



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</p> <p>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></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>IMPIANTI TECNOLOGICI ELETTROFERROVIARI DI LINEA</p> <p>IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE</p> <p>GALLERIA NATURALE - SANTA CECILIA</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM</p>	<p>SF0627_F0</p>
---	---	------------------

CODICE	C G 0 7 0 0	P	4	R	D	S	F	I	F	M	G	N	9	C	0	0	0	0	1	F0
--------	-------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

INDICE

INDICE.....	3
1 Introduzione	6
2 Denominazioni ed abbreviazioni utilizzate	7
3 Leggi e norme di riferimento	11
4 Dati e requisiti di base del progetto	15
5 Descrizione sintetica dell'impianto.....	16
5.1 Impegno di potenza complessivo	16
5.2 Sistemi elettrici di alimentazione in galleria e nei piazzali	19
5.3 Sistemi di alimentazione di emergenza	20
6 Dimensionamento apparecchiature elettriche principali	21
6.1 Apparecchiature di cabina	21
6.2 Apparecchiature di QdT e QdB	26
6.3 Apparecchiature nei locali Centrali Antincendio	30
7 Dimensionamento linee BT.....	32
7.1 Calcolo delle correnti d'impiego.....	32
7.2 Dimensionamento e verifica a sovraccarico dei cavi.....	33
7.2.1 Generalità.....	33
7.2.2 Modalità di posa	35
7.2.3 Determinazione della portata	40
7.2.3.1 Cavi isolati in PVC ed EPR (CEI-UNEL 35024/1)	40
7.2.3.2 Cavi interrati (CEI-UNEL 35026).....	44
7.2.4 Dimensionamento dei conduttori di neutro.....	46
7.2.5 Dimensionamento dei conduttori di protezione	47
7.2.6 Calcolo della temperatura dei cavi	47
7.3 Cadute di tensione.....	48
7.4 Rifasamento	49
7.5 Calcolo dei guasti	50
7.5.1 Modellizzazione delle apparecchiature in rete	50
7.5.1.1 Trasformatori.....	50
7.5.1.2 Generatori	52
7.5.1.3 Motori asincroni.....	53

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7.5.2	Calcolo delle correnti massime di cortocircuito	54
7.5.3	Calcolo delle correnti minime di cortocircuito	57
7.6	Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture	59
7.6.1	Generalità.....	59
7.6.2	Integrale di Joule	60
7.6.3	Massima lunghezza protetta	61
7.7	Verifica contatti indiretti	62
7.7.1	Sistema di distribuzione TN.....	62
7.7.2	Sistema di distribuzione IT	63
7.7.2.1	Caso del 1° guasto.....	64
7.7.2.2	Caso del 2° guasto.....	64
7.8	Dimensionamento dei sistemi LFM di distribuzione a 400-230 V	66
7.9	Dimensionamento dei sistemi LFM a 1000 V in galleria.....	67
7.10	Valore della resistenza di messa a terra del centro stella dei trasformatori BT a servizio degli impianti nei bypass	67
8	Dimensionamento rete MT	69
8.1	Protezione da sovraccarico	69
8.2	Verifica della caduta di tensione.....	69
8.3	Tenuta termica al corto circuito massimo	70
8.4	Analisi e verifiche della rete MT.....	70
9	Dimensionamento impianti di ventilazione e climatizzazione locali tecnici.....	72
9.1	Ventilazione e caratteristiche del locale batterie	72
10	Dimensionamento impianti di terra di cabina MT/bt.....	74
10.1	Leggi e norme di riferimento.....	74
10.2	Definizioni.....	75
10.3	Dispersore	75
10.4	Impianto di terra interno.....	78
10.5	Considerazioni aggiuntive	82
10.6	Posizionamento al di fuori delle zona di rispetto TE.....	83
11	Dimensionamento impianti di illuminazione	84
11.1	Impianti di illuminazione in galleria	84
11.1.1	Illuminazione di emergenza.....	84
11.1.2	Illuminazione nei by pass e pozzi.....	85

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

11.1.3	Calcoli illuminotecnici	85
11.2	Impianti di illuminazione in aree esterne	86
11.2.1	Aree di piazzale	86
11.2.2	Punte di scambio	87
11.2.3	Calcoli illuminotecnici	87
12	Calcolo punti controllati sistema di supervisione.....	89
13	Verifica della necessità di impianto di protezione contro le scariche atmosferiche.....	89
14	Allegati	90

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_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 agli impianti tecnologici LFM da realizzare a servizio della galleria S. Cecilia e dei piazzali: Posto di manutenzione, Cabina Intermedia, Piazzale Emergenza verso Stazione di Messina, previsti lungo i collegamenti ferroviari lato Sicilia, 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), degli impianti di Bassa Tensione (BT), degli impianti di terra nelle cabine MT/BT, degli impianti di illuminazione in galleria / piazzali e degli impianti di supervisione LFM, intende evidenziare:

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

In particolare, per alcune tipologie impiantistiche (quali reti MT e BT ed impianti di terra di cabina), 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2 Denominazioni ed abbreviazioni utilizzate

GENERALE

SdM:	Stretto di Messina
ANSF:	Agenzia Nazionale Sicurezza Ferroviaria
ERA:	European Railway Agency
CE:	Commissione europea
RFI:	Società Rete Ferroviaria Italiana
CG:	Contraente Generale
PDG:	Progetto Preliminare di Gara
PDE:	Progetto Definitivo
FV:	Fabbricato viaggiatori
MM:	Magazzino merci
RL:	Rimessa locomotive
PC e PS:	Posto centrale e posto satellite
PBI:	Posto di blocco intermedio
PBA:	Posto di blocco automatico
PE:	Piazzale di Emergenza
PM:	Posto di Manutenzione
PM:	Posto di movimento
PC:	Posto di comunicazione
SCC	Sistema di Controllo e Comando
UM:	Ufficio movimento
DL:	Deposito locomotive
UMR:	Ufficio materiale rotabile
STI:	Specifica Tecnica Interoperabilità
AV/AC:	Alta Velocità/Alta Capacità
ERTMS:	European Rail Traffic Management System

Personale

DU:	Dirigenza unica
DC:	Dirigente centrale
DCO:	Dirigente centrale operativo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

DOTE: Dirigente operativo trazione elettrica
DM: Dirigente movimento
AG: Agente di guardia
PdB: Personale di Bordo
PdM: Personale di macchina
PdS: Personale di stazione
PdC: Personale di condotta
CT: Capotreno

Segnalamento – Trazione

ACEI: Apparato Centrale Elettrico a pulsanti di Itinerari
ACC: Apparato Centrale Computerizzato
ACSV: Apparato centrale statico a calcolatore vitale
BEM: Blocco elettrico manuale
BCA: Blocco conta assi
BEA: Blocco elettrico automatico
GA: Gestori di Area
RTB: Rilevamento temperatura boccole
SCMT: Sistema controllo marcia treno

Energia

MT: Media Tensione
BT (bt): Bassa Tensione
c.c.: Corrente continua
c.a.: Corrente alternata
CF: Controllo Fumi
LFM: Luce e Forza Motrice
TE: Energia e trazione elettrica
SSE: Sottostazione Elettrica (a servizio della trazione ferroviaria)
QdB: Quadro/i di by-pass
QdP: Quadro/i di Piazzale
QdT: Quadro/i di Tratta
UdB: Unità di by-pass

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

UdP:	Unità di Piazzale
UdT:	Unità di Tratta
RIPC:	Relè indiretto di Protezione e Controllo (generico)
RIPC-A:	Relè indiretto di Protezione e Controllo di tipo Amperometrico
RIPC-V:	Relè indiretto di Protezione e Controllo di tipo Voltmetrico
PSTG:	Protezione e Selezione del Tratto Guasto
MAE:	Modulo Analogiche Esterne
PMAE:	Modulo Periferica Analogiche Esterne
SAP:	Sodio ad Alta Pressione
GE:	Gruppo Elettrogeno
UPS:	Gruppo di continuità assoluta

Telecomunicazioni - generale

ADM:	(Add Drop Multiplexer) Apparatì attivi del sistema SDH
ATA:	Analog Telephone Adapter
BACKBONE:	Dorsale di rete dati
BSC:	(Base Station Controller) Unità di controllo delle BTS del sistema GSM-R.
BTS:	(Base Transceiver Station) Stazione base ricetrasmittente GSM-R.
CARRIER:	Operatore delle telecomunicazioni
GSM:	Global System for Mobile Communications
GSM-R:	Global System for Mobile Communications - Railway
IRG:	Radiopropagazione GSM
LAN:	Local Area Network
LSZH:	Low Smoke Zero Halogen
MSC:	Mobile Switching Centre
NMS:	Network Management System
NOC:	Network Operating Centre
NZD:	Non Zero Dispersion
SDH:	(Synchronous Digital Hierarchy) Sistema di trasporto del segnale digitale
TT:	Telecomunicazioni
TEM:	Telefonia di Emergenza
DS:	Diffusione sonora di emergenza
SM-R:	Single Mode Reduced

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

SM-NZD:	Single Mode – Non Zero Dispersion
STM:	Synchronous Transfer Module
STSI:	Sistema di telefonia selettiva integrata
CTS:	Centrale telefonica selettiva
SPVI:	Supervisione Integrata
VC:	Virtual Container
WAN:	Wide Area Network

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

Norme e specifiche impianti ferroviari I.S.

- IS 365: 2008 Norma Tecnica per la fornitura ed il collaudo di trasformatori monofasi e trifasi a raffreddamento naturale in aria destinati agli impianti di sicurezza e segnalamento;
- IS 728: 1999 Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra degli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) su: linee di trazione elettrica a corrente continua a 3000 V e linee ferroviarie non elettrificate

Norme e specifiche impianti ferroviari L.F.M.

- LF 606: 1987 Norme tecniche per la fornitura per la fornitura ed il collaudo di lampade fluorescenti
- LF 608: 2005 Specifica tecnica di costruzione per sistema di supervisione e controllo per applicazioni L.F.M.
- LF 609: 2004 Specifica tecnica di costruzione per impianti di riscaldamento scambi di tipo elettrico con cavi autoregolanti
- LF 610: 2010 Specifica tecnica di costruzione per il miglioramento della sicurezza nelle gallerie ferroviarie. Sottosistema L.F.M.
- LF 611: 2009 Specifica tecnica di costruzione impianto illuminazione di emergenza gallerie ferroviarie di lunghezza compresa fra 500 m e 1000 m
- LF 651
- LF 663: 1984 Proiettori tipo FS a fascio medio e a fascio stretto per l'illuminazione dei piazzali ferroviari e grandi aree in genere
- LS 664: 1996 Specifica Tecnica per la fornitura di apparecchi illuminanti per lampade fluorescenti
- LF 680: 1985 Capitolato tecnico per la realizzazione di impianti di illuminazione nei piazzali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

ferroviari e grandi aree in genere

- LF 690: 1987 Sostegni portafaro a pannello mobile h=18 m fuori terra per l'illuminazione di SSE, punte scambi e piccole aree di stazioni ferroviarie
- Quadri elettrici di Media Tensione di tipo modulare prefabbricato, documento RFI.DMA.IM.LA.LG.IFS.300.A: 2006
- Sistema di governo per impianti di trasformazione e distribuzione energia elettrica, documento RFI.DMA.IM.LA.LG.IFS.500.A: 2006

Norme e specifiche impianti ferroviari T.E.

- TE 29: 1997 Trasformatore monofase di corrente MT da esterno per dispositivo di protezione trasformatore SA
- TE 54: 1991 Alimentatori stabilizzati caricabatterie per le sottostazioni elettriche di conversione
- TE 107: 1980 Trasformatori trifasi per servizi ausiliari delle sottostazioni elettriche
- TE 159: 2005 Cavi elettrici in media ed alta tensione
- TE 160: 1999 Progettazione e costruzione di linee in cavo M.T. e A.T.
- TE 161: 2004 Apparecchio illuminante in galleria
- TE 189: 1976 Cassette stagne per derivazione da trasformatori di misura
- TE 651: 1990 Capitolato tecnico per la realizzazione di impianti di illuminazione nelle Stazioni
- TE 652: 1992 Norme Tecniche per la fornitura di cavi elettrici per posa fissa per impianti luce e forza motrice non propaganti l'incendio e a ridotta emissione di fumi, gas tossici e corrosivi
- TE 653: 1992 Norme Tecniche per la fornitura di cavi elettrici per posa fissa per impianti di emergenza e sicurezza resistenti al fuoco non propaganti l'incendio e a ridotta emissione di fumi, gas tossici e corrosivi
- TE 666: 1992 Trasformatori di potenza MT/bt con isolamento in resina epossidica
- IFS 600: 2008 Torri portafaro a corona mobile
- IFS 177: 2008 Sezionamento della linea di contatto e messa a terra di sicurezza per gallerie ferroviarie (DM 28.10.05)
- CEI 9-6/1 EN 50122 – 1 1998 Applicazioni ferroviarie, tramviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- CEI 9-6/2 EN 50122 – 2 1999 Applicazioni ferroviarie, tramviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione a corrente continua

Altre norme e specifiche impianti ferroviari

- I.TC/8565 Unità numeriche di protezione a microprocessore per massima corrente 50/51/51N
- Norme CEI nelle edizioni più recenti relative a tutti i macchinari, apparecchiature e materiali degli impianti elettrici nonché all'esecuzione degli impianti stessi, nonché nelle modificazioni UNI ed UNEL già rese obbligatorie con decreti governativi nei modi e termini stabiliti dai decreti stessi o, in ogni modo, già definiti e pubblicati, per quanto applicabili
- Norme Tecniche per la messa a terra degli impianti di sicurezza e segnalamento (Circolare ES.I/S/105851 del 04/06/92)
- Manuale di progettazione gallerie, documento RFI.DINIC.MA.GA.GN.00.001.B edizione 2003

Altre norme

- Norma UNI EN 40 - Norme relative ai pali per illuminazione pubblica
- Norma UNI 10819 – Luce e illuminazione - Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso
- Norma UNI 11248 - Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche
- Norme UNI 13201-2 - Illuminazione stradale - Parte 2: Requisiti prestazionali
- Norme UNI 13201-3 Illuminazione stradale - Parte 3: Calcolo delle prestazioni
- Norme UNI 13201-4 - Illuminazione stradale - Parte 4: Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche
- Norma UNI EN 12464-2 – Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 2: Posti di lavoro in esterno
- Norma UNI EN 13032-1 – Luce e illuminazione - Misurazione e presentazione dei dati fotometrici di lampade e apparecchi di illuminazione - Parte 1: Misurazione e formato di file

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

4 Dati e requisiti di base del progetto

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

- Ubicazione e altitudine: Messina <100 s.l.m.
- Temperature di riferimento:
 - Tmax int.: 40°C
 - Tmin int.: 5°C
 - Test.: 34°C - Uest.: 40%
 - Test.: 3°C - Uest.: 85%

Per lo sviluppo progettuale degli impianti sono stati assunti come riferimento i seguenti dati caratteristici:

- 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
- Dati rete di alimentazione SSE RFI:
 - tensione di alimentazione: 20kV \pm 10%
 - corrente di cortocircuito trifase nel punto di consegna MT: 16 kA
 - tempo di intervento protezioni: < 1s
- Caduta di tensione massima:
 - linee principali di distribuzione 1000V: <4%
 - linee secondarie di distribuzione 400-230 V: <4%
- Margine di potenza trasformatori: 15%
- Margine di potenza su apparecchiature (UPS, sistemi accumulo energia, ecc): 20%
- 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 / diametro circoscritto al fascio dei cavi \geq 1.3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5 Descrizione sintetica dell'impianto

Il presente documento considera le seguenti principali opere relative ai collegamenti ferroviari, lato Sicilia:

Lato	Opera	Dato dimensionale
Sicilia	Galleria Santa Cecilia	Lunghezza fornici pari / dispari 11.870 / 11.808 m
Sicilia	Posto di Manutenzione (*)	Superficie 38.150 m ²
Sicilia	Piazzale cabina intermedia	Superficie 930 m ²
Sicilia	Piazzale di emergenza verso Stazione di Messina	Superficie 9.000 m ²

Gli impianti elettrici di potenza a servizio delle suddette opere sono stati progettati in accordo alle seguenti ipotesi di base:

- Per ogni galleria ferroviaria del lato Siciliano, l'alimentazione ordinaria dell'impianto è stata derivata a 20 kV dalla rete MT dell'ente fornitore (ENEL) o di RFI, in corrispondenza a cabine poste nei piazzali agli imbocchi dei tunnel.
- Nella galleria S. Cecilia, lato Sicilia, si è prevista la posa di una linea di MT, passante in galleria, al fine di connettere le cabine agli imbocchi e consentire l'alimentazione delle cabine asservite alle stazioni interrate (Annunziata ed Europa) e di una cabina MT/bt intermedia tra gli imbocchi.

5.1 Impegno di potenza complessivo

Per la rete MT della tratta siciliana sono stati previsti n. 3 punti di fornitura, così definiti:

- Alimentazione MT (1) presso la nuova cabina MT/bt in piazzale di emergenza verso "Opera di Attraversamento" di galleria S. Agata (A), progressiva 0+960,00 (binario pari, di seguito B.P.), derivata dalla S.S. Enel "Messina Riviera".
- Alimentazione MT (2) presso la nuova cabina MT/bt in posto di manutenzione (B), progressiva 5+600,00 (B.P.), derivata dalla nuova SSE – RFI "La Guardia".
- Alimentazione MT (3) presso la nuova cabina MT/bt in piazzale di emergenza di stazione di Messina (C), progressiva 17+800,00 (B.P.), derivata dalla S.S. Enel "Contesse".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nelle seguenti tabelle sono riassunte le principali utenze alimentate dalla rete MT in oggetto, in condizioni di emergenza. Per la determinazione della potenza attiva necessaria presso i diversi punti di fornitura dell'energia elettrica si sono considerati i seguenti scenari:

- a) utenze connesse a fornitura (1) e guasto sul punto di fornitura (2)
- b) utenze connesse a fornitura (2) e guasto sul punto di fornitura (3)
- c) utenze connesse a fornitura (3) e guasto sul punto di fornitura (2)

Denominazione punto di fornitura	Fornitura	Vn	Potenza [kW]
(1) Piazzale Emergenza S. Agata - Opera Attraversamento	ENEL (ME Riviera)	20 kV	3100
(2) Posto di manutenzione	RFI (La Guardia)	20 kV	5600
(3) Piazzale di Emergenza S. Cecilia - Stazione di Messina	ENEL (Contesse)	20 kV	5200

Tabella 5-1

Utenze connesse alla fornitura (1)	Potenza nom. [kW]	ku*kc	Potenza [kW]
1- Stazione Papardo e relativi pozzi di ventilazione			
Servizi (L,FM, scale mobili)	400	0,85	340
Ventilazione pozzo 1	670	0	0
Ventilazione stazione	1340	0,85	1139
Ventilazione pozzo 2	670	1	670
Impianti idrici	140	0,85	119
Impianti IS	40	0,85	34
2- Piazzale di Emergenza S. Agata verso Opera di Attraversamento			
Servizi (L,FM di piazzale)	75	1	75
Impianti LFM di galleria S. Agata	180	1	180
Impianti idrici	45	1	45
Impianti IS	20	1	20
3- Posto di manutenzione			
Servizi (L,FM di piazzale)	105	1	105
Edifici	180	1	180
Impianti LFM di galleria S. Agata	180	0	0
Impianti LFM di galleria S. Cecilia nord	255	0	0
Impianti idrici	110	1	110
Impianti IS	40	0.9	36
TOTALE			3053

Tabella 5-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		Codice documento SF0627_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

Utenze connesse alla fornitura (2)	Potenza nom. [kW]	ku*kc	Potenza [kW]
1- Stazione Annunziata e relativi pozzi di ventilazione			
Servizi (L,FM, scale mobili)	480	0,85	408
Ventilazione pozzo 1	670	0	0
Ventilazione stazione	1420	0,85	1207
Ventilazione pozzo 2	445	1	445
Impianti idrici	160	0,85	136
Impianti IS	40	0,85	34
2- Stazione Europa e relativi pozzi di ventilazione			
Servizi (L,FM, scale mobili)	450	0,85	383
Ventilazione pozzo 3	445	1	445
Ventilazione stazione	1330	0,85	1131
Ventilazione pozzo 4	670	0	0
Impianti idrici	170	0,85	145
Impianti IS	20	0,85	17
3- Posto di manutenzione			
Servizi (L,FM di piazzale)	105	1	105
Edifici	180	1	180
Impianti LFM di galleria S. Agata	180	0	0
Impianti LFM di galleria S. Cecilia nord	255	1	255
Impianti idrici	110	0,5	55
Impianti IS	40	0,9	36
4- Cabina MT/bt intermedia			
Servizi (L,FM di cabina)	65	1	65
Impianti LFM di galleria S. Cecilia sud	270	1	270
Impianti LFM di galleria S. Cecilia nord	255	0	0
Impianti idrici	100	1	100
5- Piazzale di Emergenza S. Cecilia in Stazione di Messina			
Servizi (L,FM di piazzale)	75	1	75
Impianti LFM di galleria S. Cecilia sud	270	0	0
Impianti idrici	45	1	45
Impianti IS	20	1	20
TOTALE			5557

Tabella 5-3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Utenze connesse alla fornitura (3)	Potenza nom. [kW]	ku*kc	Potenza [kW]
1- Stazione Annunziata e relativi pozzi di ventilazione			
Servizi (L,FM, scale mobili)	480	0,85	408
Ventilazione pozzo 1	670	0	0
Ventilazione stazione	1420	0,85	1207
Ventilazione pozzo 2	445	1	445
Impianti idrici	160	0,85	136
Impianti IS	40	0,85	34
2- Stazione Europa e relativi pozzi di ventilazione			
Servizi (L,FM, scale mobili)	450	0,85	383
Ventilazione pozzo 3	445	1	445
Ventilazione stazione	1330	0,85	1131
Ventilazione pozzo 4	670	0	0
Impianti idrici	170	0,85	145
Impianti IS	20	0,85	17
3- Cabina MT/bt intermedia			
Servizi (L,FM di cabina)	70	1	70
Impianti LFM di galleria S. Cecilia sud	270	0	0
Impianti LFM di galleria S. Cecilia nord	255	1	255
Impianti idrici	100	1	100
4- Piazzale di Emergenza S. Cecilia in Stazione di Messina			
Servizi (L,FM di piazzale)	75	1	75
Impianti LFM di galleria S. Cecilia sud	270	1	270
Impianti idrici	45	1	45
Impianti IS	20	1	20
TOTALE			5186

Tabella 5-4

5.2 Sistemi elettrici di alimentazione in galleria e nei piazzali

La galleria in oggetto è dotata dei seguenti sistemi elettrici:

- Sistema a 1000 Vac, con distribuzione TN-S per il collegamento tra QdP e QdT e tra i diversi QdT. La distribuzione tra quadri è realizzata tramite conduttori in cavo FG10(O)M1 0.6/1 kV (secondo specifica TE 652 Ed. 1992) per le fasi e cavo N07G9-K per PE, per ciascun binario, posti all'interno di tubazioni/cunicoli sotto-marciapiede in galleria.
- Sistema a 400 V, con distribuzione IT (centro stella trasformatori a terra con impedenza), per

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

alimentazione dei by-pass. Su ogni QdT è prevista una protezione a servizio di uno specifico quadro elettrico di by-pass (QdB). Il sistema di distribuzione è realizzato tramite una specifica conduttura (a vista e/o interrata) ove verranno posti cavi multipolari FG10(O)M1 0.6/1 kV, di sezione adeguata, facenti capo ai QdT o ai QdB.

- Sistema a 230 V, con distribuzione IT, per alimentazione dei corpi illuminanti in galleria. La distribuzione viene realizzata per mezzo di una specifica conduttura metallica (opportunamente isolata / protetta dalle sovratensioni come richiesto dalla specifica IS 728) ove verranno posti cavi multipolari FG10(O)M1 0.6/1 kV, di sezione adeguata, facenti capo ai QdT.

Le utenze di/dei piazzale/i sono invece servite tramite i seguenti sistemi di distribuzione:

- Sistema a 400 V, con distribuzione TN-S. Tale sistema è realizzato tramite condutture (a vista e/o interrate) ove verranno posti cavi FG7(O)R 0.6/1 kV, di sezione adeguata, facenti capo ai Q_BT di piazzale.

5.3 Sistemi di alimentazione di emergenza

L'alimentazione agli impianti LFM a servizio delle opere in oggetto viene garantita in condizioni di emergenza nei modi di seguito elencati:

- Alimentazione ordinaria ridondata: la galleria in oggetto viene alimentata da due cabine posizionate agli imbocchi contrapposti, ciascuna delle quali è connessa ad una diversa sottostazione/cabina primaria di ENEL o RFI, direttamente o tramite rete di MT. Ciò consente anche l'alimentazione di riserva nei piazzali esterni.
- Ciascun Q_BT di piazzale è provvisto di n.2 UPS (di tipo CSS Central Supply System, conformi alle norme EN 60171, CEI 62040, EN 62040-2) per l'alimentazione in continuità dei sistemi di controllo e di sicurezza (non IS) nelle cabine MT/bt e gli ausiliari dei QdP.
- Ciascun QdT è dotato di un sistema di riserva ed accumulo di energia, ridondata su due unità, per i servizi ausiliari di quadro.
- Ciascun QdB è dotato di un sistema di riserva ed accumulo di energia, ridondata su quattro unità. Due delle quattro unità garantiranno l'alimentazione in continuità dei servizi ausiliari di quadro. Le altre due unità garantiranno l'alimentazione in continuità dei sistemi di controllo accessi del by-pass e per gli ausiliari dei sistemi di ventilazione del by-pass.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6 Dimensionamento apparecchiature elettriche principali

Nel caso specifico, per dimensionamento delle apparecchiature elettriche principali si intende il dimensionamento di trasformatori, gruppi di continuità assoluta (UPS), soccorritori (CSS) e sistemi di accumulo dell'energia.

6.1 Apparecchiature di cabina

Di seguito sono inviate le principali caratteristiche delle seguenti apparecchiature elettriche principali di cabina:

- trasformatori MT/BT per servizi di piazzale
- trasformatori MT/BT per dorsali in galleria
- UPS / CSS per servizi di piazzale

La scelta delle taglie delle apparecchiature elettriche principali di cabina deriva dalla valutazione dei carichi da alimentare (nella peggiore condizione ovvero in caso di emergenza) che si riassumono nella seguente tabella, nella quale i valori si riferiscono alla potenza nominale derivata dai diversi quadri elettrici:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Cabina Posto di Manutenzione (*)					
	Piazzale	Galleria S. Agata - P	Galleria S. Agata - D	Galleria S. Cecilia P/N	Galleria S. Cecilia D/N
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
QdP					
- Dorsale binario P	-	90	-	126	-
- Dorsale binario D	-	-	90	-	126
Q_BT					
- UtENZE sezione normale	33,00	-	-	-	-
- Q_AI	84,00	-	-	-	-
- Q_SI	24,00	-	-	-	-
- SIAP	40,00	-	-	-	-
- Edifici	180,00	-	-	-	-
- Illuminazione esterna	50,00	-	-	-	-
- UtENZE sezione continuità	20,00	-	-	-	-
Potenza totale	432,00	90	90	126	126
Cos φ	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
FcxFu	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
Potenza totale [kVA]	432,00	100	100	140	140
Trasformatore					
- numero	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00
- tensioni nominali [kV]	20/0,4	20/1	20/1	20/1	20/1
- taglia [kVA]	500,00	200,00	200,00	200,00	200,00
- riserva di potenza	14%	50%	50%	30%	30%
UPS/CSS					
- numero	2,00				
- taglia [kVA]	30,00				
- autonomia [h]	1				
- riserva di potenza	33%				

Tabella 6-1

(*) Dalla cabina Posto di Manutenzione è prevista l'alimentazione della galleria S. Agata. . Per il dimensionamento delle apparecchiature a servizio esclusivo di questa galleria si rinvia a specifica relazione di calcolo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Cabina Intermedia galleria S. Cecilia					
	Piazzale	Galleria S. Cecilia P/N	Galleria S. Cecilia D/N	Galleria S. Cecilia P/S	Galleria S. Cecilia D/S
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
QdP					
- Dorsale binario P	-	126	-	134	-
- Dorsale binario D	-	-	126	-	134
Q_BT					
- UtENZE sezione normale	33,00	-	-	-	-
- Q_AI	75,00	-	-	-	-
- Q_SI	24,00	-	-	-	-
- SIAP	-	-	-	-	-
- Edifici	-	-	-	-	-
- Illuminazione esterna	10,00	-	-	-	-
- UtENZE sezione continuità	20,00	-	-	-	-
Potenza totale	162,00	126	126	134	134
Cos φ	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
FcxFu	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
Potenza totale [kVA]	162,00	140	140	148,89	148,89
Trasformatore					
- numero	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00
- tensioni nominali [kV]	20/0,4	20/1	20/1	20/1	20/1
- taglia [kVA]	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
- riserva di potenza	19%	30%	30%	26%	26%
UPS/CSS					
- numero	2,00				
- taglia [kVA]	30,00				
- autonomia [h]	1				
- riserva di potenza	33%				

Tabella 6-2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Cabina Piazzale emergenza Galleria S. Cecilia verso Stazione di Messina			
	Piazzale	Galleria S. Cecilia P/S	Galleria S. Cecilia D/S
	[kW]	[kW]	[kW]
QdP			
- Dorsale binario P	-	134	-
- Dorsale binario D	-	-	134
Q_BT			
- UtENZE sezione normale	33,00	-	-
- Q_AI	33,33	-	-
- Q_SI	12,00	-	-
- SIAP	20,00	-	-
- Edifici	-	-	-
- Illuminazione esterna	20,00	-	-
- UtENZE sezione continuità	20,00	-	-
Potenza totale	138,33	134	134
Cos φ	0,90	0,90	0,90
FcxFu	0,90	1,00	1,00
Potenza totale [kVA]	138,33	148,89	148,89
Trasformatore			
- numero	2,00	1,00	1,00
- tensioni nominali [kV]	20/0,4	20/1	20/1
- taglia [kVA]	200,00	200,00	200,00
- riserva di potenza	31%	26%	26%
UPS/CSS			
- numero	2,00		
- taglia [kVA]	30,00		
- autonomia [h]	1		
- riserva di potenza	33%		

Tabella 6-3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Come si evince dalle precedenti tabelle, 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/alimentatori elettronici in campo (ad esempio gli apparecchi illuminanti ed i ventilatori) sia con quadri di rifasamento automatico di cabina (per il solo quadro Q_BT).

Sono stati inoltre introdotti dei fattori di contemporaneità ed utilizzazione, con prodotto pari a 0,90 nei piazzali (alcune utenze non sono contemporanee) ed 1 per le gallerie.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle potenze assorbite dai vari Impianti (illuminazione, utenze meccaniche edifici e servizi ausiliari) si rinvia agli schemi unifilari dei quadri elettrici in oggetto.

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).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.2 Apparecchiature di QdT e QdB

Di seguito sono inviate le principali caratteristiche delle seguenti apparecchiature elettriche principali nei QdT e nei QdB:

- QdT: trasformatori BT/BT e sistema di accumulo dell'energia
- QdB: inverter e sistema di accumulo dell'energia

Nelle successive tabelle sono riportati i valori assunti per la potenza attiva dei diversi carichi alimentati dai QdT/QdB.

QUADRO DI TRATTA nei Nicchioni	N.	P utenza [W]	P totale [W]
SEZIONE NORMALE			
Resistenza anticondensa	1	100	100
Quadro prese VVF	1	1000	1000
Illuminazione con faro portatile	1	1000	1000
TEM + DS + Switch	1	400	400
P dissipata sistema di accumulo energia	1	9	9
Controllore isolamento sistema IT	1	10	10
MAE(230 Vac)	1	3	3
PMAE	4	5	20
Controllo collettivo (MAE/C)	2	5	10
Illuminazione di emergenza sx	10	20	200
Illuminazione di emergenza dx	10	20	200
Pulsante luminoso	3	5	15
Luce di riferimento nicchione	1	20	20
Illuminazione nicchione	1	43	43
Illuminazione punte di scambio	1	200	200
MATS	1	1200	1200
SEZIONE CA 24 Vdc			
Sistemi di protezione utenze QdT (SIF+BFO)	2	19	38
UdT (PLC) + Gateway	1	44,5	44,5
MAE (24Vdc)	1	10	10
Motorizzazioni interruttori di dorsale	2	150	300
Ausiliari QdT	1	50	50
Switch rete dati	1	10	10
POTENZA TOTALE			4.883
f.c.xf.u.			0,90
POTENZA [VA] (cos φ =0.9)			4.883

Tabella 6-4

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

QUADRO DI TRATTA nei By-pass	N.	P utenza [W]	P totale [W]
SEZIONE NORMALE			
Alimentazione QdB	1	13360	13360
Ventola quadro	1	48	48
Resistenza anticondensa	1	100	100
Quadro prese VVF	1	1000	1000
Illuminazione con faro portatile	1	1000	1000
TEM + DS + Switch	1	400	400
P dissipata sistema di accumulo energia	1	9	9
Controllore isolamento sistema IT	1	10	10
MAE(230 Vac)	1	3	3
PMAE	4	5	20
Controllo collettivo (MAE/C)	2	5	10
Illuminazione di emergenza sx	10	20	200
Illuminazione di emergenza dx	10	20	200
Pulsante luminoso	3	5	15
Luce di riferimento nicchione	1	20	20
Illuminazione nicchione	1	43	43
Illuminazione punte di scambio	1	200	200
MATS	1	1200	1200
SEZIONE CA 24 Vdc			
Sistemi di protezione utenze QdT (SIF+BFO)	2	19	38
UdT (PLC) + Gateway	1	44,5	44,5
MAE(24Vdc)	1	10	10
Motorizzazioni int. di dorsale	2	150	300
Ausiliari QdT	1	50	50
Switch rete dati	1	10	10
POTENZA TOTALE			18.290
f.c.xf.u.			0,90
POTENZA [VA] (cos φ =0.9)			18.290

Tabella 6-5

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		Codice documento SF0627_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

QUADRO DI BY-PASS	N.	P utenza [W]	P totale [W]
SEZIONE NORMALE			
Ventola quadro	1	48	48
Apparati SDH e GSM-R	1	3100	3100
Apparati GSM (IRG)	1	320	320
TEM + DS + Switch	1	400	400
P dissipata sistema di accumulo energia	2	9,5	19
Ventilatore	1	8334	8334
Resistenza anticondensa	1	100	100
Ventilatore locale GSM	1	200	200
Elettrovalvola antincendio	1	500	500
Centrale rivelazione incendio by-pass	1	70	70
Centrale rivelazione antintrusione	1	70	70
MAE(230 Vac)	1	3	3
PMAE	8	5	40
Illuminazione by-pass	8	43	344
Pulsante luminoso	2	5	10
SEZIONE CA 24 Vdc			
Centralina controllo vibrazioni ventilatore	1	8	8
Serranda motorizzata modulante	2	2	4
Serranda Tagliafuoco	2	8	16
Unità controllo porta	2	3,6	7,2
Elettroserratura	2	7,2	14,4
Lampada consenso porte	2	18	36
MAE(24Vcc)	1	10	10
UdB (PLC) + Gateway	1	44,5	44,5
Motorizzazioni sez. di rete	2	150	300
Commutatore automatico	1	5	5
Aux QdB	1	50	50
Switch	1	10	10
POTENZA TOTALE [W]			14.063
f.c.xf.u.			0,95
POTENZA VA (cos φ =0.9)			14.844

Tabella 6-6

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 con condensatori/alimentatori elettronici in campo (ad esempio gli apparecchi illuminanti ed i ventilatori).

Sono stati inoltre introdotti dei fattori di contemporaneità ed utilizzazione, con prodotto pari a 0,90 per i quadri di tratta e 0.95 per i quadri di bypass (alcune utenze, ad esempio motorizzazioni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

protezioni ed illuminazioni generali, non risultano contemporanee) .

Per ulteriori dettagli sulle potenze assorbite dalle diverse utenze si rinvia agli schemi unifilari dei quadri elettrici in oggetto.

La scelta delle taglie delle apparecchiature elettriche principali di QdT/QdB deriva dalla valutazione dei carichi da alimentare (nella peggiore condizione) che si riassumono nelle seguente tabella:

	QdT – nicchioni	QdT – by-pass	QdB
	[kW]	[kW]	[kW]
Sezione normale	4,9	18,3	14,8
Sezione ca 24 Vdc	0.3 (*)	0.3 (*)	0.5 (*)
Trasformatore	FF/FN	Dyn11	
-numero	1	1	
-tensioni nominali [kV]	1/0,23	1/0,4	
- taglia [kVA]	5	25	
Inverter			
- numero			2
- taglia [kW]			11
Sistema di accumulo energia			
- numero sistemi accumulo	2	2	4
- taglia sistemi accumulo [W]	360	360	360
- energia sistemi accumulo [kWs]	5	5	5
- numero trasformatori	2	2	2
- taglia trasformatori 1/0.23 kV [W]	500	500	500
- numero alimentatori	2	2	4
- taglia alimentatori 230/24 Vdc [W]	480	480	480

(*) con fattore di contemporaneità 1

Tabella 6-7

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.3 Apparecchiature nei locali Centrali Antincendio

Di seguito sono inviate le principali caratteristiche delle seguenti apparecchiature elettriche nei locali centrali antincendio previste nei piazzali in oggetto:

- Q_AI: quadro antincendio per alimentazione elettropompa
- Q_SI: quadro servizi antincendio per alimentazione impianti a servizio della centrale antincendio

In particolare, relativamente ai diversi piazzali si prevedono le seguenti centrali:

- Posto di Manutenzione: centrali C2 e C3
- Cabina intermedia di galleria S. Cecilia: centrali C4 e C5
- Piazzale di Emergenza galleria S. Cecilia verso Stazione di Messina: centrale C6

Nelle successive tabelle sono riportati i valori assunti per la potenza attiva dei diversi carichi alimentati dai Q_AI/Q_SI delle rispettive centrali antincendio.

QUADRO ANTINCENDIO Q_AI/C4	N.	P utenza [kW]	P totale [kW]
SEZIONE NORMALE			
Elettropompa antincendio	1	24,44	24,44
POTENZA TOTALE [kW]		24,44	24,44
f.c.			0,85
POTENZA [kVA] (cos φ =0,85)			28,75

Tabella 6-8

QUADRO ANTINCENDIO Q_AI/C5	N.	P utenza [kW]	P totale [kW]
SEZIONE NORMALE			
Elettropompa antincendio	1	50,00	50,00
POTENZA TOTALE [kW]		50,00	50,00
f.c.			0,85
POTENZA [kVA] (cos φ =0,85)			58,82

Tabella 6-9

QUADRO ANTINCENDIO Q_AI/C6	N.	P utenza [kW]	P totale [kW]
SEZIONE NORMALE			
Elettropompa antincendio	1	33,33	33,33
POTENZA TOTALE [kW]		33,33	33,33
f.c.			0,85
POTENZA [kVA] (cos φ =0,85)			39,31

Tabella 6-10

QUADRO ANTINCENDIO Q_SI/C4	N.	P utenza [kW]	P totale [kW]
SEZIONE NORMALE			
Quadro motopompa antincendio	1	1,5	1,5
Pompa svuotamento	1	2,11	2,11
Aeroterma	1	6,0	6,0
Elettrovalvola 1 on/off rete binario pari	1	0,556	0,556
Elettrovalvola 2 on/off rete binario dispari	1	0,556	0,556
Elettrovalvola 3 on/off alim. da acquedotto	1	0,556	0,556
Elettrovalvola 3 vie motopompa	1	0,556	0,556
POTENZA TOTALE [kW]		11,83	11,83
f.c.			0,882
POTENZA [kVA] (cos φ =0,882)			13,415

Tabella 6-11

QUADRO ANTINCENDIO Q_SI/C5	N.	P utenza [kW]	P totale [kW]
SEZIONE NORMALE			
Quadro motopompa antincendio	1	1,5	1,5
Pompa svuotamento	1	2,11	2,11
Aeroterma	1	6,0	6,0
Elettrovalvola 1 on/off rete binario pari	1	0,556	0,556
Elettrovalvola 2 on/off rete binario dispari	1	0,556	0,556
Elettrovalvola 3 on/off alim. da acquedotto	1	0,556	0,556
Elettrovalvola 3 vie motopompa	1	0,556	0,556
POTENZA TOTALE [kW]		11,83	11,83
f.c.			0,882
POTENZA [kVA] (cos φ =0,882)			13,415

Tabella 6-12

QUADRO ANTINCENDIO Q_SI/C6	N.	P utenza [kW]	P totale [kW]
SEZIONE NORMALE			
Quadro motopompa antincendio	1	1,5	1,5
Pompa svuotamento	1	2,11	2,11
Aeroterma	1	6,0	6,0
Elettrovalvola 1 on/off rete binario pari	1	0,556	0,556
Elettrovalvola 2 on/off rete binario dispari	1	0,556	0,556
Elettrovalvola 3 on/off alim. da acquedotto	1	0,556	0,556
Elettrovalvola 3 vie motopompa	1	0,556	0,556
POTENZA TOTALE [kW]		11,83	11,83
f.c.			0,882
POTENZA [kVA] (cos φ =0,882)			13,415

Tabella 6-13

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7 Dimensionamento linee BT

7.1 Calcolo delle correnti d'impiego

Per i carichi o utenze presenti nell'impianto la corrente d'impiego è definita 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:

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

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

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

La potenza di dimensionamento Pd 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 Pn, invece, è la potenza nominale del carico per utenze terminali, ovvero, la somma delle Pd delle utenze a valle (ΣPd a valle) per utenze di distribuzione (somma vettoriale).

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

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:

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

7.2 Dimensionamento e verifica a sovraccarico dei cavi

7.2.1 Generalità

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

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

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

dove:

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

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

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

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

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

La portata minima del cavo viene calcolata come:

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

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

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

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

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

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

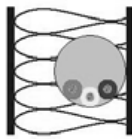
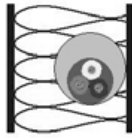
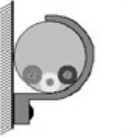
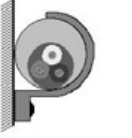
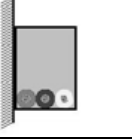
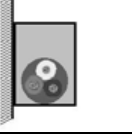
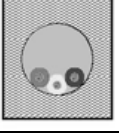
Risulta pertanto che, in base a tali normative, la condizione b) sarà sempre verificata.


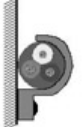

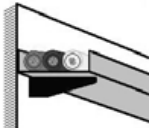
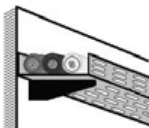
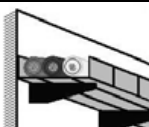
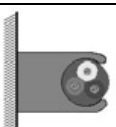



Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.




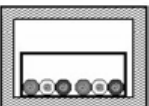
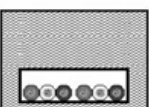
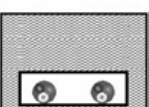
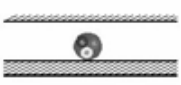
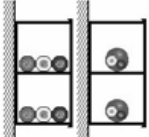
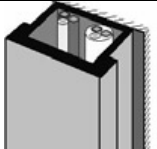

Nei capitoli che seguono sono specificate le modalità di posa contemplate dalla Norma CEI 64-8, le tabelle ricavate dalle norme di cui sopra e i diversi metodi per la determinazione della portata.


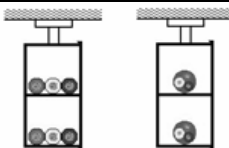

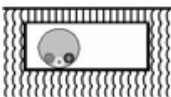
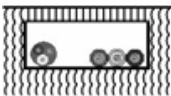
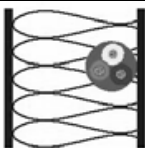

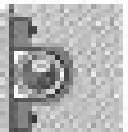
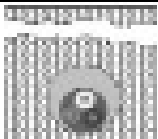

7.2.2 Modalità di posa

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

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	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
	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

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	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
	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

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	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
	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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

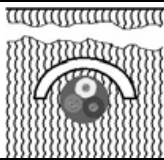
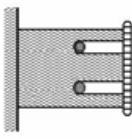



ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	63	cavi multipolari (o unipolari con guaina) interrati con protezione meccanica addizionale
	71	cavi senza guaina posati in elementi scanalati
	72	cavi senza guaina (o cavi unipolari con guaina o cavi multipolari) posati in canali provvisti di elementi di separazione: <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 7-1 - 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0

7.2.3 Determinazione della portata

7.2.3.1 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 7-2 - Fattore di correzione per conduttori in fascio F

Temperatura [°C]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
PVC	1,2	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.79	0.71	0,6	0,5	-	-	-	-
EPR	1,2	1.12	1.08	1.04	1.00	0.96	0,9	0.87	0.82	0.76	0,7	0,7	0,6	1	0,4

Tabella 7-3 - Influenza della temperatura k_1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0

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 7-4 - 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 7-5 - 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 ($K_2 = 1$).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 7-6 - 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	1-51-71-73-74	PVC	2	-	14,5	19,5	26	34	46	61	80	99	119	151	182	210	240	273	320	-	-	-	-				
			3	-	13,5	18	24	31	42	56	73	89	108	136	164	188	216	245	286	-	-	-	-				
			EPR	2	-	19	26	35	45	61	81	106	131	158	200	241	278	318	362	424	-	-	-	-			
		cavi in tubo in aria	3-4-5-22-23	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	-	-	-	-		
					EPR	2	17	23	31	42	54	75	100	133	164	198	253	306	354	402	472	555	-	-	-	-	
cavi in aria libera in posizione non a portata di mano	18	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	-	-	-	-				
			EPR	2	-	24	33	45	58	80	107	142	175	212	270	327	-	-	-	-	-	-	-	-			
		cavi in aria libera a trifoglio	11-12-21-25	PVC	3	-	19,5	26	35	46	63	85	110	137	167	216	264	308	356	409	485	561	656	749	855		
					EPR	3	-	24	33	45	58	80	107	135	169	207	268	328	383	444	510	607	703	823	946	1088	
					cavi in aria libera in piano a contatto	13-14-15-16-17	PVC	2	-	22	30	40	52	71	96	131	162	196	251	304	352	406	463	546	629	754	868
3	-	19,5	26	35				46	63	85	114	143	174	225	275	321	372	427	507	587	689	789	905				
EPR	2	-	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 orizzontale(2)	14-15-16	PVC	2	-	-	-	-	-	-	-	146	181	219	281	341	396	456	521	615	709	852	982	1138				
			3	-	-	-	-	-	-	-	146	181	219	281	341	396	456	521	615	709	852	982	1138				
			EPR	2	-	-	-	-	-	-	-	182	226	275	353	430	500	577	661	781	902	1085	1253	1454			
		cavi in aria libera distanziati su un piano verticale (2)	13-14-15-16	PVC	2	-	-	-	-	-	-	-	130	162	197	254	311	362	419	480	569	659	795	920	1070		
					3	-	-	-	-	-	-	-	130	162	197	254	311	362	419	480	569	659	795	920	1070		
					EPR	2	-	-	-	-	-	-	-	161	201	246	318	389	454	527	605	719	833	1008	1169	1362	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	161	201	246	318	389	454	527	605	719	833	1008	1169	1362						

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

¹ 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)

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.

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
cavo in tubo	2-51-73-74	PVC	2	-	14	18,5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	192	219	248	291	334	-	-	-
3			-	13	17,5	23	29	39	52	68	83	99	125	150	172	196	223	261	298	-	-	-	
incassato in 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	456	-	-	-
cavo in aria libera, distanziato	13-14-15-16-17	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			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	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			
alla parete/soffitto	12		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 7-8 - Portata cavi multipolari con e senza guaina con isolamento in PVC o EPR ¹

7.2.3.2 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 ktot è ottenuto dal prodotto dei coefficienti k1, k2, k3 e k4, 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).

k₁ è il coefficiente di correzione relativo alla temperatura del terreno

k₂ è il coefficiente di correzione per gruppi di circuiti installati sullo stesso piano

k₃ è il coefficiente di correzione relativo alla profondità di interramento

k₄ è il coefficiente di correzione relativo alla resistività termica del terreno

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)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0

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

Tabella 7-9 - Influenza della temperatura del terreno – k_1

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

Tabella 7-10 - 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 7-11 - 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 7-12 - Influenza della resistività termica del terreno – k_4

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Metod. 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	666	759
		EPR	3	23	31	40	49	67	85	110	133	163	198	233	268	304	340	397	448	519	583	663
			2	21	27	36	45	61	78	101	123	153	187	222	256	292	328	385				
			3	18	23	30	38	51	66	86	104	129	158	187	216	246	277	325				
cavi 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
		EPR	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				
cavi multipolari in tubo interrato	61	PVC	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				
			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 7-13 - Portata cavi unipolari con e senza guaina e cavi multipolari con isolamento in PVC o
EPR 2 3**

7.2.4 Dimensionamento dei conduttori di neutro

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

- il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di 16 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.

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

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.

² 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).

³ Per posa direttamente interrata con o senza protezione meccanica (posa 62 e 63), applicare il fattore correttivo 1,15 unitamente ai fattori correttivi K1, k2, k3, e k4.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7.2.5 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:

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

dove:

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

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

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

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

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

7.2.6 Calcolo della temperatura dei cavi

La valutazione della temperatura dei cavi si esegue in base alla corrente di impiego e alla corrente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.

7.3 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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).

7.4 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 $I_{tarth}=1.53 I_{nc}$.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.5 Calcolo dei guasti

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

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

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

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

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

7.5.1 Modellizzazione delle apparecchiature in rete

7.5.1.1 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 $m\Omega$:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

Resistenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

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

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:

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

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

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

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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

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

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

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

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

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

7.5.1.2 Generatori

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

- potenza nominale Pn (in kVA);
- reattanza sincrona percentuale xS;
- reattanza subtransitoria percentuale x";
- rapporto tra l'impedenza omopolare e l'impedenza sincrona Zog/ZS.

L'impedenza subtransitoria si calcola con la formula:

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

dalla quale si ricavano le componenti alla sequenza diretta:

$$R_d = 0$$

$$X_d = X''$$

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

L'impedenza sincrona si calcola con la formula:

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

Dalla quale, tramite il rapporto Zog/ZS, si ricavano le componenti omopolari:

$$R_0 = 0$$

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.5.1.3 Motori asincroni

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

- U_{rn} tensione nominale del motore [V] (concatenata per motori trifasi, di fase per motori monofasi collegati fase - neutro o fase - fase);
- I_{rm} corrente nominale del motore [A];
- S_{rm} potenza elettrica apparente nominale [kVA];
- P numero di coppie polari;
- I_{lr}/I_{rm} rapporto tra la corrente a 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

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:

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

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.

$$\begin{aligned}
R_d &= R_M \\
X_d &= X_M
\end{aligned}$$

7.5.2 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:

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

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

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

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

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

La reattanza è invece:

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

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

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

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

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

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

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

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

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

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

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

Per il conduttore di neutro si ha:

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

monte, espressi in mΩ:

$$\begin{aligned}
R_d &= R_{dcavo} + R_{dmonte} \\
X_d &= X_{dcavo} + X_{dmonte} \\
R_{0Neutro} &= R_{0cavoNeutro} + R_{0monteNeutro} \\
X_{0Neutro} &= X_{0cavoNeutro} + X_{0monteNeutro} \\
R_{0PE} &= R_{0cavoPE} + R_{0montePE} \\
X_{0PE} &= X_{0cavoPE} + X_{0montePE}
\end{aligned}$$

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

Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

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

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

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

Fase terra:

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

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

$$\begin{aligned}
I_{k \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \min}} \\
I_{k1Neutro \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutro \min}} \\
I_{k1PE \max} &= \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE \min}} \\
I_{k2 \max} &= \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k \min}}
\end{aligned}$$

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

$$I_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k \max} ; I_{p1Neutro} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutro \max} ; I_{p1PE} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1PE \max} ; I_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max}$$

dove:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

7.5.3 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 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:

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

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

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

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:

$$I_{k \min} = \frac{0,95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \max}}$$
$$I_{k1 \text{Neutr} \text{omin}} = \frac{0,95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{Neutr} \text{omax}}}$$
$$I_{k1 \text{PE} \min} = \frac{0,95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{PE} \max}}$$
$$I_{k2 \min} = \frac{0,95 \cdot V_n}{2 \cdot Z_{k \max}}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7.6 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

7.6.1 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:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters \ min}$.
- L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

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

7.6.2 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
- 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- 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

7.6.3 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:

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

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

Pertanto:

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

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);

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- Imag: 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.

7.7 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.

7.7.1 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

Tabella 7-14

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.

7.7.2 Sistema di distribuzione IT

Nel sistema IT le parti attive devono essere isolate da terra oppure collegate a terra attraverso un'impedenza di valore sufficientemente elevato.

Nel caso di un singolo guasto a terra la corrente è debole e non è necessario interrompere il circuito se è verificata la condizione relativa alla tensione limite di contatto (CEI 64-8, 413.1.5.2). Si devono tuttavia prendere precauzioni per evitare il rischio di effetti fisiologici dannosi su persone in contatto con le parti conduttrici simultaneamente accessibili nel caso di doppio guasto a terra.

La protezione contro i contatti indiretti, in un sistema IT, deve essere quindi garantita mediante le

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

seguenti misure:

- Installazione di dispositivi per il controllo dell'isolamento a funzionamento continuo che deve azionare un segnale sonoro e/o visivo nel caso di primo guasto a terra
- Utilizzo di dispositivi di protezione contro le sovracorrenti e dispositivi a corrente differenziale in caso di secondo guasto a terra

7.7.2.1 Caso del 1° guasto

La corrente di guasto di tipo capacitivo che si verifica nel caso di un primo guasto a terra assume un valore assai modesto. Questa corrente non è in grado di far intervenire i dispositivi di protezione a sovracorrente. Il circuito non si interrompe e viene così assicurata la continuità del servizio. Affinché la protezione si garantisca, deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$R_E \times I_d \leq U_L$$

dove:

- R_E è la resistenza del dispersore al quale sono collegate le masse
- I_d è la corrente del primo guasto tra un conduttore di linea ed una massa. Il valore di I_d tiene conto delle correnti di dispersione e dell'impedenza totale verso terra dell'impianto elettrico
- U_L è la tensione limite di contatto il cui valore è di 50V (ambienti normali) o 25V (ambienti speciali)

7.7.2.2 Caso del 2° guasto

Con il 2° guasto a terra, su un conduttore attivo differente, l'interruzione automatica del circuito è indispensabile.

Le condizioni che devono essere verificate sono le seguenti:

a. Quando le masse sono interconnesse collettivamente da un conduttore di protezione allo stesso impianto di messa terra si applicano le seguenti condizioni:

- se il conduttore di neutro non è distribuito
$$2I_a Z_s \leq U$$
- se il conduttore di neutro è distribuito
$$2I_a Z'_s \leq U_0$$

dove

- U_0 è la tensione tra il conduttore di linea e il conduttore di neutro
- U è la tensione tra i conduttori di linea

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- Z_S è l'impedenza dell'anello di guasto comprendente il conduttore di linea e il conduttore di protezione del circuito
 - Z'_S è l'impedenza dell'anello di guasto comprendente il conduttore di neutro e il conduttore di protezione del circuito
 - I_a è la corrente che provoca l'intervento automatico del dispositivo di protezione entro i tempi indicati dalla norma (5 s, 0.4 s o 0.2 s analoghi per sistemi TN)
- b. Quando le masse siano messe a terra per gruppi o individualmente le condizioni per la protezione sono le stesse previste per i sistemi TT (CEI 64-8 art. 413.1.4, ad eccezione del terzo capoverso di 413.1.4.1).

Nel caso di utilizzo di dispositivo differenziale la I_d di non funzionamento deve essere almeno uguale alla corrente prevista per un eventuale 1° guasto a terra, onde non venir meno alle esigenze di continuità del servizio.

Relativamente a quanto previsto in caso di 2° guasto, se si utilizza per la protezione delle persone lo stesso dispositivo impiegato per la protezione contro le sovracorrenti, e nella fattispecie un dispositivo di tipo magnetotermico, è consigliabile utilizzare, per la verifica della relazione sopra riportata, la corrente di intervento della protezione magnetica I_m [A].

Al fine di verificare le condizioni di intervento del dispositivo contro le sovracorrenti si può, con buona approssimazione, utilizzare il metodo convenzionale per la determinazione della corrente di corto-circuito suggerito dalla norma. In questo modo, analogamente per il sistema TN è possibile determinare la lunghezza limite della conduttura utilizzata in funzione della corrente di intervento della protezione.

Si riportano di seguito le formule opportunamente adattate per il sistema IT:

- sistema senza neutro distribuito

$$L_{MAX} = k_x \cdot k_{par} \frac{0.8 \cdot U \cdot S_F}{2 \cdot 1.5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot k_m \cdot I_m}$$

- sistema con neutro distribuito

- a) circuito senza neutro

$$L_{MAX} = k_x \cdot k_{par} \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S_F}{2 \cdot 1.5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot k_m \cdot I_m}$$

- b) circuito con neutro

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

$$L_{MAX} = k_x \cdot k_{par} \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1.5 \cdot \rho \cdot (1 + m') \cdot k_m \cdot I_m}$$

dove:

- L_{MAX} è la massima lunghezza della condotta che permette l'intervento della protezione
- k_x è un fattore di riduzione che tiene conto della reattanza dei cavi di sezione maggiore di 95 mm² (0.90 per S=120 mm², 0.85 per S=150 mm²)
- k_{par} è un fattore correzione per più cavi in parallelo
- k_m è un fattore che tiene conto della tolleranza della soglia di intervento magnetico (1.2 per sganciatori magnetotermici, 1.15 per sganciatori elettronici)
- 1.5 è un fattore correttivo per considerare un aumento del 50% della resistenza del circuito in caso di guasto rispetto al valore a 20°C
- 0.8 è un fattore correttivo per considerare una riduzione all'80% della tensione di alimentazione per effetto della corrente di corto circuito, rispetto alla tensione nominale
- U è la tensione concatenata di alimentazione
- U_0 è la tensione di fase di alimentazione
- ρ è la resistività a 20°C del materiale dei conduttori
- S_F è la sezione del conduttore di fase
- S_N è la sezione del conduttore di neutro
- m è il rapporto tra la sezione del conduttore di fase e la sezione del conduttore di protezione (sezione complessiva in caso di più conduttori in parallelo)
- m' è il rapporto tra la sezione del conduttore di neutro e la sezione del conduttore di protezione
- I_m è la taratura della protezione contro i corto circuiti

7.8 Dimensionamento dei sistemi LFM di distribuzione a 400-230 V

I calcoli e le verifiche delle linee BT del sottosistema LFM a 400 - 230 V, in galleria e nei piazzali ferroviari, 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- 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 per i circuiti LFM a 400 - 230 V sono riportati nell'**allegato 1**.

7.9 Dimensionamento dei sistemi LFM a 1000 V in galleria

I calcoli e le verifiche dei sistemi LFM di distribuzione a 1000 V in galleria sono stati condotti con software dedicato NEPLAN® (versione. 5.4.3).

Sono stati considerati i principali vincoli e procedimenti sopra indicati ad esclusione della verifica delle tensioni ai nodi e le cadute di tensione in linea, per la quale è stato utilizzato il calcolo di load flow.

I report di calcolo delle linee BT per i circuiti LFM a 1000 V sono riportati nell'**allegato 2**.

7.10 Valore della resistenza di messa a terra del centro stella dei trasformatori BT a servizio degli impianti nei bypass

I trasformatori previsti nei quadri di tratta, per l'alimentazione degli impianti di tratta e nei by-pass, sono previsti di tipo trifase Dyn11 con tensioni nominali 1000/400 V. Il centro stella del secondario di questi trasformatori sarà messo a terra con resistenza, per limitare lo squilibrio delle tensioni stellate secondarie.

Al fine di valutare il valore più adatto per la resistenza di messa a terra, sono state considerate le seguenti principali caratteristiche del sistema elettrico:

- sicurezza delle persone dal rischio di tensioni di contatto pericolose;
- continuità del servizio per primo guasto a terra.

Per la verifica della tensione di contatto si possono fare le considerazioni riportate in seguito.

L'impedenza di guasto fase-PE, in modo semplificato, è data dalla somma delle impedenze che compongono l'anello ed in particolare:

$$Z_g = Z_{CC_{TR}} + Z_F + Z_{PE} + R_N$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

dove:

- $Z_{CC_{TR}}$ è l'impedenza di corto circuito del trasformatore bt/bt
- Z_F è l'impedenza del conduttore di fase nel tratto compreso tra il trasformatore bt/bt e il punto di guasto
- Z_{PE} è l'impedenza del conduttore di protezione nel tratto compreso tra il trasformatore bt/bt e il punto di guasto
- R_N è la resistenza di messa a terra del centro stella

Il valore della tensione di contatto si ricava dalla formula seguente, considerando che la sezione del PE è stata scelta pari a quella del conduttore di fase:

$$U_{CO} = \frac{U_o}{Z_g} \cdot Z_{PE}$$

Nella fattispecie:

- il modulo di $Z_{CC_{TR}}$ (riferito alla tensione secondaria), considerando un trasformatore Dyn11 con P_n 25 kVA e $v_{cc}\% = 4\%$, risulta 0.26 Ω ;
- il modulo di Z_F , considerando una dorsale in cavo multipolare (sezione 2.5 mm² e lunghezza massima di 125 m), risulta 1.27 Ω ;
- il modulo di Z_{PE} , considerando una sezione e lunghezza del PE pari al suddetto conduttore di fase, risulta 1.27 Ω ;

Considerando una R_N di 10 Ω/m ed U_o cautelativamente pari alla tensione stellata, il valore della U_{CO} risulta pari a circa 29 V. Questo ultimo valore di tensione a vuoto, in condizioni ordinarie, riportato nella curva di sicurezza U-t IEC 364, essendo inferiore a 50 V, consente la persistenza del guasto per un tempo indefinito (permettendo la continuità del servizio per primo guasto a terra), garantendo contemporaneamente la sicurezza delle persone dal rischio di tensioni di contatto pericolose. Il guasto sarà pertanto segnalato dal sistema di controllo dell'isolamento dei circuiti a 400-230 V.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8 Dimensionamento rete MT

8.1 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, 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 - $K_3 = 0,82$.

8.2 Verifica della caduta di tensione

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

di:

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

8.3 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 $K^2 S^2$ 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
- t = durata del guasto in s

8.4 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- transitori elettromagnetici
- ottimizzazione posizione batterie di rifasamento su reti MT

I report di calcolo e verifica delle reti MT in oggetto sono riportati nell'**allegato 3**.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

9 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 4 (suddiviso per le diverse cabine MT/bt di piazzale considerate)**, 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.

9.1 Ventilazione e caratteristiche del locale batterie

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

10 Dimensionamento impianti di terra di cabina MT/bt

La presente sezione intende evidenziare, relativamente agli impianti di terra nella cabina:

- la normativa tecnica utilizzata per il dimensionamento;
- i criteri di dimensionamento, tenendo conto dei vincoli impiantistici e della normativa vigente;
- i dati di input;
- le verifiche di calcolo necessarie.

Nel seguito si considerano sia la parte in MT sia la parte in BT collegate ad un unico impianto di terra (sistema TN).

I dati di progetto ed i risultati delle verifiche di impianto, ottenute con software dedicato o tramite fogli di calcolo, sono riportati nell'**allegato 5**.

Nel seguito si riportano alcune considerazioni aventi lo scopo di inquadrare il problema degli impianti di terra e di semplificare la comprensione di quanto evidenziato nell'allegato sopra menzionato.

10.1 Leggi e norme di riferimento

Nel seguito vengono elencati i principali riferimenti legislativi e normativi che sono stati considerati nello sviluppo del presente progetto:

- CEI 11-1 "Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in corrente alternata", 1999-01, Ediz. IX;
- Guida CEI 11-37 "Guida per l'esecuzione degli impianti di terra di stabilimenti industriali per sistemi di I, II e III categoria", 2003-07, Ediz. II;
- CEI 9-6/1 EN 50122 – 1 1998 Applicazioni ferroviarie, tramviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra
- IS 728: 1999 Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra degli impianti di categoria 0 (zero) e I (prima) su: linee di trazione elettrica a corrente continua a 3000 V e linee ferroviarie non elettrificate

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

10.2 Definizioni

Saranno utilizzati i seguenti termini:

Dispensore (o impianto di terra primario): insieme di conduttori in contatto elettrico con il terreno o annegati nel calcestruzzo.

Impianto di terra interno (o impianto di terra secondario):

Insieme di conduttori comprendente:

- conduttori di terra: conduttori che collegano parti dell'impianto (neutri dei sistemi elettrici, masse di apparecchiature e collettori di terra) direttamente al dispersore o che collegano tra loro due dispersori;
- conduttori di protezione: conduttori che collegano masse di apparecchiature ad un collettore di terra;
- collettori di terra: punti ai quali fanno capo i diversi conduttori di protezione di una parte dell'impianto. Ogni collettore di terra è collegato al dispersore con uno o più conduttori di terra;
- conduttori equipotenziali: conduttori che collegano le masse metalliche ai collettori di terra o direttamente al dispersore.

Altri termini utilizzati saranno in accordo con le normative.

10.3 Dispersore

L'impianto è da considerarsi correttamente dimensionato se in caso di guasto, lato MT, si verificano una delle due seguenti condizioni:

- a) La tensione totale di terra UE risulta inferiore al limite ammesso per le tensioni di contatto U_{tp}
- b) La condizione precedente non è verificata ma le tensioni di contatto UT e di passo US risultano inferiori ai rispettivi limiti ammessi U_{tp} e $U_{sp} = 3 U_{tp}$

Nel caso specifici delle gallerie ferroviarie è opportuno che l'impianto di terra sia dimensionato in modo da soddisfare la condizione A) poiché i conduttori di protezione in galleria, connessi all'impianto di terra della cabina e colleganti le utenze del sistema LFM, sono isolati da terra e pertanto possono "portare" tensioni pericolose, in caso di guasto, a notevoli distanze.

Inoltre, lo stesso dispersore deve avere caratteristiche tali da resistere a:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- sollecitazioni meccaniche e a corrosione;
- sollecitazioni termiche, dovute alla corrente di guasto a terra.

Le Norma CEI 11-1 raccomanda le dimensioni minime riportate nella tabella seguente, affinché il dispersore abbia un'adeguata resistenza meccanica ed alla corrosione. Queste dimensioni risultano generalmente sufficienti, anche ai fini delle sollecitazioni termiche.

Materiale	Tipo di dispersore	Dimensione minima					
		Corpo			Rivestimento/guaina		
		Diametro [mm]	Sezione trasversale [mm ²]	Spessore [mm]	Valori singoli [μm]	Valori medi [μm]	
Acciaio	zincato a caldo	Piattina ⁽²⁾		90	3	63	70
		Profilato (inclusi i piatti)		90 (250)	3 (5)	63	70
		Tubo	25		2	47	55
		Barra tonda per picchetto	16 (20)			63	70
		Tondo per dispersore orizzontale	10				50
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Tondo per dispersore orizzontale	8			1000	
	con guaina di rame estrusa	Barra tonda per picchetto	15			2000 (500)	
	con guaina di rame elettrolitico	Barra tonda per picchetto	14.2 (15)			90	100
Rame	nudo	Piattina		50	2		
		Tondo per dispersore orizzontale		25 ⁽³⁾			
		Corda	1,8 ^(*)	25			
		Tubo	20		2		
	stagnato	Corda	1,8 ^(*)	25		1	5
	zincato	Piattina		50	2	20	40
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Corda	1,8 ^(*)	25		1000	
		Filo tondo		25		1000	

(*) per cavetti singoli

(1) non idoneo per posa diretta in calcestruzzo

(2) piattina, arrotondata o tagliata con angoli arrotondati

(3) in condizioni eccezionali, dove l'esperienza mostra che il rischio di corrosione e di danno meccanico è estremamente basso, si può usare 16 mm².

Nota I valori riportati tra parentesi sono comunemente utilizzati in Italia.

Tabella 10-1 - Dimensioni minime degli elementi del dispersore (rif. Allegato A CEI 11-1)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Il progetto per le diverse cabine MT/BT prevede un dispersore costituito da una corda di rame da 35 mm², posto lungo il perimetro esterno della cabina stessa, con ai vertici picchetti tondi o a croce di lunghezza 2 m (Fig. 1).

Inoltre, se la pianta rettangolare della cabina presenta due lati significativamente più lunghi rispetto ai due lati corti, si prevedono ulteriori due picchetti in corrispondenza della mezzeria di ciascun lato lungo.

Si prevedono inoltre dispersori, costituiti da una corda di rame da 35 mm², disposti in alcuni scavi (per circa 100 m) per le tubazioni degli impianti LFM, a congrua distanza dai sistemi di terra per le linee TE.

La profondità di posa dell'anello non dovrà essere inferiore a 0,5 m.

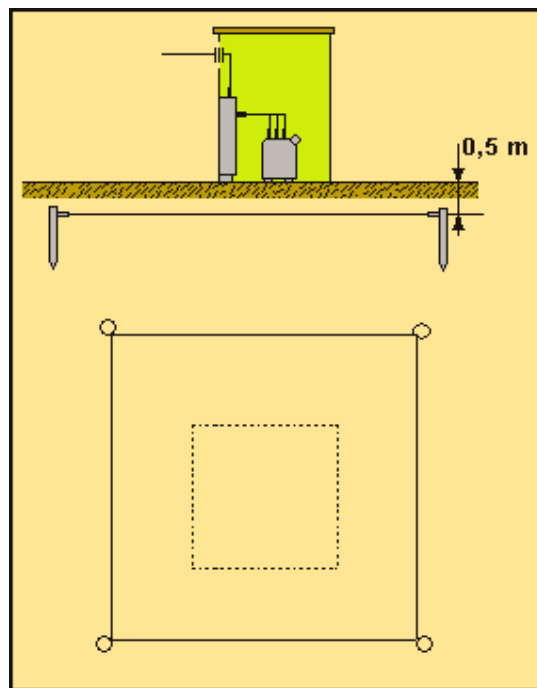


Figura 1 – Tipico impianto di terra con dispersore ad anello con quattro picchetti agli angoli

La procedura di verifica è composta dalle seguenti fasi:

- calcolo della resistenza di terra e quindi della tensione totale di terra: se la tensione totale di terra risulta inferiore ai limiti per le tensioni di contatto e di passo ammessi dalle norme, l'impianto di terra primario si può considerare correttamente dimensionato. Diversamente si

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

deve procedere con le ulteriori verifiche di cui al punto seguente;

- calcolo delle tensioni di contatto e di passo e loro confronto con i limiti ammessi dalle norme: se queste sono inferiori ai limiti ammessi, l'impianto di terra primario si può considerare correttamente dimensionato. Diversamente si deve provvedere con interventi di modifica del dispersore e a nuova verifica oppure adottare altri accorgimenti come, ad esempio, ricoprire alcune aree con strati di asfalto o ghiaia.

I dati utilizzati per la verifica sono i seguenti:

- dati elettrici: corrente di guasto monofase a terra (IE) e tempo intervento delle protezioni (tf);
- dati fisici: caratteristiche del mezzo disperdente (terreno);
- dati geometrici: geometria del dispersore (ovvero la geometria da verificare);
- limiti ammessi dalle norme: massime tensioni di contatto e di passo (Utp, Usp) in funzione del tempo di intervento delle protezioni (tf).

Per la modellizzazione del mezzo disperdente ed il dimensionamento geometrico del dispersore è stato utilizzato il software GSA® (Grounding System Analysis), versione 3.2.0.4, sviluppato da SINT Ingegneria Srl.

Tale codice di calcolo è basato su un metodo di simulazione che considera sorgenti equivalenti ed il principio delle immagini elettriche ed opera su un modello matematico delle condizioni fisiche al contorno.

Il software è stato validato per confronto con misure in diversi casi pratici o esempi di calcolo disponibili in letteratura.

10.4 Impianto di terra interno

All'interno della cabina, tutte le parti metalliche accessibili delle macchine, delle apparecchiature e della struttura, suscettibili di entrare in contatto con elementi in tensione in seguito a guasti o di introdurre il potenziale di terra, devono essere collegate al dispersore o al collettore di terra, normalmente per mezzo di conduttori di terra. A queste connessioni realizzate ai fini della sicurezza, si aggiungono i collegamenti di tipo funzionale quale, ad esempio, la messa a terra del neutro sul lato BT dei trasformatori.

Il nodo di terra (collettore) può essere sostituito da un anello equipotenziale montato sulle pareti interne di cabina, con la funzione di agevolare il collegamento a terra delle apparecchiature.

La figura seguente rappresenta alcuni esempi tipici di collegamenti al collettore.

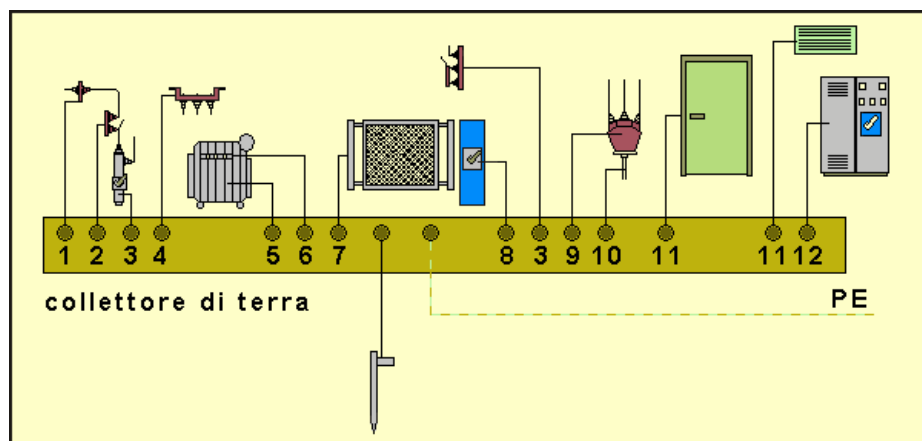


Figura 2 – Esempi di collegamenti a terra in cabina

- 1) Cornici, telai e flange degli isolatori passanti
- 2) Intelaiature e supporti di ogni tipo di isolatore
- 3) Intelaiature dei sezionatori, dei portafusibili e degli interruttori
- 4) Involucri e supporti metallici dell'interruttore automatico MT e di ogni altro apparecchio di controllo e misura
- 5) La massa del trasformatore (da dimensionare in funzione della corrente di guasto sul lato BT)
- 6) Il morsetto del neutro del lato BT del trasformatore (da dimensionare in funzione della corrente di guasto sul lato BT)
- 7) I ripari metallici e le relative incastellature
- 8) Gli organi di comando manuale di interruttori e sezionatori
- 9) Le muffole metalliche
- 10) L'armatura metallica dei cavi MT
- 11) Le intelaiature metalliche di porte, finestre e griglie di aerazione
- 12) Gli armadi metallici delle cabine prefabbricate o altri involucri contenenti apparecchiature MT o BT (per gli armadi contenenti apparecchiature in BT dimensionare in funzione della corrente di guasto in BT)

Con riferimento alla figura seguente e alle definizioni di cui al par.3 (conduttori di terra, conduttori di protezione e conduttori equipotenziali), i conduttori principali, oggetto di dimensionamento, sono i seguenti:

- CT1: conduttore di collegamento della carcassa del trasformatore MT/BT al nodo di terra;
- CT2: conduttore di collegamento del nodo di terra al dispersore;
- PE1: conduttore di collegamento a terra del centro stella del trasformatore MT/BT;
- PE2: conduttore di collegamento della carpenteria del quadro generale di bassa tensione al nodo di terra.

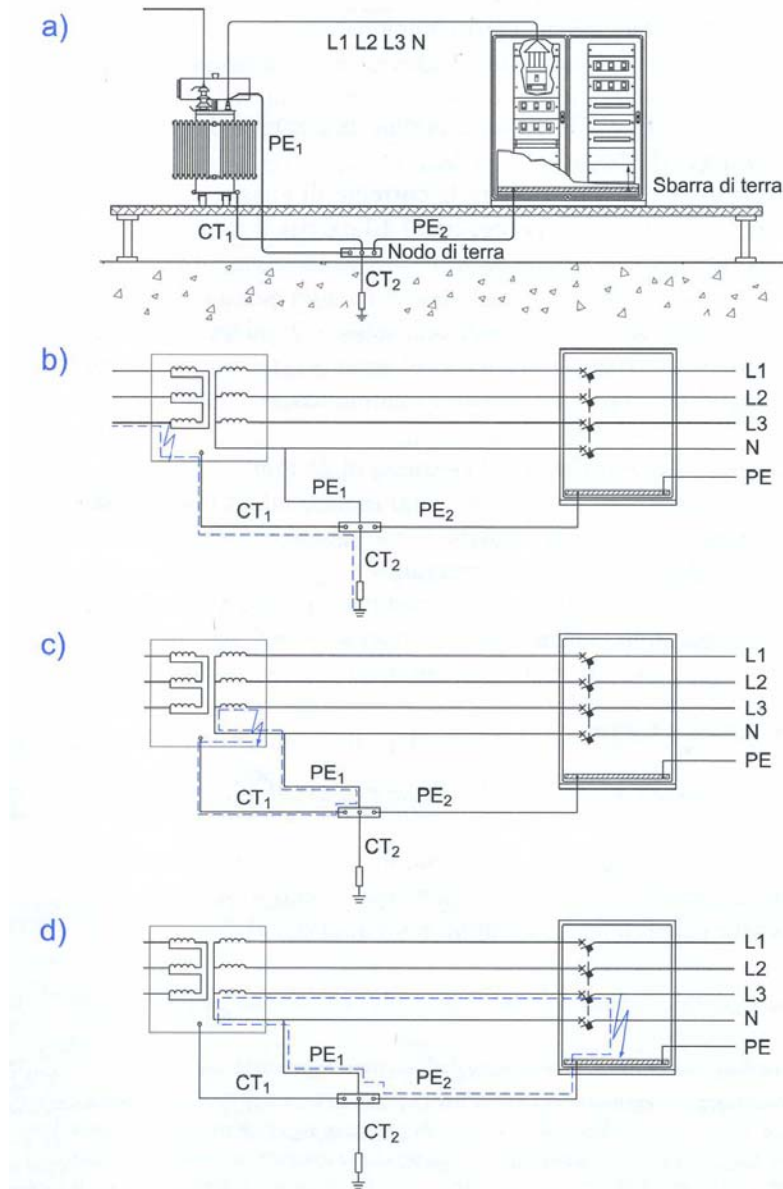


Figura 3 - Collegamenti a terra in cabina

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

La verifica termica prevede che la sezione del conduttore sia superiore a quella calcolata con la formula seguente (formula dell'integrale di Joule):

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} \quad (\text{IEC 60724:1984 Equazione F1})$$

dove:

- A: è la sezione minima del conduttore (mm²)
- I: è il valore efficace della corrente di guasto che fluisce nel conduttore (A)
- t: è la durata della corrente di guasto (s)
- K: è una costante dello specifico materiale conduttore usato (As^{1/2}/ mm²)
- β: è una costante dello specifico materiale conduttore usato (°C)
- θ_i: è la temperatura ambiente o iniziale del conduttore (°C)
- θ_f: è la massima temperatura ammessa per il conduttore (°C)

Per le costanti dei materiali si può fare riferimento ai seguenti valori indicati nelle norme:

- rame: K = 226 (As^{1/2}/ mm²), β = 234,5 (°C)
- acciaio: K = 78 (As^{1/2}/ mm²), β = 202 (°C)

Per la temperatura massima si considerano i seguenti valori:

- conduttori interrati: θ_f = 300 (°C)
- conduttori nudi fuori terra in condizioni ordinarie: θ_f = 200 (°C)
- conduttori nudi fuori terra in locali con pericolo di incendio: θ_f = 150 (°C)
- conduttori nudi fuori terra in locali con pericolo di esplosione: θ_f dipende dalla temperatura di accensione
- conduttori isolati in PVC: θ_f = 160 (°C)
- conduttori isolati in EPR/XLPE: θ_f = 250 (°C)

La formula precedente può essere così semplificata: $A = \frac{I}{Kt} \sqrt{t}$, in cui Kt è calcolato con riferimento al tipo di materiale e alle temperature iniziali e finali del conduttore.

A seconda delle tipologie di guasto che interessano i diversi tipi di conduttori, i parametri I e t assumono i valori nel seguito descritti e illustrati in figura:

- CT1 e CT2 sono interessati dalla corrente di guasto a terra in media tensione (fig. 3b): I corrisponde al valore massimo riscontrabile (generalmente doppio guasto a terra su rete a

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

neutro compensato), mentre t corrisponde al tempo di intervento della protezione MT;

- CT1 e PE1 sono interessati da un guasto sull'avvolgimento BT del trasformatore (fig. 3c): I è la corrente di guasto fase-terra lato BT, mentre t è il tempo di intervento della protezione MT in corrispondenza della corrente di guasto rilevata sul lato MT;
- PE1 e PE2 sono interessati da un guasto a valle del quadro generale di bassa tensione (fig. 3d): I è la massima corrente di guasto fase terra a valle del quadro, mentre t è il tempo di intervento per corto circuito della protezione generale.

Ciascun conduttore deve essere verificato nella condizione più gravosa.

Il conduttore di collegamento a terra degli schermi dei cavi MT può essere dimensionato sulla base della sezione degli schermi stessi.

Tuttavia si assume, prudenzialmente, una sezione pari a 25 mm^2 .

Il conduttore PE1, può anche essere scelto sulla base della regola convenzionale indicata dalla CEI 64-8, che prevede una sezione pari alla metà della sezione del conduttore di fase (se di sezione maggiore a 35 mm^2). Tuttavia, specialmente quando le potenze (e quindi le sezioni) in gioco sono elevate, è preferibile ricorrere al dimensionamento in base all'integrale di Joule.

Si ricorda infine che per i conduttori di terra la sezione minima non deve comunque essere mai inferiore a 16 mm^2 se in rame, a 35 mm^2 se in alluminio e a 50 mm^2 se in acciaio.

Per i collegamenti equipotenziali, la Norma CEI 11-1 prevede le medesime sezioni minime.

10.5 Considerazioni aggiuntive

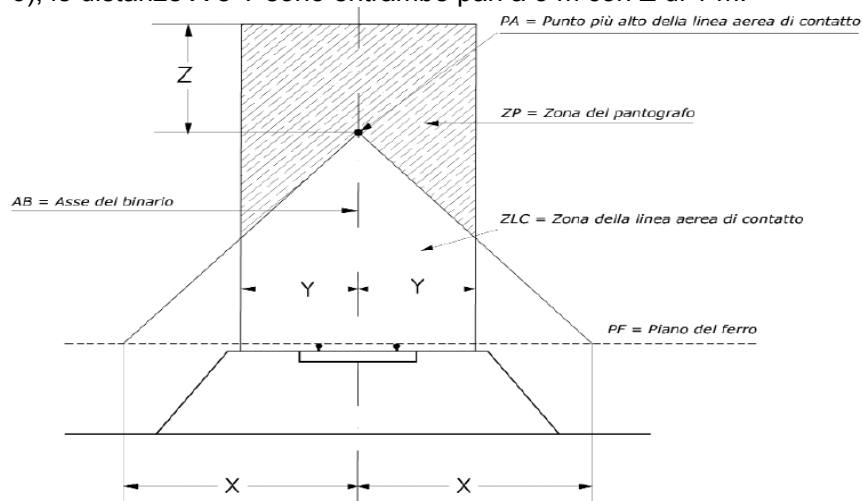
La resistività del terreno può assumere nel tempo valori anche molto diversi essendo questa fortemente influenzata dall'umidità e dalla temperatura.

Inoltre la resistività è solitamente una caratteristica tutt'altro che omogenea e varia da punto a punto sulla superficie ed in profondità.

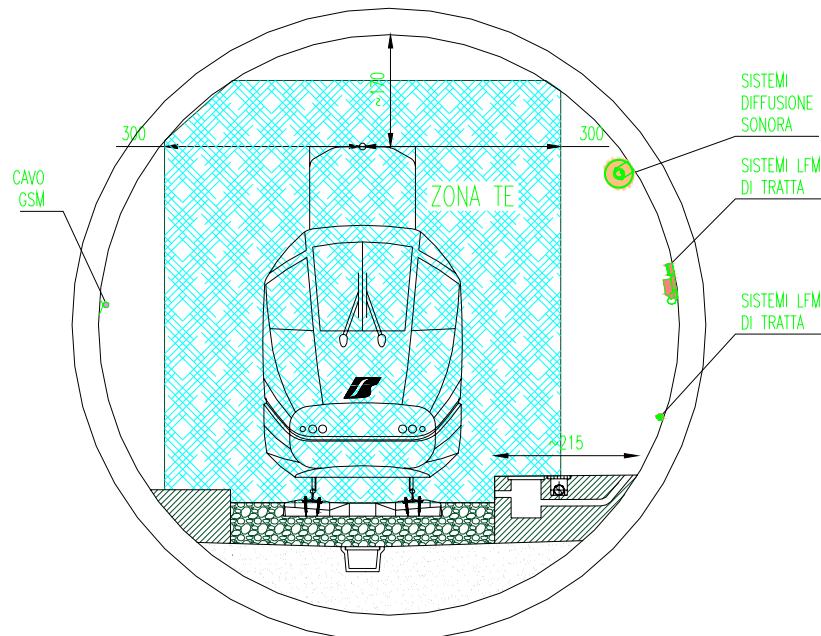
Di conseguenza le ipotesi di progetto adottate ed i calcoli eseguiti nel presente progetto dovranno essere verificati in corso d'opera mediante misure di resistenza di terra e, qualora necessario, di tensioni di contatto e di passo.

10.6 Posizionamento al di fuori delle zona di rispetto TE

Gli impianti LFM in galleria risultano sufficientemente distanziati dalla Lac (linea aerea di contatto), per essere considerati al di fuori della zona di rispetto TE, come definito nella specifica RFI IS 728 nell'appendice A. Nel caso in oggetto, con riferimento alla figura seguente (Art. 3.3.8 ed allegati I.1 di norma CEI 9-6), le distanze X e Y sono entrambe pari a 3 m con Z di 1 m:



Tale distanziamento risulta evidente nella seguente figura relativa ad una sezione trasversale tipica delle gallerie ferroviarie in oggetto:



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

11 Dimensionamento impianti di illuminazione

11.1 Impianti di illuminazione in galleria

Gli impianti di illuminazione in galleria previsti sono di seguito descritti:

- Illuminazione di emergenza delle vie di esodo (costituite dai marciapiedi): verrà ottenuta tramite apparecchi illuminanti per lampade compatte da 18W, con distribuzione fotometrica bilaterale verso il basso, Classe di isolamento II, grado di protezione IP 66, conformi alla STF TE 161 ed. 2004
- Illuminazione di riferimento a servizio dei nicchioni e dei by-pass: sarà ottenuta con apparecchi con identiche caratteristiche degli apparecchi di emergenza descritti al punto precedente.
- Illuminazione generale a servizio dei by-pass e dei nicchioni: verrà realizzata con apparecchi in inox aventi grado di protezione IP65, equipaggiati con lampade fluorescenti lineari da 36W e reattore elettronico.
- Illuminazione generale a servizio del pozzo di collegamento alla cabina intermedia di galleria S. Cecilia, posta in piazzale esterno: verrà realizzata con apparecchi in acciaio inox aventi grado di protezione IP65, equipaggiati con lampade fluorescenti lineare da 36W e reattore elettronico.

11.1.1 Illuminazione di emergenza

L'impianto di illuminazione di emergenza delle vie di esodo dovrà garantire un valore d'illuminamento non inferiore a 5 lx, ad 1 metro dal piano di calpestio, lungo il marciapiede d'esodo, secondo l'Art 1.3.4 del D.M. 28/10/2005 e non deve essere di inferiore ad 1 lux a livello del marciapiede, secondo l'Art 4.2.2.8 della Decisione Commissione Europea del 20/12/2008 2008/163/CE.

Inoltre la specifica RFI STF TE 161 ed. 2002 richiede le seguenti ulteriori prestazioni:

- il valore d'illuminamento nel punto intermedio tra i corpi illuminanti non deve essere inferiore a 1,5 lx, calcolato senza considerare l'apporto delle riflessioni delle superfici della galleria e con impianto nuovo;
- il rapporto tra illuminamento minimo/medio sul piano di calpestio deve essere ≥ 0.25 .

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

I corpi illuminanti per i marciapiedi delle vie di esodo saranno ubicati sul piedritto della galleria ad una altezza di circa 2,5 m dal piano di calpestio con un interasse uguale o inferiore a 12.5 m, vista la considerevole dimensione del marciapiede e la presenza di ostacoli sporgenti (nicchie di ricovero personale) con passo 25 m.

11.1.2 Illuminazione nei by pass e pozzi

L'impianto di illuminazione nei by pass (considerati vie di esodo) dovrà garantire un valore d'illuminamento medio a nuovo non inferiore a 50 lx, sul piano di camminamento, con uniformità U_0 (min/med) > 0,30.

L'impianto di illuminazione nei pozzi dovrà garantire un valore d'illuminamento medio a nuovo non inferiore a 50 lx, sui piani, con uniformità U_0 (min/med) > 0,30.

11.1.3 Calcoli illuminotecnici

I calcoli illuminotecnici per gli impianti di illuminazione di evacuazione in galleria, dell'illuminazione generale dei by-pass e dei pozzi, eseguiti tenendo conto dei vari vincoli e dati di progetto precisati nei paragrafi precedenti, sono stati condotti con specifico software di progettazione illuminotecnica DIALUX (DIAL GmbH – versione 4.8).

Il software si caratterizza per le seguenti funzioni principali:

- simulazione tridimensionale di locali, zone esterne e strade
- calcolo con il sistema in Radiosity.
- verifica illuminazione nei luoghi di lavoro secondo la norma EN12464-1 o CIE 97
- verifica illuminazione di postazioni di lavoro all'aperto secondo la norma EN12464-2 e CIE-ISO-CEN 8995-2
- verifica illuminazione stradale secondo la norma EN13201
- progettazione dell'illuminazione stradale secondo DIN 5044

I risultati dei calcoli, ottenuti con tali software, sono riassunti nella relazione di calcolo "Calcoli illuminotecnici in galleria" che si riportano nell'**allegato 6**.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

11.2 Impianti di illuminazione in aree esterne

Per ciascuna zona di imbocco e piazzale, sono stati previsti degli impianti di illuminazione esterna in ottemperanza alle specifiche TE 651, LF 680:1985 ed IFS 600: 2008 nonché alla norma UNI EN 12464-2.

Nella fattispecie i piazzali trattati sono i seguenti:

- Posto di manutenzione
- Piazzale Cabina Intermedia galleria S. Cecilia
- Piazzale Emergenza galleria S. Cecilia verso Stazione di Messina

Ciascun impianto di illuminazione esterna è così composto:

- apparecchi equipaggiati con lampada al Sodio Alta Pressione, montati su palo in acciaio zincato, altezza fuori terra 8 m, per l'illuminazione dei percorsi di accesso con automezzi ai piazzali esterni;
- apparecchi con lampada al Sodio Alta Pressione, montati su palo in vetroresina, altezza fuori terra 5 m, per l'illuminazione dei tratti su marciapiede esterno di evacuazione.
- proiettori asimmetrici con lampade al Sodio ad Alta Pressione da 400 W, secondo specifica RFI LF 663 montati su corona mobile di torri faro omologate RFI secondo specifiche RFI LF 690: 1987 e/o RFI_IFS_600_A: 2008 di altezza fuori terra pari a 18 e/o 25 m;
- apparecchi equipaggiati con lampada fluorescente lineare, montati a parete, per l'illuminazione delle scalinate esterne e dei sottopassi pedonali;
- apparecchi equipaggiati con lampada fluorescente lineare e/o SAP, installati su pali in vetroresina (zone esterne) e/o sul rivestimento delle gallerie, per l'illuminazione punte di scambio.

11.2.1 Aree di piazzale

Le aree di piazzale verranno illuminate secondo le prestazioni minime richieste dalla specifica RFI LF 680:1985 e dalla normativa UNI EN 12464-2: 2008 "Illuminazione degli ambienti di lavoro - esterni". In particolare, considerando le condizioni più restrittive delle predette normative (ovvero con riferimento al prospetto 5.12 della UNI EN 12464-2 – Ferrovie e tramvie) saranno garantite le seguenti prestazioni illuminotecniche:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM		<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tipo di zona			
Grandezza	Piazzali: piattaforme aperte	Marciapiedi	Scalinate
Em (illuminamento medio) [lx]	20	20	50
U0 (Emin/Emed),	0.4	0.4	0.4
GR _l (indice abbagliamento)	50	50	45
Ra (indice resa cromatica)	20	20	40

Tabella 11-1

Sempre nell'ambito dell'illuminazione esterna, i manufatti di cabina, durante le ore notturne, saranno illuminati grazie ad apparecchi installati sulle pareti dei manufatti stessi e comandati da crepuscolare.

11.2.2 Punte di scambio

L'area in oggetto verrà illuminata con le prestazioni minime richieste dalla normativa UNI EN 12464-2: 2008 "Illuminazione degli ambienti di lavoro - esterni". In particolare saranno garantite le seguenti prestazioni illuminotecniche:

- Em (illuminamento medio) = 20 lx;
- U0 (Emin/Emed) = 0.4;
- Ra (indice resa cromatica) = 20;

11.2.3 Calcoli illuminotecnici

I calcoli illuminotecnici per le aree di piazzale ed i marciapiedi, eseguiti tenendo conto dei vari vincoli e dati di progetto precisati nei paragrafi precedenti, sono stati condotti con specifico software di progettazione illuminotecnica LITESTAR (OxyTech Srl – versione 10).

Il software si caratterizza per le seguenti funzioni principali:

- simulazione tridimensionale e volumi irregolari a superficie non piane; strade e tunnel rettilinei o in curva; aree esterne e sportive regolari o irregolari.
- calcolo degli illuminamenti orizzontali punto - punto su ogni superficie dell'ambiente
- calcolo delle luminanze su ogni superficie dell'ambiente con riflettanze diffuse (lambertiane) o secondo le tabelle R- e C- (tabelle dei fattori ridotti di riflessione dei manti stradali) per le strade

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- calcolo dei parametri di abbagliamento G, TI e Lv per impianti stradali e GR per installazioni in aree
- calcolo illuminamenti cilindrici, semicilindrici, verticali nelle 4 direzioni principali all'altezza del piano di lavoro, in direzione di telecamere TV sia secondo Raccomandazione CIE 83 su piani verticali in direzione delle stesse che su piani inclinati
- valutazione inquinamento luminoso (secondo UNI 10819)
- normative considerate: Strade - Norma UNI EN 13201, Raccomandazioni CIE 30.2 e CIE 140, Norma Italiana UNI 11248; Gallerie - Raccomandazione CIE 88 e Norma UNI 11095; Aree Esterne e Sportive - Norma EN 12.023, Raccomandazione CIE 83 e Norma UNI 9316

I calcoli illuminotecnici per le punte di scambio in galleria e per le scalinate, eseguiti tenendo conto dei vari vincoli e dati di progetto precisati nei paragrafi precedenti, sono stati condotti con specifico software di progettazione illuminotecnica DIALUX (DIAL GmbH – versione 4.8).

Il software si caratterizza per le seguenti funzioni principali:

- simulazione tridimensionale di locali, zone esterne e strade
- calcolo con il sistema in Radiosity.
- verifica illuminazione nei luoghi di lavoro secondo la norma EN12464-1 o CIE 97
- verifica illuminazione di postazioni di lavoro all'aperto secondo la norma EN12464-2 e CIE-ISO-CEN 8995-2
- verifica illuminazione stradale secondo la norma EN13201
- progettazione dell'illuminazione stradale secondo DIN 5044

I risultati dei calcoli sono riportati nell'**allegato 7**. Essi fanno riferimento a specifici apparecchi illuminanti presenti in commercio al solo fine di verifica del presente progetto, dovendo necessariamente selezionare un'ottica per la loro esecuzione.

Sarà onere dell'impresa esecutrice produrre i calcoli di verifica condotti con i dati fotometrici dello specifico corpo illuminante da essa prescelto, qualora diverso da quello assunto nel presente progetto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

12 Calcolo punti controllati sistema di supervisione

Il calcolo dei punti controllati dal sistema di supervisione è stato eseguito individuando dapprima le “unità tipiche” soggette al controllo, attribuendo a ciascuna di esse il numero di punti da gestire e valutando infine il numero di “unità tipiche” presenti nello specifico impianto di cui si sta trattando.

Tali punti possono essere di diversa tipologia, più precisamente:

- Ingressi digitali (DI)
- Uscite digitali (DO)
- Ingressi analogici (AI)
- Uscite analogiche (AO)
- Linee di comunicazione RS232-RS485
- Linee di comunicazione Ethernet

I risultati di tali valutazioni sono riportati in forma tabellare nell'**allegato 8**.

Resta inteso che nel dimensionare i quadri PLC dedicati alla gestione segnali I/O sopra elencati si è tenuto conto di una disponibilità di riserva pari almeno al 20%.

13 Verifica della necessità di impianto di protezione contro le scariche atmosferiche

Il calcolo della verifica di necessità dell'impianto di protezione contro le scariche atmosferiche, per gli edifici “locale tecnico - cabina MT/bt”, previsti nei piazzali a servizio della galleria ferroviaria in oggetto, è stato effettuato con specifico software “ZEUS Plus” prodotto da TNE (Tuttonormel) applicando le norme CEI EN 62305, CEI 81-10, CEI 81-3.

I calcoli effettuati sono riassunti nell'**allegato 9** al quale si rinvia.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI LFM	<i>Codice documento</i> SF0627_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

14 Allegati

Gli sono organizzati nei seguenti documenti:

- Allegato 1: Calcoli linee BT 400-230 V
- Allegato 2: Calcoli linee BT 1000 V
- Allegato 3: Dimensionamento rete di media tensione (MT)
- Allegato 4: Dimensionamento ventilazione e condizionamento locali tecnici
- Allegato 5: Dimensionamento e verifica dell'impianto di terra
- Allegato 6: Calcoli illuminotecnici in galleria
- Allegato 7: Calcoli illuminotecnici in esterno
- Allegato 8: Calcolo elenco punti controllati sistema di supervisione
- Allegato 9: Verifica sulla necessità dell'impianto di protezione dalle scariche atmosferiche