



**LA SPEZIA
CONTAINER TERMINAL**



Autorità di Sistema Portuale
del Mar Ligure Orientale
Porti di La Spezia e
Marina di Carrara



**PORTO DI LA SPEZIA
AMPLIAMENTO TERMINAL RAVANO**

PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO

CRITERI DI DIMENSIONAMENTO CAVI ELETTRICI

CODICE ELABORATO

21 08 PE R507 01

Rev.	Data	Causale
0	05/05/2023	Emissione finale per verificatore
1	08/01/2024	Aggiornamento elaborato
2		
3		

IL COMMITTENTE



LSCT S.p.a.
Viale San Bartolomeo, 20
19126 - La Spezia (SP)
C.F.00072960115 - P.IVA 00859620114

IL PROGETTISTA



Modimar Project S.r.l.
Via Asmara, 72 - 00199 Roma (RM)
P. IVA 16016151009



GES - Geotechnical Engineering Service S.r.l.
Via Sandro Totti, 7/A - 60131 Ancona (AN)
P. IVA 02528430420



GeoEquipe - Studio Tecnico Associato
Via Sandro Pertini, 55 - 62029 Tolentino (MC)
P. IVA 00817500432

Dimensioni foglio:

A4

Redatto:

e-Engineering

Controllato:

Sanzone

Approvato:

Tartaglino

Note:

SOMMARIO

1	SCOPO	2
2	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO	2
2.1	DOCUMENTI	2
2.2	NORME	2
3	CONDIZIONI AMBIENTALI	3
4	DIMENSIONAMENTO CAVI DI MEDIA TENSIONE	3
4.1	TENUTA AL CORTO CIRCUITO DEI CAVI MT	3
4.2	PORTATA DI CORRENTE ALLE CONDIZIONI DI POSA DEI CAVI MT	4
4.2.1	Cavi unipolari MT posati in tubi di materiale plastico e/o cunicoli	5
4.2.2	Cavi multipolari MT posati in tubi di materiale plastico e/o cunicoli.....	6
4.2.3	Cavi multipolari MT posati in aria.....	6
4.3	CADUTA DI TENSIONE PERCENTUALE PER CAVI MT	7
5	DIMENSIONAMENTO CAVI DI BASSA TENSIONE	8
5.1	TENUTA AL CORTOCIRCUITO DEI CAVI DI BASSA TENSIONE	8
5.2	CORRENTE DI CORTOCIRCUITO FASE-FASE A FONDO LINEA	10
5.3	CORRENTE DI CORTOCIRCUITO FASE-TERRA	11
5.4	PORTATA DI CORRENTE ALLE CONDIZIONI DI POSA	11
5.4.1	Cavi multipolari BT installati in tubi di materiale plastico e/o in cunicolo	12
5.5	CADUTA DI TENSIONE PERCENTUALE CAVI BT	12

1 SCOPO

Lo scopo del presente documento è quello di stabilire i criteri di dimensionamento dei cavi di potenza in Media e Bassa Tensione nell'ambito del progetto di espansione del terminale marittimo LSCT-Ravano del porto di La Spezia.

2 DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTI

- 21_08_PE_R501 – Descrizione dei sistemi elettrice e criteri generali di progettazione;
- 21_08_PE_R508 – Dimensionamento cavi elettrici;
- 21_08_PE_R509 – Elenco cavi elettrici.

2.2 NORME

- CEI 17-5: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 20 serie 21 ultime edizioni: Calcolo delle portate dei cavi elettrici. In regime permanente (fattore di carico 100%).
- CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- CEI UNEL 35023: Cavi di energia per tensione nominale U uguale ad 1kV - Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026: 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 UNEL 35027: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV. Portate di corrente in regime permanente - Posa in aria ed interrata.

- IEC 60364-5-52: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.

3 CONDIZIONI AMBIENTALI

I cavi sono dimensionati per operare in servizio continuo alle seguenti condizioni ambientali:

- Temperatura dell'aria (per dimensionamento cavi posati aerei): 30 C;
- Temperatura del terreno alla profondità di 1.2 metri (per dimensionamento cavi interrati): 25 °C;
- Resistività termica del terreno alla profondità di 1,2 metri (calcestruzzo, cemento) (per dimensionamento cavi interrati): 200·K·cm/W.

4 DIMENSIONAMENTO CAVI DI MEDIA TENSIONE

I cavi saranno calcolati e dimensionati in accordo ai criteri riportati di seguito, le sezioni saranno scelte in modo che siano soddisfatti tali criteri selezionando la sezione commerciale immediatamente superiore rispetto a quella calcolata.

- Tenuta al corto circuito;
- Portata di corrente alle condizioni di posa;
- Caduta di tensione percentuale.

4.1 TENUTA AL CORTO CIRCUITO DEI CAVI MT

I cavi sono dimensionati per sopportare l'energia specifica lasciata passare dai dispositivi di protezione in caso di cortocircuito secondo la relazione:

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

La sezione minima è data da:

$$S \geq \sqrt{\frac{I^2 \cdot t}{K^2}}$$

con:

I: corrente di cortocircuito (A);

- t: tempo di permanenza del cortocircuito “intervento del dispositivo di protezione più apertura interruttore” (s);
- S: sezione del cavo (mm²);
- K: costante dipendente dalle caratteristiche del conduttore, dall’isolamento del cavo, dalla temperatura del conduttore all’inizio del guasto e la massima temperatura permessa. Per i cavi isolati in XLPE/HEPR il valore di K è uguale a 143.

Nella seguente tabella sono indicati i valori dei tempi di permanenza del corto circuito per il calcolo di dimensionamento dei cavi.

I tempi indicati sono presunti per le partenze 15kV, conservativi rispetto agli effettivi.

4.1.1 Posa dei cavi

Tensione di Sbarra (kV)	Servizio	Corrente di Corto Circuito (kA)	Tempo di Permanenza del Corto Circuito (Sec)
15	Arrivi	16	0.4
	Partenza Linea con Interruttore	16	0.2
	Partenza trasformatore con Interruttore	16	0.2
	Partenza VFD con interruttore	16	0.2

4.2 PORTATA DI CORRENTE ALLE CONDIZIONI DI POSA DEI CAVI MT

La portata dei conduttori è calcolata verificando la temperatura ammissibile del cavo alle condizioni di posa di progetto.

La posa dei cavi è in cunicolo e/o in tubi di PVC pesante annegati in masselli di calcestruzzo.

Le portate standard dei cavi MT ed i relativi coefficienti di declassamento sono ricavate dalla norma:

- CEI UNEL 35027 per Cavi Media Tensione - posa in aria ed interrata.

La portata I_z dei cavi alle condizioni di posa è calcolata con la seguente formula:

$$I_z = I_o \cdot k_{tt} \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_d \cdot k_f \cdot k_a$$

con:

I_o : portata nominale di corrente dei cavi indicata nelle tabelle della Norma di riferimento;

k_{tt} : coefficiente di correzione per la temperatura ambiente del terreno;

k_d : coefficiente di correzione per spaziatura tra cavi;

k_p : coefficiente di correzione di profondità di posa;

k_r : coefficiente di correzione di resistività termica del terreno;

k_a : coefficiente di correzione per presenza aria ferma nel tubo/cunicolo.

k_f : coefficiente di correzione per il tipo di utenza non lineare.

Di seguito sono indicate le tabelle di determinazione del coefficiente di correzione e la tabella di portata applicabile per ogni tipologia di posa da applicare alle condutture.

4.2.1 Cavi unipolari MT posati in tubi di materiale plastico e/o cunicoli

Codice	CEI UNEL 35027	Valore
I_o	Tipo posa E6 (Nota 1)	Vedi Tabella 7
k_{tt}	Tabella 18	0.94
k_d	Tabella 19 (Nota 2)	0.90
k_p	Tabella 21	0.93
k_r	Tabella 23	0.91
k_a	(Nota 3)	0.80

Nota 1: Al fine del solo dimensionamento cavi la posa è assimilabile al tipo E6.

Nota 2: Si tiene conto della venuta a contatto dei cavi in posa comune.

Nota 3: Si tiene conto della bassa conducibilità termica dell'aria ferma all'interno del tubo/cunicolo.

4.2.2 Cavi multipolari MT posati in tubi di materiale plastico e/o cunicoli

Codice	CEI UNEL 35027	Valore
I_o	Tipo posa E3 (Nota 1)	Vedi Tabella 15
k_{tt}	Tabella 18	0.94
k_d	Tabella 19 (Nota 2)	0.90
k_p	Tabella 21	0.95
k_r	Tabella 25	0.94
k_a	(Nota 3)	0.80
k_f	(Nota 4)	0.90

Nota 1: Al fine del solo dimensionamento cavi la posa è stata assimilabile al tipo E3.

Nota 2: Si tiene conto della venuta a contatto dei cavi in posa comune.

Nota 3: Si tiene conto della bassa conducibilità termica dell'aria ferma all'interno del tubo/cunicolo.

Nota 4: Si tiene conto della tipologia di utilizzatore non lineare caratterizzato da presenza di armoniche dissipative (non contemplato dalla norma – ricavato dalla letteratura).

4.2.3 Cavi multipolari MT posati in aria

Codice	CEI UNEL 35027	Valore
I_o	Tipo posa A8 (Nota 1)	Vedi Tabella 11
k_{ta}	Tabella 17	0.95
k_d	Tabella 19 (Nota 2)	0.90

Nota 1: Al fine del solo dimensionamento cavi la posa è stata assimilabile al tipo A8.

Nota 2: Si tiene conto della venuta a contatto dei cavi in posa comune.

4.3 CADUTA DI TENSIONE PERCENTUALE PER CAVI MT

Il sistema elettrico è dimensionato in modo da assicurare che le cadute di tensioni, in qualsiasi punto dell' impianto, con tutti gli apparecchi utilizzatori attivi in funzionamento simultaneo, non superino i seguenti valori:

- Cavi di distribuzione primaria $\leq 1\%$
- Cavi d'alimentazione motori in servizio nominale $\leq 4\%$
- Cavi d'alimentazione motori in transitorio $\leq 10\%$

La caduta di tensione è calcolata tramite le seguenti formule:

$$\Delta V_N \% = \frac{k \cdot I_N \cdot L \cdot (R \cdot \cos \varphi_N + X \cdot \sin \varphi_N)}{V} \cdot 100$$

$$\Delta V_A \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_A \cdot L \cdot (R \cdot \cos \varphi_A + X \cdot \sin \varphi_A)}{V} \cdot 100$$

con:

- DV_N%: caduta di tensione;
- DV_A%: caduta di tensione all'avviamento (solo motori);
- V: tensione nominale [V];
- I_N: corrente nominale [A];
- I_A: corrente di avviamento (solo per motori) [A];
- Φ_N: sfasamento nominale;
- Φ_A: sfasamento all'avviamento (solo per motori);
- R: resistenza unitaria del cavo [Ohm/km];
- X: reattanza unitaria del cavo [Ohm/km];
- L: lunghezza cavo [m];
- K: $\sqrt{3}$ per circuiti trifase; 2 per circuiti monofase.

5 DIMENSIONAMENTO CAVI DI BASSA TENSIONE

I cavi sono calcolati e dimensionati in accordo ai criteri riportati di seguito, le sezioni sono scelte in modo che soddisfino tali criteri selezionando la sezione commerciale immediatamente superiore rispetto a quella calcolata.

- a) tenuta al corto circuito ad inizio linea;
- b) corrente di cortocircuito fase-fase a fondo linea;
- c) corrente di cortocircuito fase-terra;
- d) portata di corrente alle condizioni di posa;
- e) caduta di tensione percentuale.

5.1 TENUTA AL CORTOCIRCUITO DEI CAVI DI BASSA TENSIONE

I cavi sono dimensionati per sopportare l'energia specifica lasciata passare dai dispositivi di protezione in caso di cortocircuito secondo la relazione:

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

La sezione minima è data da:

$$S \geq \sqrt{\frac{I^2 \cdot t}{K^2}}$$

con:

- I: corrente presunta di cortocircuito (A);
- t: tempo di intervento del dispositivo di protezione (sec);
- S: sezione del cavo (mm²);
- K: costante dipendente dalle caratteristiche del conduttore, dall'isolamento del cavo, dalla temperatura del conduttore all'inizio del guasto e la massima temperatura permessa. Per cavi con isolamento HEPR il valore di K è uguale a 143.

Nella seguente tabella sono indicati i valori dei tempi di permanenza del corto circuito per il calcolo di dimensionamento dei cavi.



Tensione di Sbarra (kV)	Servizio	Corrente di Corto Circuito (kA)	Tempo di Permanenza del Corto Circuito (Sec)
0.4	Partenza QGBT a utenze in campo	20 (Nota 1)	0,1
	Partenza da QGBT a utenze servizi di cabina (major)	14 (Nota 2)	0,01
	Partenza da QGBT a utenze di servizi di cabina (minor)	6 (Nota 2)	0,01

Nota 1: Corrente di corto circuito limitata a 20kA con l'installazione di interruttori limitatori (MCCB).

Nota 2: Corrente di cortocircuito limitata dal tipo di interruttori installati (mcb)

I valori di $K^2 S^2$ per le varie sezioni sono i seguenti:

sezione (mm ²)	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
$K^2 S^2$	$4.60 \cdot 10^4$	$1.27 \cdot 10^5$	$3.27 \cdot 10^5$	$7.36 \cdot 10^5$	$2.04 \cdot 10^6$	$5.23 \cdot 10^6$	$1.27 \cdot 10^7$	$2.50 \cdot 10^7$	$5.11 \cdot 10^7$

I valori di $I^2 t$ e la conseguente sezione minima del cavo da impiegare sono i seguenti:

Installazione	$I^2 t$	Sezione minima mm ²
Partenza QGBT a utenze di campo (20 kA x 0,10 sec)	$4 \cdot 10^7$	50
Partenza da QGBT a utenze servizi di cabina (major) (14 kA x 0,01 sec)	$1.96 \cdot 10^6$	10
Partenza da QGBT a utenze servizi di cabina (minor) (6 kA x 0,01 sec)	$3.6 \cdot 10^5$	6

5.2 CORRENTE DI CORTOCIRCUITO FASE-FASE A FONDO LINEA

La corrente di cortocircuito a fine linea è definita dalla seguente formula (CEI 64-8):

$$I_{cc} = K_x \cdot K_{par} \cdot (0,8 \cdot U \cdot S) / (1,5 \cdot \rho \cdot 2 \cdot L)$$

con:

- I_{cc} : corrente di cortocircuito a fondo linea (A);
- U: tensione concatenata (V);
- S: sezione del conduttore di fase (mm²);
- ρ : resistività a 20°C del materiale dei conduttori (0,018 Ω mm²/m per il rame);
- L: lunghezza cavo (considerata per il calcolo in tabella una base di 100m)
- K_x : 0.90 per 120 mm² ; 0.85 per 150 mm² ; 0.80 per 185 mm²
- K_{par} : 1 per un solo cavo; 2 per due cavi in parallelo; 2.65 per tre cavi in parallelo

TABELLA CORRENTE DI CORTOCIRCUITO A FONDO LINEA CON LUNGHEZZA BASE 100 m	
SEZIONE CAVO (mm²)	MASSIMA CORRENTE CORTOCIRCUITO (A)
1,5	89
2,5	148
4	237
6	355
10	592
16	948
25	1481
35	2074
50	2962
70	4148
95	5629
120	6400
150	7555
185	8770
240	11377
300	14222

Nota 1: I valori di tabella sono considerati per cavi con neutro non distribuito.

Per neutro distribuito, il valore della corrente di cortocircuito a fondo linea deve essere calcolato dividendo il valore della tabella per 2 e moltiplicare, secondo CEI

64-8, per m (rapporto tra la sezione del conduttore di fase e la sezione del conduttore di neutro).

Nota 2: La corrente di corto-circuito a fine linea sarà calcolata in base alla formazione e alla lunghezza del cavo. Tale valore dovrà essere superiore alla curva d'intervento del dispositivo di interruttore installato nel quadro di alimentazione.

5.3 CORRENTE DI CORTOCIRCUITO FASE-TERRA

La verifica della corrente di cortocircuito fase-terra è omessa in quanto tutti i cavi sono alimentati da partenze provviste di toroide e protezione differenziale di terra.

5.4 PORTATA DI CORRENTE ALLE CONDIZIONI DI POSA

La portata dei conduttori è calcolata verificando la temperatura ammissibile del cavo alle condizioni di posa di progetto.

I cavi saranno posati in cunicolo e/o in tubi di PVC pesante annegati in masselli di calcestruzzo.

Le portate standard dei cavi ed i relativi coefficienti di declassamento per posa in aria libera e interrata sono ricavate da:

- CEI UNEL 35026 per cavi Bassa Tensione posati in terra;

La portata I_z dei cavi alle condizioni di posa viene calcolato con la seguente formula:

$$I_z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_a$$

con:

I_0 : portata del cavo
standard;

k_1 : fattore di correzione per temperature diverse da 20°C (Tabella II);

k_2 : fattore di correzione per circuiti installati sullo stesso piano (Tabella III);

k_3 : fattore di correzione per profondità di interrimento diverso dal valore specificato (Tabella IV);

k_4 : fattore di correzione per resistività termica diversa dal valore specificato (tabella V).

k_a : coefficiente di correzione per presenza aria ferma nel tubo/cunicolo.

Di seguito sono indicate le tabelle di determinazione dei coefficienti di correzione per ogni tipologia di posa da applicare alle condutture di questo progetto.

Nota 1: Fattore di correzione da applicare in sostituzione di K_2 , considerando cavi con al massimo tre sezioni differenti.

5.4.1 Cavi multipolari BT installati in tubi di materiale plastico e/o in cunicolo

Codice	Tabella CEI UNEL 35026 applicabile	Valore
I_0	Tabella I Cavi EPR multipolari in tubo/cunicolo interrato	Vedi Tabella I
k_1	Tabella II	0,93
k_2	Tabella III “n. 6 circuiti attivi a contatto”	0,60
k_3	Tabella IV	0,98
k_4	Tabella V	0,91
k_a	(NOTA 1)	0,80

Nota 1: Tiene conto della bassa conducibilità termica dell'aria ferma all'interno del tubo/cunicolo (non contemplato dalla norma – ricavato dalla letteratura).

5.5 CADUTA DI TENSIONE PERCENTUALE CAVI BT

Il sistema elettrico è dimensionato in modo da assicurare che le cadute di tensioni, in qualsiasi punto dell' impianto, quando sono inseriti tutti gli apparecchi utilizzatori che possono funzionare simultaneamente, non superino i seguenti valori:

- Cavi di distribuzione primaria $\leq 1\%$
- Cavi di distribuzione utenze generiche $\leq 4\%$
- Cavi di distribuzione dorsali circuiti luce $\leq 3\%$
- Cavi d'alimentazione motori in servizio nominale $\leq 5\%$
- Cavi di distribuzione luce stradale $\leq 5\%$
- Cavi di distribuzione Corrente Continua $\leq 2\%$

La caduta di tensione è calcolata tramite le seguenti formule:

$$\Delta V_N \% = \frac{k \cdot I_N \cdot L \cdot (R \cdot \cos \varphi_N + X \cdot \sin \varphi_N)}{V} \cdot 100$$

$$\Delta V_A \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_A \cdot L \cdot (R \cdot \cos \varphi_A + X \cdot \sin \varphi_A)}{V} \cdot 100$$

$$\Delta V_{DC} \% = \frac{2 \cdot I_N \cdot L \cdot R}{V} \cdot 100$$

con:

- DV_N%: caduta di tensione
- DV_A%: caduta di tensione all'avviamento (solo per i motori)
- V: tensione Nominale [V]
- I_N: corrente nominale [A]
- I_A: corrente di avviamento (solo per motori) [A]
- Φ_N: sfasamento nominale
- Φ_A: sfasamento all'avviamento (solo per motori)
- R: resistenza unitaria del cavo [Ohm/km]
- X: reattanza unitaria del cavo [Ohm/km]
- L: lunghezza cavo [m]
- K: $\sqrt{3}$ per circuiti trifase; 2 per circuiti monofase.

Per i valori di R e X si fa riferimento alla Tabella 1 del Norma CEI UNEL 35023.