

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

<p><i>Unità Funzionale</i> COLLEGAMENTI CALABRIA <i>Tipo di sistema</i> INFRASTRUTTURE STRADALI - IMPIANTI TECNOLOGICI <i>Raggruppamento di opere/attività</i> ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> AREA DI SOSTA E CONTROLLO - ZAGARELLA <i>Titolo del documento</i> RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUPTORI E QUADRI</p>	<p>CS0882_F0</p>
--	------------------

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUTTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<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	8
5 Dimensionamento apparecchiature di cabina.....	10
6 Dimensionamento linee BT	11
6.1 Calcolo delle correnti d'impiego	11
6.2 Dimensionamento e verifica a sovraccarico dei cavi	12
6.2.1 Generalità	12
6.2.2 Modalità di posa.....	14
6.2.3 Determinazione della portata	20
6.2.3.1 Cavi isolati in PVC ed EPR (CEI-UNEL 35024/1).....	20
6.2.3.2 Cavi interrati (CEI-UNEL 35026).....	26
6.2.4 Dimensionamento dei conduttori di neutro	29
6.2.5 Dimensionamento dei conduttori di protezione	30
6.2.6 Calcolo della temperatura dei cavi	31
6.3 Cadute di tensione.....	32
6.4 Rifasamento	33
6.5 Calcolo dei guasti	33
6.5.1 Modellizzazione delle apparecchiature in rete.....	34
6.5.1.1 Trasformatori	34
6.5.1.2 Generatori.....	36
6.5.1.3 Motori asincroni	37
6.5.2 Calcolo delle correnti massime di cortocircuito	39
6.5.3 Calcolo delle correnti minime di cortocircuito	42
6.6 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture.....	44
6.6.1 Generalità	44
6.6.2 Integrale di Joule	45
6.6.3 Massima lunghezza protetta	46
6.7 Verifica contatti indiretti.....	47

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUSSIONI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.7.1	Sistema di distribuzione TN	48
6.8	Calcoli dimensionali linee BT	49
7	Dimensionamento rete MT	49
7.1	Protezione da sovraccarico.....	49
7.2	Verifica della caduta di tensione	50
7.3	Tenuta termica al corto circuito massimo	50
7.4	Analisi e verifiche della rete MT	51
8	Dimensionamento impianti di ventilazione e climatizzazione locali tecnici.....	52
8.1	Ventilazione e caratteristiche del locale batterie.....	52
9	Allegati.....	54

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUPTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<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 MT e BT da realizzare a servizio dell'area di sosta e controllo Zagarella prevista nel versante calabrese, 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 Media Tensione (MT) e 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 MT e 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUTTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUTTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<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:

- 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 – Luglio 2008
- 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”
- CEI 11-20 2000 IVa Ed. Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI 11-25 2001 IIa Ed. (IEC 60909-2001): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIIIa Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 23-3/1 Ia Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI 33-5 Ia Ed. 1984: Condensatori statici di rifasamento di tipo autorigenerabile per impianti di energia a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 660V.
- CEI 64-8 VIa Ed. 2007: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- 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 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.

- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI EN 50272: Prescrizioni di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazioni.
- IEC 60287: Electric cables - Calculation of the current rating.

4 Dati e requisiti di base del progetto

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

- 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 ENEL:
 - tensione di alimentazione: 20kV \pm 10%
 - corrente di cortocircuito trifase nel punto di consegna MT: 12,5 kA (valore tipico per reti MT a 20 kV)
 - tempo di intervento protezioni: < 1s

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUSSIONI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- 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
 - Armadio radio: 500 W
 - Armadio PLC: 500 W

- Caduta di tensione massima:
 - linee principali di distribuzione: <1%
 - linee secondarie di distribuzione: <3%

- Margine di potenza su apparecchiature 20%
(trasformatori, UPS, ecc):

- Margine di sicurezza portate cavi e interruttori: 20%

- Riserva di spazio (o interruttori) sui quadri BT: 20%

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUPTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Riserva di spazio nelle canalizzazioni: 50%
- Riserva di spazio nelle tubazioni: diametro interno tubazione $\geq 1/3$ del diametro circoscritto al fascio dei cavi
- Tipologia conduttori BT:
 - cavi nei locali tecnici posati entro canalizzazioni e tubazioni: FG7(O)M1 0.6/1 kV
 - cavi nei locali tecnici posati entro canalizzazioni e tubazioni in materiale plastico: NO7G9-K 450/750V
 - cavi interrati all'aperto posati all'interno di tubazioni in materiale plastico: FG7(O)R 0.6/1 kV

5 Dimensionamento apparecchiature di cabina

Nel caso specifico, per dimensionamento dell'impianto elettrico di potenza si intende il dimensionamento delle apparecchiature principali di cabina quali i trasformatori ed i gruppi di continuità assoluta (UPS).

La scelta della loro taglia deriva dalla valutazione dei carichi da alimentare che si riassumono nella seguenti tabelle, nella quale i valori si riferiscono alla potenza nominale delle singole apparecchiature:

Area di sosta e controllo Zagarella	POTENZA INSTALLATA [KW]	
	NORMALE	CA
Illuminazione area di sosta	39	
Servizi ausiliari ordinari	8	
Servizi ausiliari di sicurezza		39
TOTALI PARZIALI (kW)	47	39
TOTALI PARZIALI (kVA) CON f.d.p.=0,9	52	43
TOTALE COMPLESSIVO (kW)	86	
TOTALE COMPLESSIVO (kVA) CON f.d.p.=0,9	95	
TAGLIA TRASFORMATORE (kVA)	160	
MARGINE POTENZA (Trasformatore)	68,22%	
TAGLIA UPS (kVA)	60	
MARGINE POTENZA (UPS)	24,35%	

Nota: CA sezione alimentata in emergenza da UPS

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Come si evince dalla tabella, ai fini del presente dimensionamento è stato considerato un fattore di potenza cautelativo pari a 0,90 in quanto il carico risulta rifasato sia con condensatori in campo (ad esempio gli apparecchi illuminanti ed i ventilatori booster) sia con quadro di rifasamento automatico in cabina.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle potenze assorbite dai vari Impianti (illuminazione, ventilazione e servizi ausiliari) si rinvia agli schemi unifilari dei quadri elettrici di alimentazione.

Ovviamente, in seguito alla definizione delle taglie delle apparecchiature da installare in cabina, sono stati opportunamente dimensionati sia gli spazi tecnici per il loro contenimento che gli impianti di ventilazione/condizionamento idonei al mantenimento di una temperatura inferiore al valore massimo accettabile (tipicamente da 25°C a 40°C).

6 Dimensionamento linee BT

6.1 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.

Se la rete è in corrente continua il fattore di potenza cos φ 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUPTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

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 (ΣP_d a valle) per utenze di distribuzione (somma vettoriale).

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

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

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

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

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

6.2 Dimensionamento e verifica a sovraccarico dei cavi

6.2.1 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

essere coordinato con la condotta in modo da verificare le condizioni:

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

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

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 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 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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.

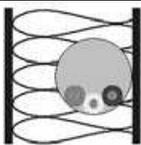
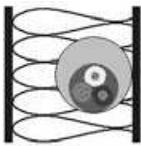
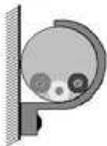
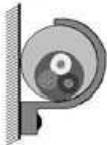
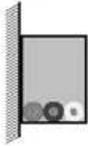
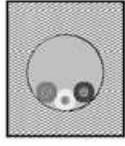
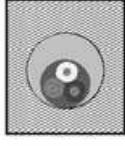
Risulta pertanto che, in base a tali normative, la condizione b) sarà sempre verificata.

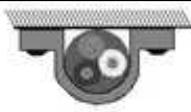
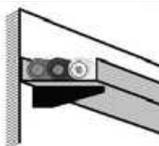
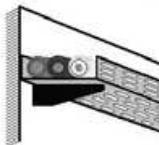
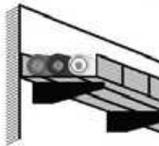
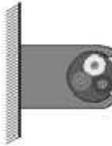
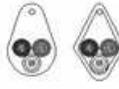
Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

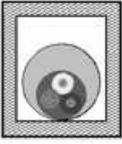
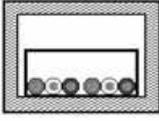
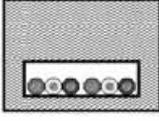
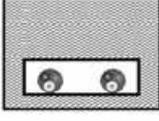
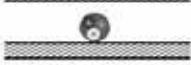
Nei capitoli che seguono sono specificate le modalità di posa contemplate dalla Norma CEI 64-8, le tabelle ricavate dalle norme di cui sopra e i diversi metodi per la determinazione della portata.

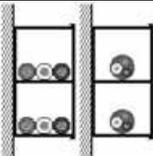
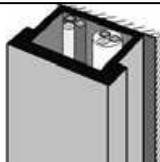
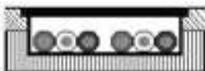
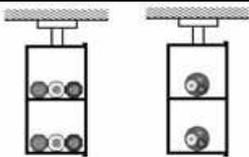
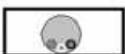
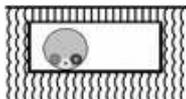
6.2.2 Modalità di posa

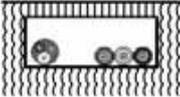
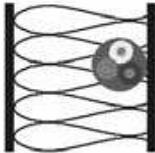
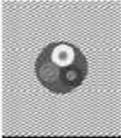
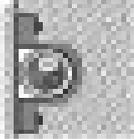
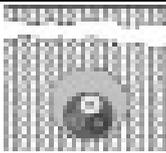
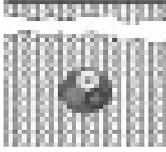
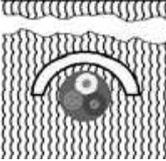
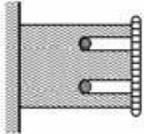
Con riferimento alla norma CEI 64-8/5, le tipologie di installazione previste sono riportate nella tabella seguente:

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

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

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	18	conduttori nudi o cavi senza guaina su isolanti
	21	cavi multipolari (o unipolari con guaina) in cavità di strutture
	22	cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari posati in cavità di strutture
	22A	cavi multipolari (o unipolari con guaina) in tubi protettivi circolari posati in cavità di strutture
	23	cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari posati in cavità di strutture
	24	cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari annegati nella muratura
	24A	cavi multipolari (o unipolari con guaina), in tubi protettivi non circolari annegati nella muratura
	25	cavi multipolari (o unipolari con guaina) posati in: <ul style="list-style-type: none"> ▪ controsoffitti ▪ pavimenti sopraelevati

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	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"> ▪ 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.5C)

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

6.2.3 Determinazione della portata

6.2.3.1 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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
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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUTTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUPTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.

Metod. di install.	Altri tipi di posa della CEI 64-8	Isol.	n° conduttori caricati	Portata [A]																			
				Sezione nominale [mm ²]																			
				1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630
cavi in tubo incassato in parete isolante	1-1-1-1-73-74	PVC	2	-	14,5	18	24	31	42	56	73	89	108	136	164	188	216	245	286	-	-		
			3	-	13,5	18	24	31	42	56	73	89	108	136	164	188	216	245	286	-	-		
cavi in tubo in aria	3-4-5-22-23	PVC	2	-	19	26	35	45	61	81	106	131	158	200	241	278	318	362	424	-	-		
			3	-	17	23	31	40	54	73	95	117	141	179	216	249	285	324	380	-	-		
cavi in tubo in aria	24-31-32-33	PVC	2	13,5	17,5	24	32	41	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415	-	-		
			3	12	15,5	21	28	36	50	68	89	110	134	171	207	239	275	314	369	-	-		
cavi in aria libera in posizione non a portata di mano	18	EPR	2	17	23	31	42	54	75	100	133	164	198	253	306	354	402	472	555	-	-		
			3	15	20	28	37	48	66	88	117	144	175	222	269	312	355	417	490	-	-		
cavi in aria libera a trifoglio	11-12-21-25	PVC	2	-	19,5	26	35	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	-	-		
			3	-	15,5	21	28	36	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415	-	-		
cavi in aria libera in piano a contatto	13-14-15-16-17	EPR	2	-	24	33	45	58	80	107	142	175	212	270	327	-	-	-	-	-	-		
			3	-	20	28	37	48	71	96	127	157	190	242	293	-	-	-	-	-	-	-	
cavi in aria libera distanziati su un piano orizzontale(2)	14-15-16	PVC	2	-	24	33	45	58	80	107	135	169	207	268	328	383	444	510	607	703	823	946	1088
			3	-	22	30	40	52	71	96	131	162	196	251	304	352	406	463	546	629	754	868	1005
cavi in aria libera distanziati su un piano verticale (2)	13-14-15-16	EPR	2	-	19,5	26	35	46	63	85	114	143	174	225	275	321	372	427	507	587	689	789	905
			3	-	27	37	50	64	88	119	161	200	242	310	377	437	504	575	679	783	940	1083	1254
cavi in aria libera distanziati su un piano verticale (2)	13-14-15-16	PVC	2	-	24	33	45	58	80	107	141	176	216	279	342	400	464	533	634	736	868	998	1151
			3	-	24	33	45	58	80	107	141	176	216	279	342	400	464	533	634	736	868	998	1151
cavi in aria libera distanziati su un piano orizzontale(2)	14-15-16	EPR	2	-	14,5	18	24	31	42	56	73	89	108	136	164	188	216	245	286	-	-		
			3	-	13,5	18	24	31	42	56	73	89	108	136	164	188	216	245	286	-	-		
cavi in aria libera distanziati su un piano verticale (2)	13-14-15-16	PVC	2	-	19,5	26	35	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	-	-		
			3	-	15,5	21	28	36	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415	-	-		
cavi in aria libera distanziati su un piano verticale (2)	13-14-15-16	EPR	2	-	24	33	45	58	80	107	135	169	207	268	328	383	444	510	607	703	823	946	1088
			3	-	22	30	40	52	71	96	131	162	196	251	304	352	406	463	546	629	754	868	1005

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

¹ 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)

Metod. di install.	Altri tipi di posa della CEI 64-8	Isol.	n° conduttori caricati	Portata [A]																		
				Sezione nominale [mm ²]																		
				1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500
cavo in tubo		PVC	2	-	14	18,5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	192	219	248	291	334		
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		
			2	17	22	30	40	51	69	91	119	146	175	221	265	305	334	384	459	532		
			3	15	19,5	26	35	44	60	80	105	128	154	194	233	268	300	340	398	455		
			2	15	22	30	40	51	70	94	119	148	180	232	282	328	379	434	514	593		
cavo in aria libera, distanziato dalla parete/soffitto o su passerella	13-14-15-16-17	PVC	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		
			3	17	23	32	42	54	75	100	127	158	190	246	298	346	399	456	538	621		
cavo in aria libera, fissato alla parete/soffitto	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 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.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUZZORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.2.3.2 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUSSIONI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUTTORI E QUADRI	<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0

Metodi di install.	Altri tipi di posa della CEI 64-8	Isol.	n° conduttori caricati	Portata [A]																			
				Sezione nominale [mm ²]																			
				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	686	759	
cavi unipolari in tubo interrato	61	PVC	3	23	31	40	49	67	85	110	133	163	198	233	268	304	340	397	448	519	593	663	
			2	21	27	36	45	61	78	101	123	153	187	222	256	292	328	386					
			3	18	23	30	38	51	66	86	104	129	158	187	216	246	277	325					
cavi multipolari in tubo interrato	61	EPR	2	24	32	41	52	70	91	118	144	178	218	258	298	340	383	450	510	595	671	767	
			3	21	27	35	44	59	77	100	121	150	184	217	251	287	323	379	429	500	565	645	
			2	19	25	33	41	56	73	94	115	143	175	208	240	273	307	360					
		EPR	3	16	21	28	35	47	61	79	97	120	148	175	202	231	259	304					
			2	23	30	39	49	66	86	111	136	168	207	245	284	324	364	428					
			3	19	25	32	41	55	72	93	114	141	174	206	238	272	306	360					

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

6.2.4 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

soddisfatte le seguenti condizioni:

- il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di 16 mm²;;
- 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 mm² se il conduttore è in rame e a 25 mm² 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 mm² (conduttore in rame) e 25 mm² (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.

6.2.5 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

dove:

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

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

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

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUPTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.3 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).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUSSIONI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.4 Rifasamento

Dato un carico che assorbe la potenza attiva P_n e la potenza reattiva Q , per diminuire φ 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 Θ 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.

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 $I_{tarmag}= 10 I_{nc}$

6.5 Calcolo dei guasti

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

- guasto trifase (simmetrico);

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- 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.

6.5.1 Modellizzazione delle apparecchiature in rete

6.5.1.1 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 $m\Omega$:

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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:

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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:

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

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

6.5.1.2 Generatori

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- 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:

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

6.5.1.3 Motori asincroni

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

- U_m tensione nominale del motore [V] (concatenata per motori trifasi, di fase per motori monofasi collegati fase neutro o fase fase);
- I_{rm} corrente nominale del motore [A];
- S_{rm} potenza elettrica apparente nominale [kVA];
- P numero di coppie polari;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUPTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- I_{lr}/I_{rm} 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_{lr}/I_{rm} di 3.

L'impedenza del motore si calcola con la formula:

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

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

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 η rendimento del motore.

Quindi:

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUTTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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 ≥ 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.

$$R_d = R_M$$

$$X_d = X_M$$

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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

La reattanza è invece:

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

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

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

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

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

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

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

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

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

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

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

Per il conduttore di neutro si ha:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUTTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

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

Fase terra:

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUTTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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

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

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

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

$$I_{p1Neuro} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutr \max}$$

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

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

dove:

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

6.5.3 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 ci si riferisce al rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUTTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in servizio ordinario dal cavo. Essa viene indicata dalla norma CEI 64-8/4 par 434.3 nella quale sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUTTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.6 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

6.6.1 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:

- 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 [mm²]
- 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:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters \ min}$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<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.

6.6.2 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 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUSSIONI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

6.6.3 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:

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

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

Pertanto:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUPTORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Dove:

- U: è la tensione concatenata per i neutro non distribuito e di fase per neutro distribuito;
- ρ : 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 mm²;
- 0.85 per sezioni di 150 mm²;
- 0.8 per sezioni di 185 mm²;
- 0.75 per sezioni di 240 mm²;

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

6.7 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUSSIONI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.7.1 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.8 Calcoli dimensionali linee BT

I calcoli e le verifiche delle linee BT sono stati condotti con software dedicato AMPERE PROFESSIONAL® (versione 2009 - 7.3.5.), 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
- verifica termica dei quadri elettrici

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

7 Dimensionamento rete MT

7.1 Protezione da sovraccarico

Per il calcolo della sezione dei conduttori delle linee si utilizzerà il seguente procedimento:

- determinazione della corrente di impiego I_b dei circuiti a partire dalle potenze assorbite da ciascuna utenza e tenendo conto dei relativi fattori di utilizzo e di contemporaneità.
- scelta della sezione del cavo in maniera tale che risulti:

$$I_b \leq I_z$$
 dove:
 - I_b = corrente di impiego della linea;
 - I_z = portata della conduttura.
- determinazione della corrente di taratura della soglia di sovraccarico della protezione di massima corrente di media tensione a protezione della linea in cavo, inferiore alla I_z ;

Nella determinazione della portata I_z dei cavi in regime permanente si considerano gli opportuni coefficienti di riduzione relativi al cambiamento delle condizioni di riferimento nella posa,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

utilizzando la seguente espressione:

$$I_z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

dove con I_0 si indica la portata di conduttori unipolari interrati direttamente.

k_1 = coefficiente che tiene conto della temperatura ambientale per posa interrata;

k_2 = coefficiente che tiene conto della profondità di posa;

k_3 = coefficiente che tiene conto delle condizioni di posa (più cavi o tubi affiancati).

La portata viene calcolata in base alla norma IEC 60287 per le seguenti condizioni:

- temperatura del terreno: 20°C - $K_1=1$;
- profondità di posa: >0,60 m (resistività termica del terreno: 1 K*m/W) - $K_2= 1$;
- una sola terna di cavi entro tubo interrato - $K_3 = 0,82$.

7.2 Verifica della caduta di tensione

La verifica della caduta di tensione viene basata su un calcolo di load flow. Tale verifica consente di:

- valutare se la caduta di tensione eccede il limite fissato tra i dati di partenza in condizioni normali ed in condizioni di emergenza.

7.3 Tenuta termica al corto circuito massimo

Sulla base di un calcolo della corrente di corto circuito trifase massima (eseguito secondo la IEC 60909-2001) si determinano:

- la corrente massima di corto circuito che interessa il tratto di cavo;
- l'energia massima K^2S^2 tollerabile dal cavo, determinando il tempo massimo "tmax" entro il quale la protezione deve intervenire per non superarla in corrispondenza alla massima corrente di corto circuito sopra calcolata.

dove:

- K = coefficiente di dispersione del calore, dipendente dal tipo di cavo (per cavi in rame isolati con gomma etilenpropilenica e propilene reticolato, vale 143)
- S = sezione del conduttore in mm²
- I = corrente massima di guasto in A

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUSSIONI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- t = durata del guasto in s

7.4 Analisi e verifiche della rete MT

L'analisi e le verifiche della rete MT sono stati condotti con software dedicato NEPLAN® (versione. 5.4.3). Con tale software sono possibili i seguenti studi:

- load-flow su reti simmetriche ed asimmetriche
- load-flow con profili di carico
- correnti di corto circuito (secondo IEC 60909)
- armoniche
- selettività e coordinamento delle protezioni di massima corrente
- coordinamento protezioni distanziometriche
- verifica portata cavi
- verifica TA
- affidabilità delle reti
- stabilità transitoria
- transitori elettromagnetici
- ottimizzazione posizione batterie di rifasamento su reti MT

I report di calcolo e verifica delle reti MT sono riportati nell'Allegato 2.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8 Dimensionamento impianti di ventilazione e climatizzazione locali tecnici

La stima del fabbisogno di potenza per il raffreddamento estivo e il riscaldamento invernale dei locali tecnici è stata effettuata in funzione delle temperature limiti ammissibili all'interno dei locali stessi, considerando la tipologia dell'involucro edilizio, le condizioni esterne estive ed invernali, gli apporti di potenza da parte di apparecchiature ed ausiliari contenuti, l'eventuale presenza di persone ed altri dati desunti dalla letteratura esistente in materia.

Quando risulti necessario raffreddare l'ambiente, la potenza sarà smaltita tramite ventilazione naturale e/o meccanica (qualora la temperatura ambiente possa superare di qualche grado la temperatura esterna massima) ovvero sarà smaltita tramite condizionatore (nel caso la temperatura ambiente debba essere mantenuta più bassa).

Quando risulti necessario riscaldare l'ambiente, la potenza sarà invece erogata da una pompa di calore o termoconvettore elettrico.

I calcoli effettuati per il dimensionamento dei ventilatori e delle macchine di condizionamento dei locali tecnici sono riassunti nell'allegato 3, organizzato con schede suddivise per locale, di cui si fornisce una breve spiegazione.

Nella prima parte di ciascuna scheda, "Dati iniziali", sono indicati i parametri termo-igrometrici di riferimento utilizzati per il calcolo (parametri esterni della località di installazione e parametri interni che si vogliono garantire), nonché le caratteristiche geometriche del locale.

Nella parte successiva, viene riportato il calcolo della potenza termica massima da smaltire nel periodo estivo (agli apporti interni dovuti alle perdite per effetto joule delle apparecchiature elettriche e/o elettroniche installate, si sommano gli eventuali apporti estivi delle strutture).

In modo analogo viene calcolata la potenza termica massima da garantire nel periodo invernale affinché la temperatura dell'ambiente non scenda sotto il valore prefissato (in questo caso, gli apporti interni devono essere sottratti alla potenza termica richiesta).

Infine, si riporta il calcolo della portata di ventilazione necessaria per garantire le prestazioni sopra indicate e i dati del relativo impianto ovvero le caratteristiche del sistema di condizionamento / riscaldamento.

8.1 Ventilazione e caratteristiche del locale batterie

Nei locali in cui sono presenti delle batterie sussiste il pericolo di esplosione dovuto all'emissione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUITORI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

nell'ambiente di idrogeno, che si sprigiona a seguito dell'elettrolisi dell'acqua.

Vanno pertanto previste opportune aperture per la ventilazione, in modo da diluirne la concentrazione nei locali stessi.

Di seguito si descrivono le verifiche in accordo alla Norma EN 50272, in relazione a:

- portata d'aria di ventilazione necessaria in un locale
- superficie delle aperture di ventilazione che garantiscono la portata d'aria necessaria

La portata d'aria Q necessaria per questo scopo può essere calcolata con la seguente formula:

$$Q = 0.05 \cdot n \cdot I_{gas} \cdot C_{rt} / 1000 \quad [m^3 / h]$$

dove:

- 0.05 = coefficiente che tiene conto dell'usuale quantità di idrogeno prodotta nel processo di elettrolisi (0.42 l/h per ogni Ah), la necessaria percentuale di diluizione (<30%) e un coefficiente di sicurezza pari a 5;
- n = numero di elementi;
- I_{gas} = corrente che produce gas [mA/Ah];
- C_{rt} = capacità nominale della batteria [Ah].

L'area necessaria per le aperture di ventilazione è quindi:

$$S = \frac{Q}{v} \quad [m^2]$$

dove:

- Q = flusso d'aria [m3/s]
- v = velocità dell'aria per ventilazione naturale [m/s] = 0.1 m/s

Nelle immediate vicinanze di una batteria in carica, la norma EN 50272 prevede l'esistenza di una zona pericolosa che deve essere classificata secondo quanto previsto dalla Norma EN 60079-10, come zona 1.

Si definisce la distanza d , variabile con le caratteristiche delle batterie e rappresentativa di un'area attorno alle sorgenti presenti, che è calcolata con la formula seguente:

$$d = 28.8 \cdot \sqrt[3]{I_{gas}} \cdot \sqrt[3]{C_{rt}} \quad [m]$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CAVI, INTERRUSSIONI E QUADRI		<i>Codice documento</i> CS0882_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

per batterie monoblocco con N celle per monoblocco, la distanza va moltiplicata per il coefficiente $\sqrt[3]{N}$

9 Allegati

Gli allegati sono organizzati nei seguenti documenti:

- Allegato 1: Calcoli linee BT
- Allegato 2: Dimensionamento rete di media tensione (MT)
- Allegato 3: Dimensionamento ventilazione e condizionamento locali tecnici