

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO

NUOVA VIABILITÀ TRATTA VIA ERZELLI - VIA BORZOLI

Impianti di illuminazione

Relazione di calcolo reti elettriche e tabella cavi

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio Cociv Ing. G. Guagnozzi		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	C L	N V 0 1 0 7	0 0 2	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	SINT 	25/06/2012	Ing. D. Re 	27/06/2012	E. Pagani 	29/06/2012	Ing. I. Barilli Dott. Ing. IVANO BARILLI ALBO DEGLI INGEGNERI Provincia V.C. n. 122

n. Elab.:	File: IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC
-----------	--

CUP: F81H92000000008

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 3 di 33

INDICE

INDICE.....	3
1. INTRODUZIONE.....	5
2. DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI UTILIZZATE.....	5
3. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO	6
4. DATI E REQUISITI DI BASE DEL PROGETTO	7
5. DIMENSIONAMENTO LINEE BT.....	8
5.1. Calcolo delle correnti d'impiego	8
5.2. Dimensionamento e verifica a sovraccarico dei cavi	9
5.2.1. Generalità	9
5.2.2. Modalità di posa.....	10
5.2.3. Determinazione della portata.....	16
5.2.4. Dimensionamento dei conduttori di neutro	23
5.2.5. Dimensionamento dei conduttori di protezione.....	23
5.2.6. Calcolo della temperatura dei cavi.....	24
5.3. Cadute di tensione	24
5.4. Calcolo dei guasti.....	25
5.4.1. Calcolo delle correnti massime di cortocircuito	25
5.4.2. Calcolo delle correnti minime di cortocircuito	28
5.5. Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture.....	29
5.5.1. Generalità	29
5.5.2. Integrale di Joule	30
5.5.3. Massima lunghezza protetta.....	31
5.6. Verifica contatti indiretti.....	32
5.6.1. Sistema di distribuzione TT	32
5.7. Calcoli dimensionali linee BT	33
6. ALLEGATI.....	33

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC	Foglio 4 di 33

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 5 di 33

1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono illustrate le modalità di calcolo ed i risultati del dimensionamento degli impianti elettrici di potenza BT a servizio degli impianti di illuminazione esterna che saranno realizzati lungo il nuovo tratto stradale compreso tra Via Erzelli e Via Borzoli in comune di Genova, nell'ambito degli interventi di realizzazione del III Valico Ferroviario dei Giovi.

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
- affidabilità degli impianti e massima continuità di servizio

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

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

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

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

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

2. DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI UTILIZZATE

Vengono introdotte le seguenti abbreviazioni (in ordine alfabetico):

- ac - Corrente alternata
- AD - Azienda distributrice di energia elettrica nel caso specifico sinonimo di ENEL
- AI - AntIncendio
- BT o bt - Bassa Tensione in c.a. (400/230V)
- CA - Continuità assoluta
- cc - Corrente Continua
- CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano
- CSA - Capitolato Speciale di Appalto

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 6 di 33

- DL - Direzione dei Lavori, generale o specifica
- FM - Forza Motrice
- GE - Gruppo Elettrogeno
- IMQ - Istituto Italiano per il Marchio di Qualità
- IMS - Interruttore di Manovra e Sezionatore
- I/O - Input/Output
- PC - Personal Computer
- PLC - Programmable Logic Controller
- SA - Servizi Ausiliari ordinari
- UNEL - Unificazione Elettrotecnica Italiana
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione
- VVF - Vigili del Fuoco
- UPS - Gruppo di Continuità Assoluta

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

3. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

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

- CEI 0-21 - Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica – Dicembre 2011
- Norma CEI 11-17 - “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo”
- CEI 11-25 2001 IIa Ed. (IEC 60909-2001): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- CEI 11-28 1993 I a Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIIIa Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 23-3/1 I a Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI 33-5 I a 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 7 di 33

- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35023 2009: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastometrico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI EN 50272: Prescrizioni di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazioni.
- IEC 60287: Electric cables - Calculation of the current rating.

4. DATI E REQUISITI DI BASE DEL PROGETTO

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

- | | |
|---|---|
| • Ubicazione: | • Provincia di Genova |
| • Altitudine: | • < 1.000 s.l.m. |
| • Destinazione ambienti: | • Opere all'aperto |
| • Dati rete di alimentazione ENEL: | • tensione di alimentazione: 230V $\pm$ 10% |
| | • corrente di cortocircuito nel punto di consegna 6KA |
| • Caduta di tensione massima: | • < 5% |
| • Margine di sicurezza portate cavi e interruttori: | • $\approx$ 20% |
| • Riserva di spazio (o interruttori) sui quadri BT: | • $\approx$ 20% |
| • Riserva di spazio nelle tubazioni: | • diametro interno tubazione $\geq$ 1/3 del diametro circoscritto al fascio dei cavi |
| • Tipologia conduttori BT: | • cavi posati entro tubi interrati all'aperto posati all'interno di tubazioni in materiale plastico: FG7(O)R 0.6/1 kV |

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 8 di 33

- Assorbimenti unitari (W):
- Apparecchio illuminante SAP 150W: 172 W
- Apparecchio illuminante SAP 400W: 439 W

5. DIMENSIONAMENTO LINEE BT

5.1. Calcolo delle correnti d'impiego

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

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

nella quale:

- P_d = Potenza effettivamente assorbita dal carico
- V_n = Tensione nominale del sistema
- $\cos \varphi$ = Fattore di potenza
- k_{ca} = fattore dipendente dal sistema di collegamento
 - $k_{ca} = 1$ sistema monofase o bifase, due conduttori attivi;
 - $k_{ca} = 1.73$ sistema trifase, tre conduttori attivi.

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

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

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

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

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

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC
	Foglio 9 di 33

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

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

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

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

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

5.2. Dimensionamento e verifica a sovraccarico dei cavi

5.2.1. Generalità

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

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

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

dove:

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

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

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 10 di 33

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.

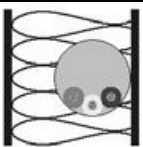
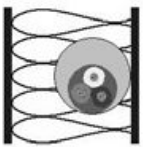
Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

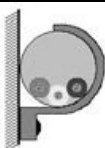
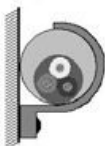
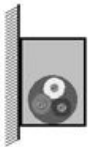
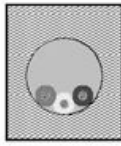
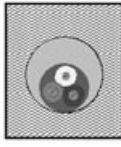
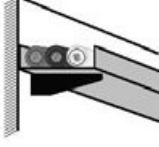
Nei capitoli che seguono sono specificate:

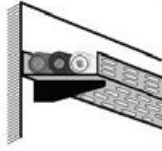
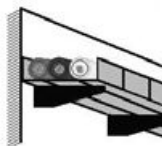
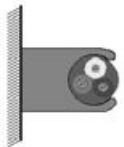
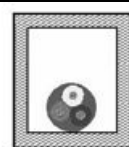
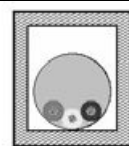
- le modalità di posa contemplate dalla Norma CEI 64-8
- metodi per la determinazione della portata.

5.2.2. Modalità di posa

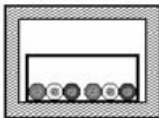
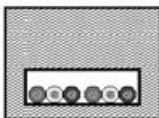
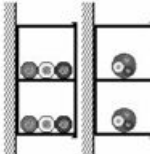
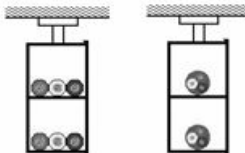
Con riferimento alla norma CEI 64-8/5, le tipologie di installazione previste sono riportate nelle tabella seguente:

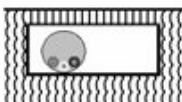
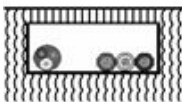
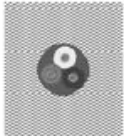
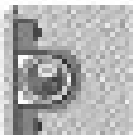
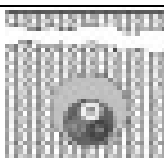
ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	1	cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati entro muri termicamente isolati
	2	cavi multipolari in tubi protettivi circolari posati entro muri termicamente isolati

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	3	cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati su o distanziati da pareti
	3A	cavi multipolari in tubi protettivi circolari posati su o distanziati da pareti
	4	cavi senza guaina in tubi protettivi non circolari posati su pareti
	4A	cavi multipolari in tubi protettivi non circolari posati su pareti
	5	cavi senza guaina in tubi protettivi annegati nella muratura
	5A	cavi multipolari in tubi protettivi annegati nella muratura
	11	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, posati su o distanziati da pareti
	11A	cavi multipolari (o unipolari con guaina) con o senza armatura fissati su soffitti
	12	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle non perforate

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	13	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle perforate con percorso orizzontale o verticale
	14	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su mensole
	15	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, fissati da collari
	16	cavi multipolari (o unipolari con guaina), con o senza armatura, su passerelle a traversini
	17	cavi unipolari con guaina (o multipolari) sospesi a od incorporati in fili o corde di supporto
	18	conduttori nudi o cavi senza guaina su isolanti
	21	cavi multipolari (o unipolari con guaina) in cavità di strutture
	22	cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari posati in cavità di strutture
	22A	cavi multipolari (o unipolari con guaina) in tubi protettivi circolari posati in cavità di strutture

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 13 di 33

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	23	cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari posati in cavità di strutture
	24	cavi unipolari senza guaina in tubi protettivi non circolari annegati nella muratura
	24A	cavi multipolari (o unipolari con guaina), in tubi protettivi non circolari annegati nella muratura
	25	cavi multipolari (o unipolari con guaina) posati in: ▪ controsoffitti ▪ pavimenti sopraelevati
	31	cavi senza guaina e cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali posati su parete con percorso orizzontale
	32	cavi senza guaina e cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali posati su parete con percorso verticale
	33	cavi senza guaina posati in canali incassati nel pavimento
	33A	cavi multipolari posati in canali incassati nel pavimento
	34	cavi senza guaina in canali sospesi

ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	34A	cavi multipolari (o unipolari con guaina) in canali sospesi
	41	cavi senza guaina e cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) in tubi protettivi circolari posati entro cunicoli chiusi, con percorso orizzontale o verticale
	42	cavi senza guaina in tubi protettivi circolari posati entro cunicoli ventilati incassati nel pavimento
	43	cavi unipolari con guaina e multipolari posati in cunicoli aperti o ventilati con percorso orizzontale e verticale
	51	cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati direttamente entro pareti termicamente isolanti
	52	cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati direttamente nella muratura senza protezione meccanica addizionale
	53	cavi multipolari (o cavi unipolari con guaina) posati nella muratura con protezione meccanica addizionale
	61	cavi unipolari con guaina e multipolari in tubi protettivi interrati od in cunicoli interrati

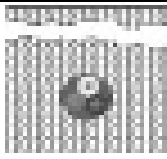
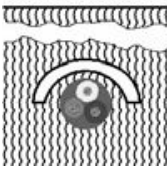
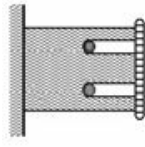
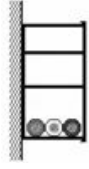
ESEMPIO	RIFERIMENTO	DESCRIZIONE
	62	cavi multipolari (o unipolari con guaina) interrati senza protezione meccanica aggiuntiva
	63	cavi multipolari (o unipolari con guaina) interrati con protezione meccanica aggiuntiva
	71	cavi senza guaina posati in elementi scanalati
	72	cavi senza guaina (o cavi unipolari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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 16 di 33

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

5.2.3. Determinazione della portata

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

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

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

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 dalla tabelle 7 e 8 in relazione al numero della posa (secondo CEI 64-8/5), all'isolante e al numero di conduttori attivi (riferita a 30°C).

k_1 è il coefficiente di correzione relativo alla temperatura ambiente

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

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

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

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

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

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

Tabella 2 - Fattore di correzione per conduttori in fascio F

Temperatura [°C]	PVC	EPR
10	1,22	1,15
15	1.17	1.12
20	1.12	1.08
25	1.06	1.04
30	1.00	1.00
35	0.94	0.96
40	0.87	0,91
45	0.79	0.87
50	0.71	0.82
55	0,61	0.76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Tabella 3 - Influenza della temperatura k_1

n° di posa CEI 64-8	disposizione	numero di circuiti o di cavi multipolari											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
tutte le altre pose	raggruppati a fascio, annegati	1	0,8	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,45	0,41	0,38
11/12/2025	singolo strato su muro, pavimento o passerelle non perforate	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7	nessuna ulteriore riduzione per più di 9 circuiti o cavi multipolari		
11A	strato a soffitto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
13	strato su passerelle perforate orizzontali o verticali (perforate o non perforate)	1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
14-15-16-17	strato su scala posa cavi o graffiato ad un sostegno	1	0,87	0,82	0,8	0,8	0,79	0,79	0,78	0,78			

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

n° posa CEI 64-8	metodo di installazione		numero di cavi per ogni supporto						
			numero di passerelle	1	2	3	4	6	9
13	passerelle perforate orizzontali	posa ravvicinata	2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
			3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
		posa distanziata	2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	
			3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	
13	passerelle perforate verticali	posa ravvicinata	2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
		posa distanziata	2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	
14-15-16-17	scala posa cavi elemento di sostegno	posa ravvicinata	2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
			3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
		posa distanziata	2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	
			3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	

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

Per posa distanziata si intendono cavi posizionati:

- ad una distanza almeno doppia del loro diametro in caso di cavi unipolari
- ad una distanza almeno pari alloro diametro in caso di cavi multipolari.

Se i cavi sono installati ad una distanza superiore a quella sopra indicata il fattore correttivo per circuiti in fascio non si applica ($K_2 = 1$).

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

n° posa CEI 64-8		numero d circuiti trifasi				utilizzato per
		numero di passerelle	1	2	3	
13	passerelle perforate	2	0,96	0,87	0,81	3 cavi in formazione orizzontale
		3	0,95	0,85	0,78	
13	passerelle perforate	2	0,95	0,84		3 cavi in formazione verticale
14-15-16-17	scala posa cavi o elemento di sostegno	2	0,98	0,93	0,89	3 cavi in formazione orizzontale
		3	0,97	0,90	0,86	
13	passerelle perforate	2	0,97	0,93	0,89	3 cavi in formazione a trefolo
		3	0,96	0,92	0,86	
13	passerelle perforate	2	1,00	0,90	0,86	
14-15-16-17	scala posa cavi o elemento di sostegno	2	0,97	0,95	0,93	
		3	0,96	0,94	0,9	

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

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 [mm²]																			
				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	-	-	-	
			3	-	17	23	31	40	54	73	95	117	141	179	216	249	285	324	380	-	-	-	
cavi in tubo in aria	3-4-5-22-23 24-31-32-33 34-41-42-72	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	-	-	-	
			3	15	20	28	37	48	66	88	117	144	175	222	269	312	355	417	490	-	-	-	
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	-	-	-	-	-	-	-	
			3	-	20	28	37	48	71	96	127	157	190	242	293	-	-	-	-	-	-	-	
cavi in aria libera a trifoglio	11-12-21-25 43-52-53 13-14-15-16- 17	PVC	3	-	19,5	26	35	46	63	85	110	137	167	216	264	308	356	409	485	561	656	749	855
			3	-	24	33	45	58	80	107	135	169	207	268	328	383	444	510	607	703	823	946	1088
		EPR	2	-	22	30	40	52	71	96	131	162	196	251	304	352	406	463	546	629	754	868	1005
			3	-	19,5	26	35	46	63	85	114	143	174	225	275	321	372	427	507	587	689	789	905
cavi in aria libera distanziati su un piano orizzontale(2)	14-15-16	EPR	2	-	27	37	50	64	88	119	161	200	242	310	377	437	504	575	679	783	940	1083	1254
			3	-	24	33	45	58	80	107	141	176	216	279	342	400	464	533	634	736	868	998	1151
		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
cavi in aria libera distanziati su un piano verticale (2)	13-14-15-16	EPR	2	-	-	-	-	-	-	182	226	275	353	430	500	577	661	781	902	1085	1253	1454	
			3	-	-	-	-	-	-	-	182	226	275	353	430	500	577	661	781	902	1085	1253	1454
		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
cavi in aria libera distanziati su un piano verticale (2)	13-14-15-16	EPR	2	-	-	-	-	-	-	161	201	246	318	389	454	527	605	719	833	1008	1169	1362	
			3	-	-	-	-	-	-	-	161	201	246	318	389	454	527	605	719	833	1008	1169	1362

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

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 [mm²]															
				1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
cavo in tubo		PVC	2	-	14	18,5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	192	219	248	291
incassato in			3	-	13	17,5	23	29	39	52	68	83	99	125	150	172	196	223	261
parete isolante	2-51-73-74	EPR	2	-	18,5	25	33	42	57	76	99	121	145	183	220	253	290	329	386
			3	-	16,5	22	30	38	51	68	89	109	130	164	197	227	259	295	346
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
in aria	22A-24A-25		3	12	15	20	27	34	46	62	80	99	118	149	179	206	225	255	297
	33A-31-34A	EPR	2	17	22	30	40	51	69	91	119	146	175	221	265	305	334	384	459
	43-32		3	15	19,5	26	35	44	60	80	105	128	154	194	233	268	300	340	398
cavo in aria		PVC	2	15	22	30	40	51	70	94	119	148	180	232	282	328	379	434	514
libera, distanziato dalla parete/soffitto o su passerella	13-14-15-16-17	EPR	3	13,6	18,5	25	34	43	60	80	101	126	153	196	238	276	319	364	430
			2	19	26	36	49	63	86	115	149	185	225	289	352	410	473	542	641
cavo in aria	11-11A-52-53	PVC	3	17	23	32	42	54	75	100	127	158	190	246	298	346	399	456	538
libera, fissato alla parete/ soffitto	12	EPR	2	15	19,5	27	36	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461
			3	13,5	17,5	24	32	41	57	76	96	119	144	184	223	259	299	341	403
			2	19	24	33	45	58	80	107	138	171	209	269	328	382	441	506	599
			3	17	22	30	40	52	71	96	119	147	179	229	278	322	371	424	500

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

5.2.3.2 Cavi interrati (CEI-UNEL 35026)

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

In particolare:

3 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)

- il coefficiente k_{tot} è ottenuto dal prodotto dei coefficienti k_1 , k_2 , k_3 e k_4 , ricavati dalle tabelle 9, 10, 11, 12.
- la portata nominale è ricavata dalla tabella 13 in relazione al numero della posa (secondo CEI 64-8/5), all'isolante e al numero di conduttori attivi (riferita a d una temperatura del terreno di 20°C).

k_1 è il coefficiente di correzione relativo alla temperatura del terreno

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

k_3 è il coefficiente di correzione relativo alla profondità di interramento

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

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

Tabella 9 - Influenza della temperatura del terreno – k_1

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

Tabella 10 - Gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano – k_2

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

Tabella 11 - Influenza della profondità di posa – k3

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

Tabella 12 - Influenza della resistività termica del terreno – k4

Metod. di install.	Altri tipi di posa della CEI 64-8	Isol.	n° conduttori caricati	Portata [A]															
				Sezione nominale [mm²]															
				1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
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
			3	23	31	40	49	67	85	110	133	163	198	233	268	304	340	397	448
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
			3	21	27	35	44	59	77	100	121	150	184	217	251	287	323	379	429
cavi multipolari in tubo interrato	61	PVC	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	
			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	

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 23 di 33

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

5.2.4. Dimensionamento dei conduttori di neutro

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

- il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di 16 mm²;
- la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla portata dello stesso
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16 mm²; se il conduttore è in rame e a 25 mm²; se il conduttore è in alluminio.

Nel caso in cui si abbiano circuiti monofasi o polifasi e questi ultimi con sezione del conduttore di fase minore di 16 mm²; (conduttore in rame) e 25 mm²; (conduttore in alluminio), il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase.

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

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

5.2.5. Dimensionamento dei conduttori di protezione

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

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

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

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

Il secondo criterio determina tale valore con l'integrale di Joule, ovvero la sezione del conduttore di protezione non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

4 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).

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 24 di 33

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

dove:

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

Se il risultato della formula non è una sezione unificata, viene presa una unificata immediatamente superiore. In entrambi i casi si deve tener conto, per quanto riguarda la sezione minima, del paragrafo 543.1.3. Esso afferma che la sezione di ogni conduttore di protezione che non faccia parte della conduttura di alimentazione non deve essere, in ogni caso, inferiore a:

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

5.2.6. Calcolo della temperatura dei cavi

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

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

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

esprese in °C.

Esse derivano dalla considerazione che la sovratemperatura del cavo a regime è proporzionale alla potenza in esso dissipata.

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

5.3. Cadute di tensione

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

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

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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 25 di 33

- L_c = Lunghezza linea

I parametri R_L e X_L per i cavi sono ricavati dalla tabella UNEL 35023-2009 in funzione della tipologia (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori (espressi in unità di lunghezza).

In particolare, la resistenza è riferita alla temperatura di 70°C per i cavi con isolamento in PVC e a 90°C per i cavi isolati in EPR mentre la reattanza è riferita a 50Hz.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.4. Calcolo dei guasti

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

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

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

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

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

5.4.1. 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC	Foglio 26 di 33

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 35023-2009, per cui esprimendola in mΩ risulta:

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

Dove ΔT vale 50 per i cavi in PVC e 70 per i cavi in EPR

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

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

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

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

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

La reattanza è invece:

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

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

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:

$$\begin{aligned} R_{0cavoNeutro} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoNeutro} \\ X_{0cavoNeutro} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$\begin{aligned} R_{0cavoPE} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoPE} \\ X_{0cavoPE} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} R_{0sbarraNeutro} &= R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraNeutro} \\ X_{0sbarraNeutro} &= 3 \cdot X_{dsbarra} \end{aligned}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 27 di 33

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

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

Fase terra:

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 28 di 33

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

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

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

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

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

dove:

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

5.4.2. Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI 11.25 par 2.5. La tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione $C_{\min}$ di cui alla tab. 1 della norma CEI 11-25. Per la temperatura dei conduttori si può scegliere tra:

- il rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in servizio ordinario del cavo;
- la norma CEI EN 60909-0, che indica le temperature alla fine del guasto.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 29 di 33

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

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

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

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

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 $I_{k1 \min}$ e fase terra, espresse in kA:

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

$$I_{k1 \text{Neutr} \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{Neutr} \max}}$$

$$I_{k1 \text{PE} \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{PE} \max}}$$

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

5.5. Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

5.5.1. Generalità

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

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

La prima condizione viene considerata in fase di scelta delle protezioni.

La seconda invece può essere tradotta nella relazione:

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

dove:

- I: corrente di corto circuito [A] espressa in valore efficace
- t: durata del corto circuito
- S: sezione del conduttore [mm²];

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 30 di 33

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

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

5.5.2. *Integrale di Joule*

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 31 di 33

I valori di K per i conduttori di protezione unipolari (par. 543.1) tab. 54B:

- Cavo in rame e isolato in PVC: K = 143
- Cavo in rame e isolato in gomma G: K = 166
- Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7: K = 176
- Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico: K = 143
- Cavo in rame serie L nudo: K = 228
- Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico: K = 143
- Cavo in rame serie H nudo: K = 228
- Cavo in alluminio e isolato in PVC: K = 95
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G: K = 110
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7: K = 116

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

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

5.5.3. *Massima lunghezza protetta*

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

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

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

Pertanto:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC	Foglio 32 di 33

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

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);
- 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.

5.6. Verifica contatti indiretti

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

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

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

5.6.1. Sistema di distribuzione TT

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

- Interruzione automatica dl circuito mediante protezioni differenziali coordinate con l'impianto di terra
- utilizzo di componenti di classe II
- realizzazione di separazione elettrica con l'uso di trasformatore di isolamento

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

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

dove:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0107-002-A00.DOC Foglio 33 di 33

- I_{dn} [A] è la corrente che provoca l'intervento automatico del dispositivo di protezione a corrente differenziale;
- V_L [V] è la tensione limite di contatto pari a 50 V (25 V in ambienti a maggior rischio);
- R_E [Ω] è la resistenza del dispersore

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

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

5.7. Calcoli dimensionali linee BT

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

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

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

6. ALLEGATI

Gli allegati sono organizzati nei seguenti documenti:

- Allegato 1: Tabella cavi
- Allegato 2: Calcoli linee BT

ALLEGATO 1

TABELLA CAVI

TITOLO: TABELLA CAVI

ROTATORIA AIR LIQUID				
TRATTO	N° CIRCUITI	TIPO DI CAVO	FORMAZIONE DI OGNI CIRCUITO	LUNGHEZZA TRATTO (m)
Q_IL/AL - A2	2	FG7R	2x1x6	30
A2 - A3	2	FG7R	2x1x6	35
A3 - A4	2	FG7R	2x1x6	25
A4 - B1/2/3	1	FG7R	2x1x6	35
Q_IL/AL - A1	1	FG7R	2x1x6	35
Lunghezza totale cavo FG7R 1x6mmq relativo alla rotatoria AIR LIQUID(m):				500

ROTATORIA MELEN				
TRATTO	N° CIRCUITI	TIPO DI CAVO	FORMAZIONE DI OGNI CIRCUITO	LUNGHEZZA TRATTO (m)
Q_IL/A10 - A1/2/3	1	FG7R	2x1x6	25
Lunghezza totale cavo FG7R 1x6mmq relativo alla rotatoria MELEN(m):				50

ALLEGATO 2

CALCOLI LINEE BT

Codice Commessa: **1224**Titolo: **CALCOLO CADUTE DI TENSIONE****"Circuito A" - Calcolo cadute di tensione impianti rotatoria Air Liquid****DATI DI INGRESSO**

Tensione nominale FN (V)	230
Sfasamento F1 - F2 (deg)	120
Sfasamento F1 - F3 (deg)	240
Fattore di potenza utenze	0,9
Tipo di isolante dei cavi (*)	G7
Icc FFF inizio linea (A)	6000
Fattore di potenza in cortocircuito	0,7
Fattore di riduzione tensione	0,95
Temperatura limite isolamento cavi (°C)	90
Resistività cavi (Ω*m)	0,023
Distribuzione carichi	FN

RISULTATI

IF1 inizio linea (A)	3,32
IF2 inizio linea (A)	0,00
IF3 inizio linea (A)	0,00
IN inizio linea (A)	3,32
I max inizio linea (A)	3,32
Icc FFF fine linea (A)	608
Icc FF fine linea (A)	527
Icc FN fine linea (A)	317
DV max (%)	0,50
In sganciatore (A)	10
Caratteristica sganciatore	MATH - B

VERIFICHE E COMMENTI

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

DATI LAMPADE

Tipo (**)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Potenza nominale (W)		sa	sa							
Potenza totale assorbita (W)		150	400							
		172	439							

Legenda (*)

Polivinilcloruro	PVC
Gomma	G
Polietilene reticolato	XLPE
Etilpropilene	EPR

Legenda ()**

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

Progressiva	d (m)	l (m)	P F1 (W)	P F2 (W)	P F3 (W)	sF1 (mmq)	sF2 (mmq)	sF3 (mmq)	sN (mmq)	DVF1 (%)	DVF2 (%)	DVF3 (%)
QE	0	0	688	0	0	6	0	0	6	0,00	0,00	0,00
1	5	5				6			6	0,051	0,000	0,000
2	11	16	172			6			6	0,162	0,000	0,000
3	15	31	172			6			6	0,277	0,000	0,000
4	35	66	172			6			6	0,45	0,00	0,00
5	20	86	172			6			6	0,50	0,00	0,00
6		86							0	0,00	0,00	0,00
7		86							0	0,00	0,00	0,00
8		86							0	0,00	0,00	0,00
9		86							0	0,00	0,00	0,00
10		86							0	0,00	0,00	0,00
11		86							0	0,00	0,00	0,00
12		86							0	0,00	0,00	0,00
13		86							0	0,00	0,00	0,00
14		86							0	0,00	0,00	0,00
15		86							0	0,00	0,00	0,00
16		86							0	0,00	0,00	0,00
17		86							0	0,00	0,00	0,00
18		86							0	0,00	0,00	0,00
19		86							0	0,00	0,00	0,00
20		86							0	0,00	0,00	0,00
21		86							0	0,00	0,00	0,00
22		86							0	0,00	0,00	0,00
23		86							0	0,00	0,00	0,00
24		86							0	0,00	0,00	0,00
25		86							0	0,00	0,00	0,00
26		86							0	0,00	0,00	0,00
27		86							0	0,00	0,00	0,00
28		86							0	0,00	0,00	0,00
29		86							0	0,00	0,00	0,00
30		86							0	0,00	0,00	0,00
31		86							0	0,00	0,00	0,00
32		86							0	0,00	0,00	0,00
33		86							0	0,00	0,00	0,00
34		86							0	0,00	0,00	0,00
35		86							0	0,00	0,00	0,00
36		86							0	0,00	0,00	0,00
37		86							0	0,00	0,00	0,00
38		86							0	0,00	0,00	0,00
39		86							0	0,00	0,00	0,00
40		86							0	0,00	0,00	0,00
41		86							0	0,00	0,00	0,00
42		86							0	0,00	0,00	0,00
43		86							0	0,00	0,00	0,00
44		86							0	0,00	0,00	0,00
45		86							0	0,00	0,00	0,00
46		86							0	0,00	0,00	0,00
47		86							0	0,00	0,00	0,00
48		86							0	0,00	0,00	0,00
49		86							0	0,00	0,00	0,00
50		86							0	0,00	0,00	0,00

