti sopraelevati</li> </ul>
	31	cavi senza guaina e cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali posati su parete con percorso orizzontale
	32	cavi senza guaina e cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali posati su parete con percorso verticale
	33	cavi senza guaina posati in canali incassati nel pavimento
	33A	cavi multipolari posati in canali incassati nel pavimento
	34	cavi senza guaina in canali sospesi
	34A	cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali sospesi
	41	cavi senza guaina e cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) in tubi protettivi circolari posati entro cunicoli chiusi, con percorso orizzontale o verticale

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	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
	63	cavi multipolari (o unipolari con guaina) interrati con protezione meccanica addizionale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	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: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ circuiti per cavi per comunicazione e per elaborazione dati</li> </ul>
	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.5C)**

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5.2.3 Determinazione della portata

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

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

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

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:

n	1	2	3	4	5	6	7	8
F	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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b> <b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,</b> <b>INTERRUTTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

30	1.00	1.00
35	0.94	0.96
40	0.87	0.91
45	0.79	0.87
50	0.71	0.82
55	0,61	0.76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

**Tabella 3 - Influenza della temperatura  $k_1$**

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 graffato 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  $k_2$**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUPTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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)  $k_2$**

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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUZZORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.



Metod. di install.	Altri tipi di posa della CEI 64-8	Isol.	n° conduttori caricati	Portata [A]																				
				Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]																				
				1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630	
cavo in tubo			2	-	14	18,5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	192	219	248	291	334	-	-	-	-
incassato in parete isolante	2-51-73-74	PVC	3	-	13	17,5	23	29	39	52	68	83	99	125	150	172	196	223	261	298	-	-	-	-
parete isolante		EPR	2	-	18,5	25	33	42	57	76	99	121	145	183	220	253	290	329	386	442	-	-	-	-
			3	-	16,5	22	30	38	51	68	89	109	130	164	197	227	259	295	346	396	-	-	-	-
cavo in tubo	3A-4A-5A-21	PVC	2	13,5	16,5	23	30	38	52	69	90	111	133	168	201	232	258	294	344	394	-	-	-	-
in aria	22A-24A-25		3	12	15	20	27	34	46	62	80	99	118	149	179	206	225	255	297	339	-	-	-	-
	33A-31-34A	EPR	2	17	22	30	40	51	69	91	119	146	175	221	265	305	334	384	459	532	-	-	-	-
	43-32		3	15	19,5	26	35	44	60	80	105	128	154	194	233	268	300	340	398	455	-	-	-	-
cavo in aria libera, distanziato		PVC	2	15	22	30	40	51	70	94	119	148	180	232	282	328	379	434	514	593	-	-	-	-
dalla parete/soffitto o su passerella	13-14-15-16-17		3	13,6	18,5	25	34	43	60	80	101	126	153	196	238	276	319	364	430	497	-	-	-	-
		EPR	2	19	26	36	49	63	86	115	149	185	225	289	352	410	473	542	641	741	-	-	-	-
o su passerella			3	17	23	32	42	54	75	100	127	158	190	246	288	346	389	456	538	621	-	-	-	-
cavo in aria libera, fissato alla parete/soffitto	11-11A-52-53-12	PVC	2	15	19,5	27	36	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	530	-	-	-	-
			3	13,5	17,5	24	32	41	57	76	96	119	144	184	223	259	299	341	403	464	-	-	-	-
		EPR	2	19	24	33	45	58	80	107	138	171	209	269	328	382	441	506	599	693	-	-	-	-
			3	17	22	30	40	52	71	96	119	147	179	229	278	322	371	424	500	576	-	-	-	-

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUZZORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

In particolare:

- il coefficiente  $k_{tot}$  è ottenuto dal prodotto dei coefficienti  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  e  $k_4$ , ricavati 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUSSIONI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

Temperatura terreno [°C]	PVC	EPR
10	1.1	1.07
15	1.05	1.04
20	1	1
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.8
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	-	0.6
70	-	0.53
75	-	0.46
80	-	0.38

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 –  $k_2$**

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

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUPTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

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

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

### 5.2.4 Dimensionamento dei conduttori di neutro

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUSSIONI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.

### 5.2.5 Dimensionamento dei conduttori di protezione

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

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

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

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

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:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUPTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

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

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;

## 5.2.6 Calcolo della temperatura dei cavi

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

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

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

esprese in °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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Il calcolo può essere anche essere semplificato secondo la seguente 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.

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

### 5.4 Calcolo dei guasti

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUPTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

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

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

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

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

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

#### **5.4.1 Modellizzazione delle apparecchiature in rete**

##### **5.4.1.1 Trasformatori**

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Resistenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

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

Reattanza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

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

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

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

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

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

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

nella quale:

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

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:

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUZZORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} Z_{cctK} &= K_T \cdot Z_{cct} \\ Z_{otK} &= K_T \cdot Z_{ot} \\ K_T &= 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} \end{aligned}$$

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

applicato nel caso di autotrasformatori.

#### 5.4.1.2 Generatori

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

- potenza nominale  $P_n$  (in kVA);
- reattanza sincrona percentuale  $x_S$ ;
- reattanza subtransitoria percentuale  $x''$ ;
- rapporto tra l'impedenza omopolare e l'impedenza sincrona  $Z_{og}/Z_S$ .

L'impedenza subtransitoria si calcola con la formula:

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

dalla quale si ricavano le componenti alla sequenza diretta:

$$\begin{aligned} R_d &= 0 \\ X_d &= X'' \end{aligned}$$

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

L'impedenza sincrona si calcola con la formula:

$$X_S = \frac{x_S}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

Dalla quale, tramite il rapporto  $Z_{og}/Z_S$ , si ricavano le componenti omopolari:

$$\begin{aligned} R_0 &= 0 \\ X_0 &= \frac{Z_{og}}{Z_S} \cdot X_S \end{aligned}$$

#### 5.4.1.3 Motori asincroni

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

- U<sub>m</sub> tensione nominale del motore [V] (concatenata per motori trifasi, di fase per motori

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUPTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

monofasi collegati fase neutro o fase fase);

- I<sub>rm</sub> corrente nominale del motore [A];
- S<sub>rm</sub> potenza elettrica apparente nominale [kVA];
- P numero di coppie polari;
- I<sub>lr</sub>/I<sub>rm</sub> rapporto tra la corrente a motore bloccato (di c.c.) e la corrente nominale del motore;
- Fattore di potenza allo spunto.
- Possibilità di avviamento stella/triangolo per i motori trifasi, per cui si diminuisce I<sub>lr</sub>/I<sub>rm</sub> di 3.

L'impedenza del motore si calcola con la formula:

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

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

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

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

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

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

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

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

Quindi:

$$\begin{aligned} q &= 1.03 + 0.12 \cdot \ln m & t_{\min} &= 0.02 \text{ s} \\ q &= 0.79 + 0.12 \cdot \ln m & t_{\min} &= 0.05 \text{ s} \\ q &= 0.57 + 0.12 \cdot \ln m & t_{\min} &= 0.10 \text{ s} \\ q &= 0.26 + 0.10 \cdot \ln m & t_{\min} &\geq 0.25 \text{ s} \end{aligned}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUPTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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

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

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

$$R_d = R_M$$

$$X_d = X_M$$

#### 5.4.2 Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Le condizioni di calcolo sono le seguenti:

- tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione  $C_{max}$  (CEI 11-25 tab.1);
- impedenza di guasto minima, calcolata alla temperatura di 20°C.

La resistenza diretta, del conduttore di fase e di quello di protezione, viene riportata a 20 °C, partendo dalla resistenza a 80 °C, data dalle tabelle UNEL 35023-70, per cui esprimendola in mΩ risulta:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

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

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

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

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

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

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

La reattanza è invece:

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

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

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

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

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

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

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b> <b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,</b> <b>INTERRUTTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Per il conduttore di neutro si ha:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

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

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

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

Fase terra:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b> <b>DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,</b> <b>INTERRUTTORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

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

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase  $I_{k\max}$ , fase neutro  $I_{k1Neutromax}$ , fase terra  $I_{k1PEmax}$  e bifase  $I_{k2max}$  espresse in kA:

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

$$I_{k1Neutromax} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutromin}}$$

$$I_{k1PEmax} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PEmin}}$$

$$I_{k2max} = \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k\min}}$$

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

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

$$I_{p1Neutro} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutromax}$$

$$I_{p1PE} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1PEmax}$$

$$I_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2max}$$

dove:

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

### 5.4.3 Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI 11.25 par 2.5.

La tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione  $c_{\min}$  di cui alla tab. 1 della norma



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUSSIONI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

## 5.5 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

### 5.5.1 Generalità

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

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

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

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

dove:

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

Pertanto, l'energia specifica sopportabile dal cavo deve essere maggiore o uguale a quella lasciata passare dalla protezione.

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

- Le intersezioni sono due:
  - $I_{ccmin} \geq I_{inters \ min}$  (quest'ultima riportata nella norma come Ia);
  - $I_{ccmax} \leq I_{inters \ max}$  (quest'ultima riportata nella norma come Ib).
- L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:
  - $I_{ccmin} \geq I_{inters \ min}$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:
  - $I_{cc\ max} \leq I_{inters\ max}$ .

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

### 5.5.2 Integrale di Joule

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

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

La costante K viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopraccitati riportano però nella parte commento dei valori prudenziali.

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

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

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

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

### 5.5.3 Massima lunghezza protetta

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

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

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

Pertanto:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUITORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Dove:

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

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

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

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

## 5.6 Verifica contatti indiretti

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUSSIONI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

### 5.6.1 Sistema di distribuzione TN

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

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

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

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

dove:

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

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

$U_0$ [V]	Tempi di interruzione [s]
120	0.8
230	0.4
400	0.2
>400	0.1

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO          DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI,          INTERRUZZORI E QUADRI</b>		<i>Codice documento</i> SS1307_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5.7 Calcoli dimensionali linee BT

I calcoli e le verifiche delle linee BT sono stati condotti utilizzando un foglio elettronico di calcolo, validato per confronto diretto con il software AMPERE PROFESSIONAL®.

Il foglio, di calcolo si caratterizza per le seguenti funzioni principali:

- verifica cadute di tensione a fondo linea
- verifica coordinamento protezione - cavo di alimentazione nei confronti delle sovracorrenti (sovraccarico e corto circuito)
- gestione di carichi squilibrati (tipicamente carichi monofasi alimentati con linee trifasi)
- gestione di carichi non uniformemente distribuiti (anche carichi monofasi alimentati da linee trifasi).

I report di calcolo delle linee BT sono riportati nell'Allegato 1

## 6 Allegati

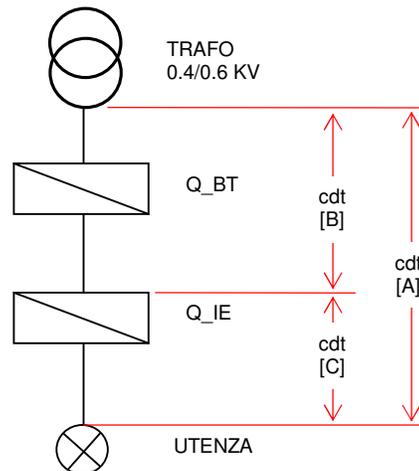
Gli allegati sono organizzati nei seguenti documenti:

- Allegato 1: Calcoli linee BT

**ALLEGATO 1**  
**CALCOLI LINEE BT**

Per quanto attiene il calcolo delle cadute di tensione (c.d.t.), al fine di agevolare la lettura dei dati riportati nelle tabelle di calcolo allegate, viene riportata la seguente nota di chiarimento.

Il quadro Q\_IE dello Svincolo Curcuraci risulta alimentato dal quadro Q\_BT della cabina elettrica MT/BT della galleria Balena ed è caratterizzato da una tensione nominale pari a 400V (vedi schema seguente).



L'origine dell'impianto, caratterizzato da tale livello di tensione nominale, coincide pertanto con i morsetti secondari del trasformatore MT/BT.

Ai sensi della Norma CEI 64-8/5 art. 525, si assume, per la caduta di tensione massima ammessa nella sezione di impianto evidenziata nello schema con la lettera [A], un valore pari al 4%.

Per quanto attiene alla sezione di impianto compresa fra la sezione di ingresso del quadro Q\_IE e l'utenza terminale alimentata (indicata con la lettera [C] nello schema), la caduta di tensione massima ammessa risulta definita dalla differenza fra la c.d.t. globale massima ammessa [ $H=4\%$ ] e la c.d.t. dell'impianto a monte del Q\_IE [relativa alla sezione [B] dell'impianto che, nel caso specifico, vale  $0,38\%$ ]. Ne deriva una c.d.t. ammessa per la sezione [C] dell'impianto pari a  $3,62\%$  ( $=4 - 0,38$ )

Si precisa inoltre che nelle schede di calcolo allegate, relative al Q\_IE, con la dicitura "DV max (%)" si intende la c.d.t. relativa alla sezione di impianto evidenziata nello schema con la lettera [C] ovvero la c.d.t. tra la sezione di ingresso del quadro Q\_IE e l'utenza terminale alimentata dal Q\_IE stesso che, come sopra precisato, dovrà essere inferiore al  $3,62\%$ .

**Quadro illuminazione esterna svincolo Curcuraci (Cabina Balena) - Cicuito C1-2**

**DATI DI INGRESSO**

Tensione nominale FN (V)	230
Sfasamento F1 - F2 (deg)	120
Sfasamento F1 - F3 (deg)	240
Fattore di potenza utenze	0,9
Tipo di isolante dei cavi (*)	G7
Icc FFF inizio linea (A)	19100
Fattore di potenza in cortocircuito	0,7
Fattore di riduzione tensione	0,95
Temperatura limite isolamento cavi (°C)	90
Resistività cavi (Ω*m)	0,023

**RISULTATI**

IF1 inizio linea (A)	8,21
IF2 inizio linea (A)	8,44
IF3 inizio linea (A)	8,21
IN inizio linea (A)	0,23
I max inizio linea (A)	8,44
Icc FFF fine linea (A)	208
Icc FF fine linea (A)	180
Icc FN fine linea (A)	104
DV max (%)	2,36
In sganciatore (A)	10
Caratteristica sganciatore	MATH - B

**VERIFICHE E COMMENTI**

SI	Intervento entro 5s (CEI 64-8)		
SI	Entro limiti CEI 64-8 (4%)		
SI	Energia passante < ammissibile		
SI	I inserzione < I interruttore		

**DATI LAMPADE**

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tipo (**)		LED	LED	LED	LED	A	A	A	A	A
Potenza nominale (W)		60	80	100	120	1000	1000	1000	1000	1000
Potenza totale assorbita (W)		146	190	N.E.	N.E.	1080	1080	1080	1080	1080

**Legenda (\*)**

Polivinilcloruro
Gomma
Polietilene reticolato
Etilpropilene

PVC
G
XLPE
EPR

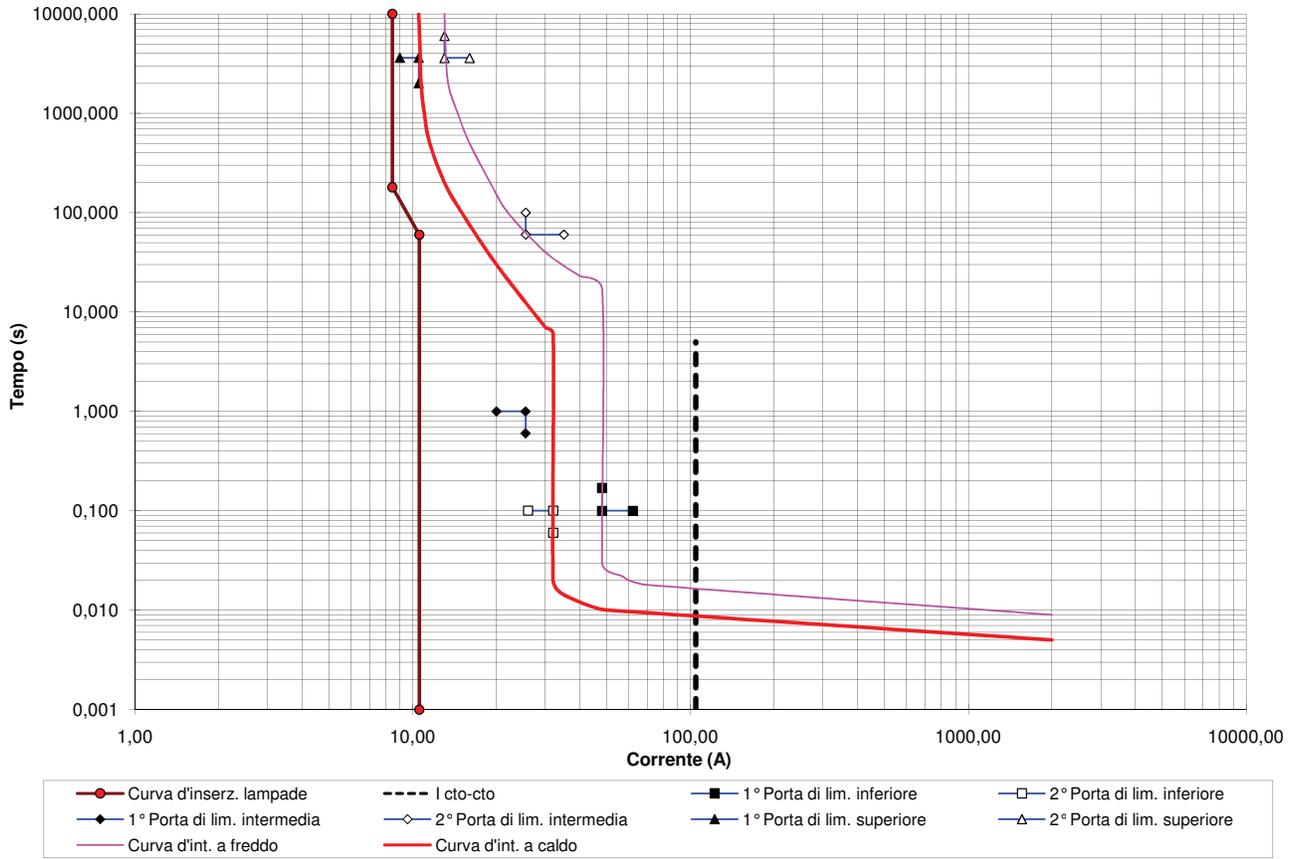
**Legenda (\*\*)**

Sodio ad alta pressione
Sodio a bassa pressione
A vapori di mercurio
Ad alogenuri metallici

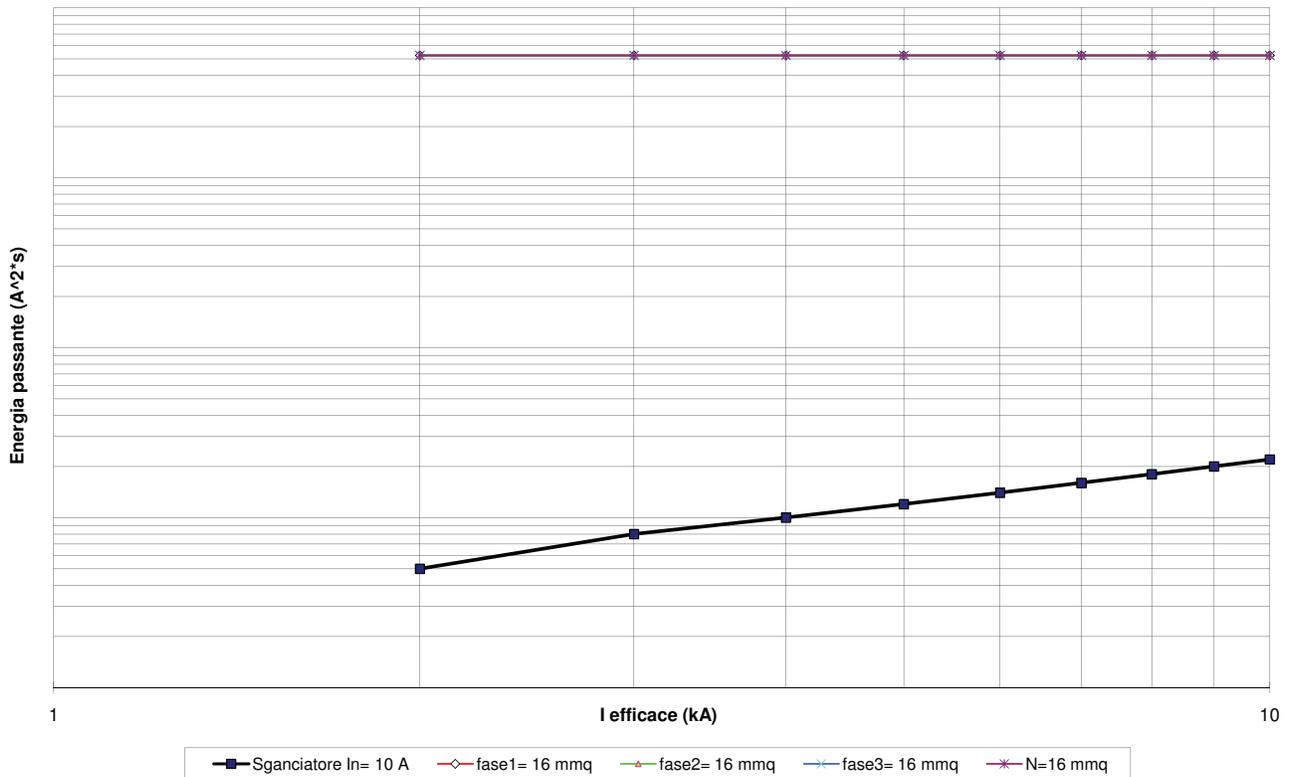
SA
SB
M
A

Progressiva	d (m)	l (m)	PF1 (W)	PF2 (W)	PF3 (W)	sF1 (mmq)	sF2 (mmq)	sF3 (mmq)	sN (mmq)	DVF1 (%)	DVF2 (%)	DVF3 (%)
QE		15	1700	1748	1700	16	16	16	16	0,00	0,00	0,00
1	7	22				16	16	16	16	0,033	0,036	0,033
2	27	49				16	16	16	16	0,159	0,173	0,163
3	18	67				16	16	16	16	0,244	0,264	0,249
4	30	97				16	16	16	16	0,38	0,42	0,39
5	21	118				16	16	16	16	0,48	0,52	0,49
6	12	130				16	16	16	16	0,54	0,58	0,55
7	5	135	236			16	16	16	16	0,56	0,61	0,57
8	30	165				16	16	16	16	0,66	0,76	0,73
9	30	195		236		16	16	16	16	0,76	0,92	0,89
10	30	225				16	16	16	16	0,88	1,04	1,06
11	30	255			236	16	16	16	16	1,00	1,15	1,22
12	30	285				16	16	16	16	1,12	1,28	1,34
13	27	312	236			16	16	16	16	1,23	1,40	1,46
14	14	326				16	16	16	16	1,27	1,47	1,52
15	18	344				16	16	16	16	1,31	1,55	1,61
16	30	374		236		16	16	16	16	1,39	1,68	1,75
17	19	393	472	472	472	16	16	16	16	1,46	1,74	1,84
18	9	402				16	16	16	16	1,47	1,76	1,87
19	30	432			236	16	16	16	16	1,53	1,81	1,97
20	25	457				16	16	16	16	1,58	1,87	2,02
21	6	463				16	16	16	16	1,59	1,89	2,04
22	30	493	236			16	16	16	16	1,65	1,96	2,10
23	10	503			284	16	16	16	16	1,66	1,99	2,13
24	13	516				16	16	16	16	1,67	2,03	2,14
25	12	528				16	16	16	16	1,68	2,07	2,15
26	18	546		284		16	16	16	16	1,70	2,12	2,17
27	15	561				16	16	16	16	1,72	2,15	2,19
28	11	572				16	16	16	16	1,74	2,16	2,20
29	11	583	284	284	236	16	16	16	16	1,75	2,18	2,22
30	32	615			236	16	16	16	16	1,77	2,20	2,24
31	30	645				16	16	16	16	1,80	2,24	2,22
32	30	675	236			16	16	16	16	1,82	2,28	2,20
33	29	704				16	16	16	16	1,80	2,32	2,19
34	32	736		236		16	16	16	16	1,79	2,36	2,19
35		736							0	0,00	0,00	0,00
36		736							0	0,00	0,00	0,00
37		736							0	0,00	0,00	0,00
38		736							0	0,00	0,00	0,00
39		736							0	0,00	0,00	0,00
40		736							0	0,00	0,00	0,00
41		736							0	0,00	0,00	0,00
42		736							0	0,00	0,00	0,00
43		736							0	0,00	0,00	0,00
44		736							0	0,00	0,00	0,00
45		736							0	0,00	0,00	0,00
46		736							0	0,00	0,00	0,00
47		736							0	0,00	0,00	0,00
48		736							0	0,00	0,00	0,00
49		736							0	0,00	0,00	0,00
50		736							0	0,00	0,00	0,00

### Curva d'intervento interruttore automatico



### Curva di limitazione dell'energia specifica passante interruttore Curve energia ammissibile nei cavi di sezione minore



Titolo: **CALCOLO CADUTE DI TENSIONE**

**Quadro illuminazione esterna svincolo Curcuraci (Cabina Balena) - Cicuito C3-4**

**DATI DI INGRESSO**

Tensione nominale FN (V)	230
Sfasamento F1 - F2 (deg)	120
Sfasamento F1 - F3 (deg)	240
Fattore di potenza utenze	0,9
Tipo di isolante dei cavi (*)	G7
Icc FFF inizio linea (A)	19100
Fattore di potenza in cortocircuito	0,7
Fattore di riduzione tensione	0,95
Temperatura limite isolamento cavi (°C)	90
Resistività cavi (Ω*m)	0,023

**RISULTATI**

IF1 inizio linea (A)	9,58
IF2 inizio linea (A)	7,98
IF3 inizio linea (A)	7,98
IN inizio linea (A)	1,60
I max inizio linea (A)	9,58
Icc FFF fine linea (A)	200
Icc FF fine linea (A)	173
Icc FN fine linea (A)	100
DV max (%)	2,37
In sganciatore (A)	10
Caratteristica sganciatore	MATH - B

**VERIFICHE E COMMENTI**

	SI	Intervento entro 5s (CEI 64-8)
	SI	Entro limiti CEI 64-8 (4%)
	SI	Energia passante < ammissibile
	SI	I inserzione < I interruttore

**DATI LAMPADE**

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tipo (**)		LED	LED	LED	LED	A	A	A	A	A
Potenza nominale (W)		60	80	100	120	1000	1000	1000	1000	1000
Potenza totale assorbita (W)		N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	1080	1080	1080	1080	1080

**Legenda (\*)**

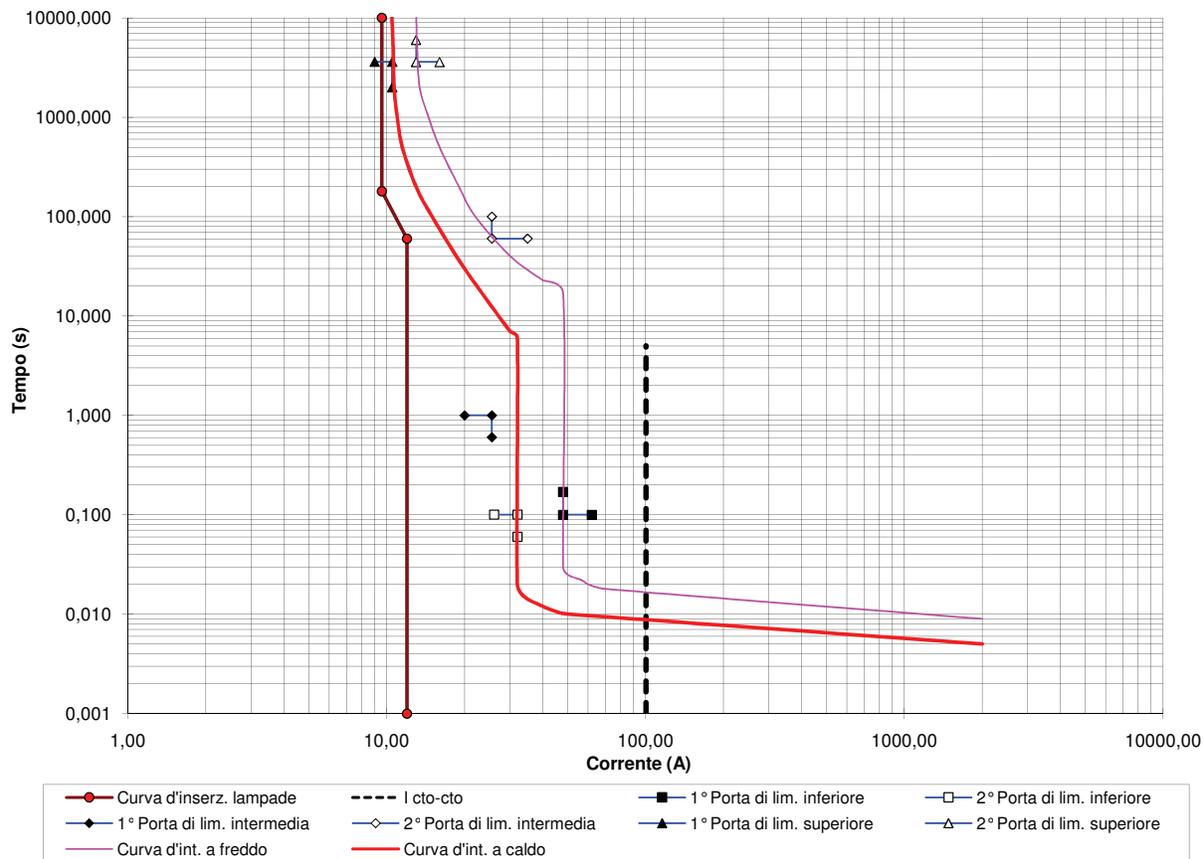
Polivinilcloruro	PVC
Gomma	G
Polietilene reticolato	XLPE
Etilpropilene	EPR

**Legenda (\*\*)**

Sodio ad alta pressione	SA
Sodio a bassa pressione	SB
A vapori di mercurio	M
Ad alogenuri metallici	A

Progressiva	d (m)	l (m)	PF1 (W)	PF2 (W)	PF3 (W)	sF1 (mmq)	sF2 (mmq)	sF3 (mmq)	sN (mmq)	DVF1 (%)	DVF2 (%)	DVF3 (%)
QE		15	1984	1652	1652	16	16	16	16	0,00	0,00	0,00
1	7	22				16	16	16	16	0,046	0,032	0,027
2	19	41	236			16	16	16	16	0,170	0,117	0,101
3	27	68				16	16	16	16	0,311	0,242	0,221
4	7	75				16	16	16	16	0,35	0,27	0,25
5	24	99		236		16	16	16	16	0,47	0,39	0,36
6	30	129				16	16	16	16	0,65	0,48	0,49
7	29	158			236	16	16	16	16	0,81	0,58	0,63
8	30	188				16	16	16	16	0,99	0,70	0,72
9	18	206	472	708	708	16	16	16	16	1,09	0,76	0,78
10	8	214	236			16	16	16	16	1,14	0,78	0,79
11	30	244				16	16	16	16	1,25	0,83	0,82
12	30	274		236		16	16	16	16	1,37	0,89	0,86
13	30	304				16	16	16	16	1,50	0,90	0,90
14	30	334			236	16	16	16	16	1,64	0,92	0,94
15	13	347	284			16	16	16	16	1,69	0,93	0,94
16	21	368				16	16	16	16	1,76	0,96	0,95
17	32	400	284			16	16	16	16	1,85	1,00	0,97
18	32	432				16	16	16	16	1,89	1,04	1,02
19	13	445				16	16	16	16	1,91	1,06	1,03
20	10	455		236		16	16	16	16	1,92	1,07	1,05
21	36	491				16	16	16	16	1,99	1,07	1,10
22	34	525			236	16	16	16	16	2,06	1,07	1,15
23	30	555				16	16	16	16	2,12	1,09	1,15
24	30	585	236			16	16	16	16	2,18	1,10	1,15
25	30	615				16	16	16	16	2,20	1,12	1,17
26	30	645		236		16	16	16	16	2,22	1,14	1,19
27	30	675				16	16	16	16	2,25	1,12	1,22
28	30	705			236	16	16	16	16	2,29	1,10	1,24
29	30	735				16	16	16	16	2,33	1,10	1,22
30	30	765	236			16	16	16	16	2,37	1,10	1,21
31		765							0	0,00	0,00	0,00
32		765							0	0,00	0,00	0,00
33		765							0	0,00	0,00	0,00
34		765							0	0,00	0,00	0,00
35		765							0	0,00	0,00	0,00
36		765							0	0,00	0,00	0,00
37		765							0	0,00	0,00	0,00
38		765							0	0,00	0,00	0,00
39		765							0	0,00	0,00	0,00
40		765							0	0,00	0,00	0,00
41		765							0	0,00	0,00	0,00
42		765							0	0,00	0,00	0,00
43		765							0	0,00	0,00	0,00
44		765							0	0,00	0,00	0,00
45		765							0	0,00	0,00	0,00
46		765							0	0,00	0,00	0,00
47		765							0	0,00	0,00	0,00
48		765							0	0,00	0,00	0,00
49		765							0	0,00	0,00	0,00
50		765							0	0,00	0,00	0,00

### Curva d'intervento interruttore automatico



### Curva di limitazione dell'energia specifica passante interruttore Curve energia ammissibile nei cavi di sezione minore

