

REGIONE MARCHE
PROVINCIA DI FERMO
COMUNE DI FERMO





IMPIANTO DI TRATTAMENTO ANAEROBICO DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI
RIFIUTI SOLIDI URBANI PER LA PRODUZIONE DI BIOMETANO

CIG: 9880245C18 – CUP: F62F18000070004

PROGETTO ESECUTIVO

NOME ELABORATO		CLASSE	7.1
RELAZIONE IMPIANTO ELETTRICO		IMPIANTI ELETTRICI RELAZIONI	
		N. TAVOLA	7.1.1
		FORMATO	A4
		SCALA	/
CODIFICA ELABORATO	23008-OW-C-71-RS-006-GA0-1		

01	02/01/2025	RISCONTRO RAPP. VER. INT. REV.2-BIS	A. BUTTICE'	C. BUTTICE'	R. MARTELLO
00	25/09/2024	PRIMA EMISSIONE	A. BUTTICE'	C. BUTTICE'	R. MARTELLO
REV	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

Committente	Progettista indicato	Mandataria
 CITTA' DI FERMO Settore IV e V Lavori Pubblici, Protezione Civile, Ambiente, Urbanistica, Patrimonio, Contratti e Appalti Via Mazzini 4 63900 – Fermo (FM) DOTT. Mauro Fortuna RUP	 ENGINEERING COMPANY Via Resuttana 360 90142 -PALERMO OWAC Engineering Company S.R.L ING. Rocco Martello Direttore Tecnico <small>UNI EN ISO 9001:2015 N. 30233/14/S UNI EN ISO 45001:2018 N. OHS-4849 UNI EN ISO 14001:2015 N. EMS-9477/S UNI/PDR 74 :2019 N. SGBIM-01/23 UNI/PdR 74:2019 N. 21042BIM</small>	 Via del Cardoncello 22 70022 – Altamura (BA) EDILALTA S.R.L. DOTT. Angelantonio Disabato Socio Mandante  Fueling a Sustainable World™ Via Bassa di Casalmoro 3 46041 – Asola (MN) ANAERGIA S.R.L. DOTT. Andrea Parisi Institore



01	A. BUTTICÈ	02/01/2025	C. BUTTICÈ	03/01/2025	R. MARTELLO	03/01/2025
00	A. BUTTICÈ	25/09/2024	C. BUTTICÈ	25/09/2024	R. MARTELLO	25/09/2024
REV	ESEGUITO	DATA	VERIFICATO	DATA	APPROVATO	DATA



Sommario

1.	GENERALITÀ.....	5
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI	5
3.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	6
4.	CRITERI DI PROGETTAZIONE.....	11
4.1.	DESCRIZIONE DEI LUOGHI DI INSTALLAZIONE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI	11
4.2.	DISTRIBUZIONE IN MEDIA TENSIONE	12
4.2.1.	<i>Distribuzione principale in Media Tensione</i>	<i>12</i>
4.2.2.	<i>Quadri di Media Tensione</i>	<i>14</i>
4.2.1.	<i>Regolazione delle protezioni DG</i>	<i>15</i>
4.2.2.	<i>Cavo di Media Tensione</i>	<i>16</i>
4.3.	DISTRIBUZIONE IN BASSA TENSIONE.....	16
4.3.1.	<i>Trasformatori MT/bt.....</i>	<i>16</i>
4.3.2.	<i>Gruppo elettrogeno.....</i>	<i>17</i>
4.3.3.	<i>Quadri in bassa tensione.....</i>	<i>17</i>
4.3.4.	<i>Pulsanti di sgancio di emergenza.....</i>	<i>18</i>
4.3.5.	<i>Misure di protezione contro i contatti diretti.....</i>	<i>19</i>
4.3.6.	<i>Protezione contro i contatti indiretti.....</i>	<i>20</i>
4.3.7.	<i>Cavidotti e Cavi in bassa tensione.....</i>	<i>20</i>
5.	RELAZIONE SUL CALCOLO ESEGUITO	21
5.1.	CALCOLO DELLE CORRENTI DI IMPIEGO.....	21
5.2.	DIMENSIONAMENTO DEI CAVI	22
5.3.	INTEGRALE DI JOULE.....	24
5.4.	DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI NEUTRO.....	26
5.5.	DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI PROTEZIONE	27
5.6.	CALCOLO DELLA TEMPERATURA DEI CAVI	28
5.7.	CADUTE DI TENSIONE	28
5.8.	FORNITURE DI RETE.....	29
5.8.1.	<i>Media ed Alta Tensione</i>	<i>30</i>
5.8.2.	<i>Trasformatori</i>	<i>31</i>
5.8.3.	<i>Fattore di correzione per trasformatori (EN60909-0 par. 6.3.3).....</i>	<i>33</i>
5.8.4.	<i>Fattore di correzione per generatori sincroni (EN60909-0 par. 6.6.1).....</i>	<i>33</i>
5.8.5.	<i>Calcolo delle correnti di guasto.....</i>	<i>34</i>



5.8.6.	Calcolo delle correnti massime di cortocircuito	34
5.8.7.	Calcolo delle correnti minime di cortocircuito.....	37
5.8.8.	Calcolo guasti bifase-neutro e bifase-terra.....	39
6.	SCELTA DELLE PROTEZIONI	39
6.1.	VERIFICA DELLA PROTEZIONE A CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE	39
6.2.	VERIFICA DI SELETTIVITA'	40
6.3.	PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI	41
6.3.1.	Sistemi TN	41
7.	IMPIANTO DI MESSA A TERRA	42
7.1.	DESCRIZIONE	42
8.	DISTRIBUZIONE ELETTRICA.....	44
9.	CONDUTTURE	47
10.	DERIVAZIONI.....	48
11.	TUBAZIONI	48
12.	CAVIDOTTI	50
13.	CAVI ELETTRICI DIRETTAMENTE INTERRATI.....	51
14.	INCROCI E PARALLELISMI FRA CAVI DI ENERGIA E TUBAZIONI METALLICHE	52
14.1.	INCROCIO FRA CAVI DI ENERGIA E TELECOMUNICAZIONI	52
14.2.	INCROCIO FRA CAVI DI ENERGIA E TUBAZIONI METALLICHE INTERRATE.....	53
14.3.	PARALLELISMI FRA CAVI DI ENERGIA E TUBAZIONI METALLICHE INTERRATE	55
14.4.	COESISTENZA FRA CAVI DI ENERGIA E GASDOTTI	55
15.	CAVI ELETTRICI	56
16.	SISTEMA DI PROTEZIONE DALLE SOVRATENSIONI	59
17.	CONCLUSIONI.....	60



1. GENERALITÀ

Tutti gli impianti dovranno essere eseguiti a perfetta regola d'arte conformemente alle vigenti normative nonché alle leggi, alle quali si farà riferimento per ogni eventuale contestazione tecnica e in sede di collaudo finale. Gli impianti e le apparecchiature saranno ulteriormente conformi alle prescrizioni degli Enti: VV.FF - ENEL - TELECOM - INAIL competenti per territorio ed ai quali ci si rivolgerà direttamente per assumere tutti quei dati tecnici necessari per una corretta conduzione dei lavori. I materiali e le apparecchiature di previsto impiego saranno scelti tra le primarie ditte costruttrici e comunque contraddistinti dal MARCHIO ITALIANO DI QUALITÀ (IMQ) e marchio (CE).

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Nella progettazione si è fatto riferimento alle disposizioni normative vigenti in materia. A seguire si riporta l'elenco, non esaustivo, dei principali riferimenti:

- **Legge 1 Marzo 1968 n.186** "Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici";
- **D.M. 22 Gennaio 2008 n.37** "Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n.248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici";
- **D.L. 9 Aprile 2008 n.81** "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n.123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro";
- **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";
- **CEI 0-21** "Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica";
- **CEI 11-20** "Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria";
- **CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87)** "Costruzioni elettriche per atmosfere esplosive per la presenza di gas";
- **CEI EN 60079-10-2 (CEI 31-88)** "Costruzioni elettriche per atmosfere esplosive per la presenza di polveri";
- **CEI 44-16** "Sicurezza del macchinario - Sicurezza funzionale dei sistemi di comando e controllo, elettrici, elettronici ed elettronici programmabili correlati alla sicurezza (Quadri bordo macchina)";
- **CEI 64-2** "Impianti elettrici nei luoghi con pericolo di esplosione- Prescrizioni specifiche per la presenza di polveri infiammabili e sostanze esplosive";



- **CEI EN 61936-1** "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata";
- **CEI 99-4** "Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale";
- **CEI 11-17** "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica. Linee incavo";
- **IEC 62502-2** "Cavi per energia a isolamento estruso a loro accessori per tensioni assegnate da 1kV a 30kV. Parte 2. Cavi con tensione assegnata da 6kV a 30kV";
- **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";
- **CEI 64-8** "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua";
- **CEI 11-28** "Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali a bassa tensione";
- **CEI 64-50** "Edilizia ad uso residenziale e terziario. Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione di impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici".
- **CEI EN 61439-1 (CEI 17-113)** "Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) - Parte 1: Regole generali"
- **CEI EN 61439-2 (CEI 17-112)** "Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) - Parte 2: Quadri di potenza"

3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

L'impianto elettrico oggetto della presente relazione è asservito ad una piattaforma di trattamento anaerobico della FORSU per la produzione di biometano, localizzata in C. da San Biagio del Comune di Fermo, in prossimità del Centro Integrato per la Gestione dei Rifiuti Urbani (CIGRU) gestito dalla società Fermo Asite S.r.l., ed autorizzato con Determina n. 61 del 31/01/2022 e s.m.i. del Settore III della Provincia di Fermo.

In sintesi l'impianto rappresenta l'implementazione e l'efficientamento del CIGRU con particolare riferimento alla minimizzazione degli impatti legati al trattamento delle matrici organiche; l'impianto prevede infatti:

- Il pre-trattamento della FORSU conferita al fine di rendere il rifiuto compatibile con i successivi trattamenti;
- La digestione anaerobica delle matrici organiche del rifiuto per la produzione di biogas;



- Il post-trattamento del digestato prodotto, al fine di ottenere acqua depurata da un lato (tramite l'impianto di depurazione *in situ* previsto) e fertilizzanti conformi alla normativa italiana ed europea dall'altro lato;
- Il post-trattamento del biogas per la produzione di biometano, da utilizzare nel settore dei trasporti tramite compressione su carri bombolai.

In virtù di quanto sopra esposto il progetto prevede per la realizzazione dell'impianto elettrico a servizio della piattaforma di trattamento rifiuti le seguenti opere:

- **AREE ESTERNE**

1. Realizzazione di n. 2 cabine elettriche di trasformazione MT/bt collegate in antenna a servizio dell'intera piattaforma;
2. Realizzazione di n. 1 cabine elettriche bt a servizio del capannone di conferimento e pretrattamento per il posizionamento del Power Center di Bassa Tensione;
3. Fornitura e posa in opera dei quadri di Media Tensione;
4. Fornitura e posa in opera di trasformatori MT/bt isolati in resina;
5. Fornitura e posa in opera dei quadri elettrici di bt in cabina di trasformazione (Power Center);
6. Fornitura e posa in opera di gruppo elettrogeno di emergenza a gasolio con cofanatura per esterno completo di serbatoio per il gasolio;
7. Fornitura e posa in opera di quadri elettrici di distribuzione;
8. Fornitura e posa in opera dei comandi locali delle utenze e dei pulsanti di emergenza;
9. Realizzazione di cavidotti interrati;

- **CAPANNONE CONFERIMENTO E PRETRATTAMENTO**

1. Fornitura e posa in opera di canali metallici per distribuzione elettrica aerea interna agli edifici;
2. Realizzazione di n. 1 cabine elettriche bt a servizio del capannone di conferimento e pretrattamento per il posizionamento dei quadri package dei macchinari;
3. Fornitura e posa in opera di tubazioni conduit per distribuzione elettrica



interna agli edifici;

4. Realizzazione di cavidotti interrati;
5. Fornitura e posa in opera di cavi elettrici bt e segnali;
6. Realizzazione di impianto di illuminazione e forza motrice;
7. Realizzazione degli impianti security quali TVCC, antincendio, evacuazione fumi;
8. Collegamenti elettrici alle utenze motorizzate;
9. Collegamenti elettrici ai quadri package;
10. Realizzazione sganci di emergenza.

- CAPANNONE CENTRIFUGA

1. Fornitura e posa in opera di canali metallici per distribuzione elettrica aerea interna agli edifici;
2. Fornitura e posa in opera di tubazioni conduit per distribuzione elettrica interna agli edifici;
3. Fornitura e posa in opera di cavi elettrici bt e segnali;
4. Realizzazione di impianto di illuminazione e forza motrice;
5. Realizzazione degli impianti security quali TVCC, antincendio, evacuazione fumi;
6. Collegamenti elettrici alle utenze motorizzate;
7. Collegamenti elettrici ai quadri package;
8. Realizzazione sganci di emergenza.

- TETTORIA DEPURAZIONE REFLUI

1. Realizzazione di n. 1 cabine elettriche bt a servizio della tettoia depurazione reflui per il posizionamento dei quadri package dei macchinari;
2. Fornitura e posa in opera di canali metallici per distribuzione elettrica aerea interna agli edifici;



3. Fornitura e posa in opera di tubazioni conduit per distribuzione elettrica interna agli edifici;
 4. Fornitura e posa in opera di cavi elettrici bt e segnali;
 5. Realizzazione di impianto di illuminazione e forza motrice;
 6. Realizzazione degli impianti security quali TVCC, antincendio;
 7. Collegamenti elettrici alle utenze motorizzate;
 8. Collegamenti elettrici ai quadri package;
 9. Realizzazione sganci di emergenza.
- PALAZZINA UFFICI
1. Fornitura e posa in opera di quadro elettrico di distribuzione;
 2. Fornitura e posa in opera di gruppo di continuità UPS;
 3. Realizzazione delle tracce elettriche e segnali per l'alimentazione dei singoli locali e la distribuzione dati;
 4. Realizzazione di impianto di illuminazione, forza motrice, connessione dati, condizionamento e trattamento aria;
 5. Collegamenti elettrici alle utenze;
 6. Realizzazione sganci di emergenza.

Resta inteso che quanto sopra può essere desunto negli elaborati grafici di progetto.

Come meglio spiegato nei paragrafi successivi, si è scelto di distribuire la media tensione e di effettuare poi una trasformazione locale per la distribuzione in bassa tensione al fine di contenere le perdite energetiche legate alle cadute di tensione che si verrebbero a creare nel caso in cui tutta la distribuzione di energia venisse fatta esclusivamente in bassa tensione.

La tabella sottostante riporta le principali utenze dei singoli Power Center:



QUADRO DI PARTENZA	UTENZA	POTENZA NOMINALE [kW]	COEFF. DI UTILIZZO [k]	POTENZA IMPEGNATA [kW]
PC-BT_C1	POWER CENTER SEZIONE DI PRETRATTAMENTO (PC-BT_PRE)	485,49	1	485,49
	QUADRO DI CONTROLLO SEZIONE DI BIODIGESTIONE	380	0,8	304
	TORCIA DI EMERGENZA	6	0,5	3
	LINEE PREFERENZIALI CP-01	6	0,8	4,8
	QUADRO LINEA PRIVILEGIATA UFFICI	4	0,7	2,8
	DESOLFORATORE	17	0,8	13,6
	STAZIONE POLIMERICA	6	0,8	4,8
	UTENZE GENERICHE (ILLUMINAZIONE, POMPE...)	50	0,5	25
PC-BT_PRE	QUADRO DI CONTROLLO SEZIONE DI PRETRATTAMENTO	300	0,8	240
	SCRUBBER BIOFILTRO PRETRATTAMENTO	75	0,8	60
	BIOSEPARATORE 1	70	0,8	60
	APRISACCHI	49	0,8	39,2
	CARROPONTE	44	0,8	35,2
	UTENZE GENERICHE (ILLUMINAZIONE, POMPE...)	100	0,5	50
PC-BT_C2	ELETTROPOMPA ANTINCENDIO	36	0,2	7,2
	AUSILIARI BOX ANTINCENDIO	5	0,5	2,5
	QUADRO IMPIANTO DEPURAZIONE REFLUI	390	0,8	312
	UPGRADING BIOGAS	300	0,8	210
	COMPRESSORE BIOMETANO	100	0,6	60
	SCRUBBER BIOFILTRO DEWATERING	75	0,8	60
	DEWATERING	90	0,8	72
	QUADRO UFFICI	30	1	30
	UTENZE GENERICHE (ILLUMINAZIONE, POMPE...)	70	0,5	35

Tabella 1 - Potenze elettriche impegnate

I valori di potenza richiesta ed i valori di corrente dei dispositivi scelti possono essere desunti dagli schemi elettrici unifilari riportati nell'elaborato "23008-OW-C-72-DD-026-GB3-1_SCHEMI UNIFILARI BT".

Tutte le utenze dell'impianto sono alimentate dalla rete, ed in caso di mancanza di energia alcune utenze, quali sezione privilegiata quadro pretrattamento, quadro di controllo biodigestione, torcia di emergenza, stazione polimerica e quadro linea privilegiata uffici, sono alimentate da un gruppo elettrogeno di emergenza da 400 kVA.



4. CRITERI DI PROGETTAZIONE

Vengono di seguito descritti i criteri di scelta progettuale che hanno portato alla definizione dell'impianto elettrico e degli impianti speciali. Come nel precedente paragrafo si partirà dalle scelte per la distribuzione in media tensione per poi passare alla bassa tensione ed alle caratteristiche che dovrà avere l'impianto di terra (unico sia per la media che per la bassa tensione).

La presente relazione descrive i criteri di progettazione del dimensionamento delle linee elettriche fino ai morsetti di alimentazione dei quadri di macchina. Ciò che è a valle dei suddetti quadri verrà dimensionato dal fornitore.

Per la determinazione dei carichi convenzionali nella calcolazione delle portate delle linee corrente di impiego Ib saranno adottati coefficienti di contemporaneità in relazione alla attività, al numero di addetti, o porzioni di impianto in attività contemporanea.

Per la determinazione delle correnti di impiego sono adottati inoltre fattori di potenza dei singoli utilizzatori e dei gruppi di utenza ed i coefficienti di riduzione dipendenti dal tipo di posa, dalla temperatura ambiente e dalla temperatura massima che può raggiungere il cavo senza che vi siano danneggiamenti dell'isolante stesso, secondo i dettami delle UNEL 35024 e IEC 448.

4.1. DESCRIZIONE DEI LUOGHI DI INSTALLAZIONE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI

I luoghi in cui saranno installati gli impianti elettrici sono essenzialmente classificabili come segue:

- **LUOGHI ORDINARI:** per quanto riguarda i locali uffici impianti elettrici a norma CEI 64-8 da incasso a parete o nel controsoffitto – grado di protezione minimo IP20;
- **LUOGHI DI LAVORO:** per quanto riguarda i locali stoccaggio e trattamento; in questi luoghi gli impianti elettrici saranno comunque realizzati in conformità alle norme CEI 64/8-7 al fine di ridurre al minimo il rischio di incendio, impianti a vista con protezione meccanica grado di protezione IP55;
- **LUOGHI ORDINARI** (attività n.74 DPR n. 151/11) per quanto riguarda il locale



caldaia a gas metano con potenzialità termica >116kW; in questi luoghi gli impianti elettrici saranno comunque realizzati in conformità alle norme CEI 64/8-7 al fine di ridurre al minimo il rischio di incendio, impianti a vista con protezione meccanica grado di protezione IP55;

- **LUOGHI PARTICOLARI** per la presenza di locali contenenti vasche da bagno o docce per quanto riguarda i locali docce; in questi luoghi gli impianti elettrici saranno realizzati in conformità alle norme CEI 64-8/7 art. 701;
- **LUOGHI CON PERICOLO DI ESPLOSIONE** per la presenza di gas infiammabili, in questo locale/zone gli impianti elettrici devono essere realizzati in conformità alla norma CEI 31-33 2015-04 e CEI 31-108 2016-11.
- **LUOGHI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA** per la presenza di gruppo elettrogeno di potenza pari 320 kW, questi luoghi dovranno essere realizzati in accordo alla regola tecnica di prevenzione incendi, attività n. 49/a dell'allegato DRP 01/08/2011 n. 151.

4.2. DISTRIBUZIONE IN MEDIA TENSIONE

Per la definizione delle apparecchiature MT sono state fatte delle ipotesi che rappresentano la situazione tipica della distribuzione MT in Italia (**CEI 0-16 art. 8.5.5.1**):

- tensione di alimentazione: 20kV \pm 10%;
- stato del neutro compensato;
- corrente di guasto a terra IF = 50°;
- tempo di eliminazione del guasto a terra tF \geq 10s;
- corrente di corto circuito trifase: Ik = 12,5kA;
- sezione del cavo di collegamento 95mm².

4.2.1. Distribuzione principale in Media Tensione

La fornitura di energia elettrica del complesso industriale sarà erogata dall'Ente distributore (E-Distribuzione) con un adeguamento dell'attuale contratto in Media Tensione (20.000 V) coerentemente con i consumi previsti nella presente elaborazione progettuale.

La cabina di consegna del distributore è esistente e di proprietà ASITE, è del tipo box prefabbricato in C.A.V. ed è suddivisa in 3 scomparti, uno dedicato ad ospitare i quadri di MT del distributore uno dedicato ad ospitare i contatori di misura dell'energia



elettrica ed uno dedicato ad ospitare i quadri di MT dell'utente. Nel locale utente, oltre ad essere già presente il Dispositivo Generale (**DG**), come previsto dalla norma CEI 0-16 al punto 8.5.3.2, e le due protezioni dei cogeneratori, è stato già posizionato lo scomparto di MT che alimenterà la piattaforma del Biodigestore. La suddetta cabina verrà identificata negli elaborati come "Cabina MT_C0"

Dalla "Cabina MT_C0" si alimenterà la "Cabina MT/bt C1" distante circa 180 m, che a sua volta alimenterà la "Cabina MT/bt C2" distante circa 230 m.

Per la distribuzione elettrica in media tensione si prevede di utilizzare una terna di cavi MT del tipo RG26H1M16X 18/30 kV cordati ad elica in formazione 3x(1x95 mm²) per il tratto di alimentazione tra la "Cabina MT_C0" e la "Cabina MT/bt_C1" ed in formazione 3x(1x50 mm²) per il tratto di alimentazione tra la "Cabina MT/bt_C1" e la "Cabina MT/bt_C2".

I cavi saranno interrati direttamente ad una profondità non inferiore a 0,80 m.

La "Cabina MT/bt C1" sarà così composta:

- un locale ospiterà il quadro di media tensione denominato "QMT_C1", composto dai moduli predisposti per l'arrivo dalla "Cabina MT_C0", per le misure, per la partenza verso la "Cabina MT/bt_C2" e per la partenza verso il trasformatore MT/bt denominato "TR1_C1";
- un locale ospiterà il trasformatore MT/bt "TR1_C1";
- un locale ospiterà il Power Center di Bassa tensione denominato PC-BT_C1.

La "Cabina MT/bt C2" sarà così composta:

- un locale ospiterà il quadro di media tensione denominato "QMT_C2", composto dai moduli predisposti per l'arrivo dalla "Cabina MT/bt_C1" e per la partenza verso il trasformatore MT/bt denominato "TR1_C2";
- un locale ospiterà il trasformatore MT/bt "TR1_C2";
- un locale ospiterà il Power Center di Bassa tensione denominato PC-BT_C2.

Tutte le cabine dovranno essere dotate all'interno di un impianto elettrico essenziale composto da plafoniere per illuminazione ordinaria, luci di emergenza, prese elettriche di potenza e di un UPS per il funzionamento dei meccanismi e delle segnalazioni dei quadri in assenza di energia elettrica da parte dell'ente distributore.



4.2.2. Quadri di Media Tensione

All'interno delle cabine di media tensione denominate "Cabina MT/bt_C1" e "Cabina MT/bt_C2" saranno installati i quadri elettrici di Media Tensione di tipo standard con protezione arco interno sul fronte e sui lati IAC AFL 12,5kA 1s, ed aventi le seguenti caratteristiche tecniche:

- Tensione nominale: **24 kV**;
- Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale 50Hz/1min (valore efficace): **50 kV**;
- Tensione nominale di tenuta a impulso atmosferico 1,2/50 microS (valore di picco): **125 kV**;
- Tensione di esercizio: **20 kV**;
- Frequenza nominale: **50 Hz**;
- N° fasi: **3**;
- Corrente nominale delle sbarre principali: **630 A**;
- Corrente nominale max delle derivazioni: **630 A**;
- Corrente nominale ammissibile di breve durata: **12,5 kA**;
- Corrente nominale di picco: **31,5 kA**;
- Potere di interruzione degli interruttori alla tensione nominale: **12,5 kA**;
- Durata nominale del corto circuito: **1 sec**;
- Tensione nominale degli ausiliari: **220 V**.

I quadri dovranno essere realizzati con unità modulari di tipo ampliabile ed affiancabili, con struttura metallica in lamiere zincate a caldo ed elettrozincate. Le parti interne saranno isolate in aria.

Ogni quadro sarà dotato di uno scomparto di risalita con sezionatore, elemento che ha le funzioni di ricevere le corde di Media Tensione in ingresso e di generale quadro, uno scomparto per le misure ed uno o più scomparti di partenza.

Per quanto riguarda gli scomparti di partenza, che avranno il compito di proteggere le varie alimentazioni di Media tensione, si dovranno impiegare i seguenti elementi:

- interruttori in aria completi di sganciatori;
- protezione a microprocessore con protezioni 50, 51, 51N e 67N;
- sezionatore e sezionatore di messa a terra a monte dell'interruttore;
- indicatori di presenza tensione;



- blocco a chiave sul sezionatore in posizione di chiuso;
- blocco a chiave sul sezionatore di messa a terra in posizione di chiuso;
- blocco a chiave sull'interruttore in posizione di aperto;
- contatti ausiliari sull'interruttore;
- trasformatori di corrente;
- trasformatori di tensione;

Le unità dovranno essere realizzate per ricevere cavi MT isolati in gomma con sezioni fino a 300 mm² per unità con corrente nominale fino a 630 A con allacciamento dal fronte.

4.2.1. Regolazione delle protezioni DG

In relazione a quanto indicato dal DSO e tenendo conto che in tutta l'infrastruttura elettrica vi sono dei punti di immissione di energia, le protezioni del Dispositivo Generale (DG) dovranno essere regolate come di seguito riportato:

- Soglia 51 s1 (I>): 67 A – 12 sec
- Soglia 51 s2 (I>>): 250 A – 0,5 sec
- Soglia 50 s3 (I>>>): 600 A – 0,12 sec
- Soglia 51N s1 (I0>): 2 A – 0,45 sec
- Soglia 51N s2 (I0>>): 70 A – 0,17 sec
- Soglia 67N s1 (I0>←): 2 A – 0,45 sec – 577,35 V – lim.1 60° - lim.2 250°
- Soglia 67N s2 (I0>←): 2 A – 0,17 sec – 230,94 V – lim.1 60° - lim.2 120°
- Soglia 59 s1: 22000 V – intervento variabile a seconda del valore di tensione (max 603 sec)
- Soglia 59 s2: 24000 V – 0,6 sec
- Soglia 27 s1: 17000 V – 1,5 sec
- Soglia 27 s2: 3000 V – 0,2 sec
- Soglia 81> s1: 50,2 Hz – 0,15 sec
- Soglia 81> s2: 51,5 Hz – 1 sec
- Soglia 81< s1: 49,8 Hz – 0,15 sec
- Soglia 81< s2: 47,5 Hz – 4 sec



- Soglia 59 V0: 5 V – 25 sec
- Soglia Vi: 3000 V
- Soglia 27 Vd: 14000 V

4.2.2. Cavo di Media Tensione

In base alla potenza elettrica necessaria ricavata dai calcoli riportati nell'allegato e riassunti nella "Tabella 1" si è scelto di installare un cavo del tipo RG26H1M16X 18/30kV della sezione di 50 mm² cordato ad elica posato direttamente nel terreno ad una profondità non inferiore a 0,80m rispetto alla pavimentazione. Il dimensionamento del cavo è stato fatto rispettando le condizioni per cui la portata del cavo I_z , determinata in base alle tabelle **CEI-UNEL 35027**, sia uguale o superiore alla corrente di impiego I_b (**CEI 11-17 art. 2.2.01**):

$$I_z \geq I_b$$

Tale sezione è anche idonea ai fini della resistenza contro il corto circuito (**CEI 11-17 art. 2.2.02**). Applicando i valori introdotti nel paragrafo 5.1 alla seguente relazione:

$$S \geq \frac{I\sqrt{t}}{K}$$

dove:

S = sezione del cavo MT che nel nostro caso è 50 mm²;

I = corrente di cortocircuito trifase sulla media tensione che nel nostro caso è 12,5kA;

t = tempo di eliminazione del guasto che nel nostro caso è almeno 0,10s

k = 143 per cavi in gomma;

si ottiene:

$$50 \geq 27,64$$

che è abbondantemente soddisfatta.

4.3. DISTRIBUZIONE IN BASSA TENSIONE

Di seguito vengono descritti i criteri adottati per il dimensionamento in bassa tensione.

4.3.1. Trasformatori MT/bt



Dalle potenze elettriche impegnate dalle singole cabine, riportate in “Tabella 1 – Potenze elettriche impegnate” e negli schemi unifilari bt, è stato possibile scegliere i trasformatori MT/bt per l'alimentazione dei Power Center di Bassa Tensione.

- Per la “Cabina MT/bt_C1” sarà prevista l'installazione di un trasformatore isolato in resina della potenza nominale di 1250 kVA che, con un cos-fi pari 0,9, sarà in grado di erogare una potenza di 1125 kW.
- Per la “Cabina MT/bt_C2” sarà prevista l'installazione di un trasformatore isolato in resina della potenza nominale di 1600 kVA che, con un cos-fi pari 0,9, sarà in grado di erogare una potenza di 1440 kW.
- Tali trasformatori saranno installati all'interno delle cabine di MT in appositi locali, secondo quanto indicato nei disegni di progetto.

4.3.2. Gruppo elettrogeno

Nelle adiacenze della “Cabina MT/bt_C1” è prevista l'installazione di un gruppo elettrogeno diesel con cofanatura insonorizzata della potenza nominale di **400 kVA** che, con un cos-fi pari a 0,8, sarà in grado di erogare una potenza pari a 320 kW. Il suo funzionamento sarà del tipo “in emergenza” ed alimenterà la linea preferenziale del quadro pretrattamento, il quadro di controllo biodigestore, la torcia di emergenza, la stazione polimerica e il quadro linea privilegiata uffici in caso di mancanza di rete da parte dell'ente distributore. Il gruppo elettrogeno sarà dotato di un suo quadro “ATS” (Automatic Transfer Switch) che permetterà l'avvio in automatico del motore diesel e comanderà l'apertura e la chiusura degli interruttori generali in cabina così da permettere lo scambio rete-gruppo. A lato della cofanatura sarà presente il pulsante di arresto di emergenza del gruppo elettrogeno che provvederà a spegnere il motore diesel e ad aprire il dispositivo di generatore (DDG).

4.3.3. Quadri in bassa tensione

I quadri generali di bassa tensione saranno del tipo “Power Center” adatti alla distribuzione principale dell'energia per le utenze BT. Saranno ubicati all'interno di appositi locali della “Cabina MT/bt_C1” e della “Cabina Mt/bt_C2”:

Dal “TR1_C1” della “Cabina MT/bt_C1” verrà alimentato il “PC-BT_C1”

Dal “TR1_C2” della “Cabina MT/bt_C2” verrà alimentato il “PC-BT_C2”

Resta inteso che le dorsali di tutte le utenze, con relative correnti assorbite, cadute di tensione, tipologia e sezione dei cavi utilizzati, sono indicate negli schemi unifilari di progetto.

I quadri dovranno essere cablati e certificati secondo le norme **CEI EN 61439-1** e **CEI**



EN 61439-2.

4.3.4. Pulsanti di sgancio di emergenza

In caso di emergenza risulta necessario disalimentare elettricamente l'intera piattaforma o parti di essa, per ottemperare a questa necessità verranno installati dei pulsanti atti allo sgancio elettrico dei quadri elettrici di seguito descritti:

- **S.E. MT-01:** Sgancio elettrico di emergenza generale Media Tensione
Questo pulsante agirà sullo scomparto di arrivo della Media Tensione posizionato all'interno della "Cabina MT/bt_C1" e disalimenterà l'intera piattaforma. In quanto la disalimentazione totale dell'impianto inficerà sul funzionamento dell'elettropompa antincendio (mantendendo però attiva la motopompa di riserva), l'intervento su questo pulsante dovrà essere ad uso esclusivo dei VV.F. e dovrà essere segnalato da apposito cartello.
- **S.E. MT-02:** Sgancio elettrico di emergenza Media Tensione QMT_C2
Questo pulsante agirà sullo scomparto di alimentazione della "Cabina MT/bt_C2" posizionato all'interno della "Cabina MT/bt_C1". In quanto la disalimentazione totale dell'impianto inficerà sul funzionamento dell'elettropompa antincendio (mantendendo però attiva la motopompa di riserva), l'intervento su questo pulsante dovrà essere ad uso esclusivo dei VV.F. e dovrà essere segnalato da apposito cartello.
- **S.E. MT-03:** Sgancio elettrico di emergenza generale Media Tensione
Questo pulsante agirà sullo scomparto di arrivo della Media Tensione posizionato all'interno della "Cabina MT/bt_C1" e disalimenterà l'intera piattaforma. In quanto la disalimentazione totale dell'impianto inficerà sul funzionamento dell'elettropompa antincendio (mantendendo però attiva la motopompa di riserva), l'intervento su questo pulsante dovrà essere ad uso esclusivo dei VV.F. e dovrà essere segnalato da apposito cartello.
- **S.E. BT-01:** Sgancio elettrico di emergenza Quadro Uffici
Questo pulsante agirà sull'interruttore di alimentazione del Quadro Uffici posizionato all'interno della "Cabina MT/bt_C2".
- **S.E. BT-02:** Sgancio elettrico di emergenza UPS Uffici.
Questo pulsante agirà sugli UPS a servizio degli Uffici.
- **S.E. BT-03:** Sgancio elettrico di emergenza Power Center di Bassa Tensione del Gruppo Cabine C2.



Questo pulsante agirà sull'interruttore “Generale Quadro” del PC-BT_C2 posizionato all'interno della “Cabina MT/bt_C2”. Le pompe antincendio rimarranno in funzione in quanto la loro alimentazione è derivata a monte dell'interruttore generale.

- **S.E. BT-04:** Sgancio elettrico di emergenza quadro di comando e controllo sezione di biodigestione “CP-02”

Questo pulsante agirà sull'interruttore “CP-02” del PC-BT_C1 posizionato all'interno della “Cabina MT/bt_C1”.

- **S.E. BT-05:** Sgancio elettrico di emergenza quadro di comando e controllo sezione di biodigestione “CP-02”

Questo pulsante agirà sull'interruttore “CP-02” del PC-BT_C1 posizionato all'interno della “Cabina MT/bt_C1”.

- **S.E. BT-06:** Sgancio elettrico di emergenza gruppo elettrogeno.

Questo pulsante agirà sul “DDG” del gruppo elettrogeno e spegnerà il motore.

- **S.E. BT-07:** Sgancio elettrico di emergenza Power Center di Bassa Tensione del Gruppo Cabine C1.

Questo pulsante agirà sull'interruttore “Generale Quadro” del PC-BT_C1 posizionato all'interno della “Cabina MT/bt_C1”.

- **S.E. BT-08:** Sgancio elettrico di emergenza Power Center di Bassa Tensione del Gruppo Cabine C1bis.

Questo pulsante agirà sull'interruttore “PC-BT_C1bis” del PC-BT_C1 posizionato all'interno della “Cabina MT/bt_C1”.

Il posizionamento dei pulsanti potrà essere desunto dagli elaborati grafici di progetto.

4.3.5. Misure di protezione contro i contatti diretti

La protezione contro i contatti diretti sarà realizzata mediante isolamento completo delle parti attive dell'impianto. Inoltre l'impiego di dispositivi differenziali con corrente differenziale d'intervento non superiore a 30 mA, è riconosciuto come protezione addizionale contro i contatti diretti in caso di insuccesso delle altre misure di



protezione (**CEI 64-8/4 art. 412.5**).

4.3.6. Protezione contro i contatti indiretti

Viene attuata la protezione prevista per i sistemi TN nei quali tutte le masse dell'impianto devono essere collegate al punto di messa a terra del sistema di alimentazione con conduttori di protezione che devono essere messi a terra in corrispondenza o in prossimità di ogni trasformatore (**CEI 64-8/4 art. 413.1.3.1**).

Secondo quanto prescritto dalla norma **CEI 64-8** si impiegheranno dispositivi di protezione a corrente differenziale scelti con valori della corrente I_{dn} pari a:

- 0,03 A per i circuiti terminali Illuminazione;
- 0,03 A per i circuiti terminali F.M.;

per gli eventuali interruttori differenziali a monte dei suddetti interruttori la norma raccomanda di utilizzare dispositivi differenziali di tipo S e con una sensibilità pari ad almeno 3 volte quella del dispositivo a valle. Per ottenere selettività con i dispositivi di protezione a corrente differenziale nei circuiti di distribuzione è ammesso un tempo di interruzione non superiore ad 1s (**CEI 64-8/4 art. 413.1.4.2**).

Le tarature delle correnti differenziali sono desumibili, per ogni circuito, negli schemi unifilari di progetto.

4.3.7. Cavidotti e Cavi in bassa tensione

Per la distribuzione principale esterna dell'energia in bassa tensione si realizzeranno dei cavidotti costituiti da tubazione corrugata a doppia camera con resistenza allo schiacciamento di almeno 750N.

I cavi per la distribuzione di energia in ambienti esterni e comunque nelle aree di lavorazione saranno isolati in EPR del tipo FG16(O)R16, mentre i conduttori di protezione e la distribuzione elettrica all'interno degli uffici, delle cabine e dei locali abitabili saranno del tipo FS17 isolati in PVC. I cavi transiteranno all'interno dei suddetti tubi realizzando così la modalità di posa individuata con il codice 61 (**Tabella 52C della CEI 64-8/5**).

Per la distribuzione interna si utilizzeranno sia canali metallici in acciaio zincato pieno dotati di coperchio (posa 12 - **Tabella 52C della CEI 64-8/5**) che tubazione rigida staffata a parete (posa 3A - **Tabella 52C della CEI 64-8/5**).

Tutti i cavi da installare dovranno essere conformi al nuovo regolamento CPR come prescritto dal Decreto legislativo del 16 giugno 2017 n°106 "Adeguamento della



normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) n. 305/2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE." ed essere a limitata produzione di fumo e bassa diffusione di fuoco.

5. RELAZIONE SUL CALCOLO ESEGUITO

5.1. CALCOLO DELLE CORRENTI DI IMPIEGO

Il calcolo delle correnti d'impiego viene eseguito in base alla classica espressione:

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

nella quale:

- $k_{ca} = 1$ 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:

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

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



Per le utenze terminali la potenza P_n è la potenza nominale del carico, mentre per le utenze di distribuzione P_n rappresenta la somma vettoriale delle P_d delle utenze a valle (SPd a valle).

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 (SQd 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 DEI CAVI

Il criterio seguito per il dimensionamento dei cavi è tale da poter garantire la protezione dei conduttori alle correnti di sovraccarico.

In base alla norma CEI 64-8/4 (par. 433.2), infatti, 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) $I_f \leq 1.45 \cdot I_z$

Per 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 sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Elenchiamo alcune tabelle, indicate per il mercato italiano:

- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR);
- IEC 60364-5-52 (Mineral);
- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026;
- CEI 20-91 (HEPR).

In media tensione, la gestione del calcolo si divide a seconda delle tabelle scelte:

- CEI 11-17;
- CEI UNEL 35027 (1-30kV).
- EC 60502-2 (6-30kV)
- IEC 61892-4 off-shore (fino a 30kV)

Il programma gestisce ulteriori tabelle, specifiche per alcuni paesi. L'elenco completo è disponibile nei Riferimenti normativi.

Esse oltre a riportare la corrente ammissibile I_z 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:

$$I_{z\min} = \frac{I_n}{k}$$

dove il coefficiente k 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.

La sezione viene scelta in modo che la sua portata (moltiplicata per il coefficiente k) 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.

5.3. INTEGRALE DI JOULE

Dalla sezione dei conduttori del cavo deriva il calcolo dell'integrale di Joule, ossia la massima energia specifica ammessa dagli stessi, tramite la:

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

La costante K viene data dalla norma CEI 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 sopracitati 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 = 92

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



5.4. 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, possa 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 se conduttore in rame e 25 mm² se conduttore in alluminio, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase. In base alle esigenze progettuali, sono gestiti fino a tre metodi di dimensionamento del conduttore di neutro, mediante:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione tramite rapporto tra le portate dei conduttori;
- determinazione in relazione alla portata del neutro.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore in questione secondo i seguenti vincoli dati dalla norma:

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

Il secondo criterio consiste nell'impostare il rapporto tra le portate del conduttore di fase e il conduttore di neutro, e il programma determinerà la sezione in base alla portata.

Il terzo criterio consiste nel dimensionare il conduttore tenendo conto della corrente di impiego circolante nel neutro come per un conduttore di fase.

Le sezioni dei neutri possono comunque assumere valori differenti rispetto ai metodi appena citati, comunque sempre calcolati a regola d'arte.



5.5. 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 condotta di alimentazione non deve essere, in ogni caso, inferiore a:

2,5 mm^2 rame o 16 mm^2 alluminio se è prevista una protezione meccanica;

4 mm^2 o 16 mm^2 alluminio se non è prevista una protezione meccanica.



Per i conduttori di protezione verranno utilizzati cavi isolati in PVC del tipo FS17.

5.6. 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.

5.7. CADUTE DI TENSIONE

Le cadute di tensione sono calcolate vettorialmente. Per ogni utenza si calcola la caduta di tensione vettoriale lungo ogni fase e lungo il conduttore di neutro (se distribuito). Tra le fasi si considera la caduta di tensione maggiore che viene riportata in percentuale rispetto alla tensione nominale:

$$c.d.t(ib) = \max \left(\left| \sum_{i=1}^k \dot{Z}f_i \cdot \dot{I}f_i - \dot{Z}n_i \cdot \dot{I}n_i \right| \right)_{f=R,S,T}$$

con f che rappresenta le tre fasi R, S, T;

con n che rappresenta il conduttore di neutro;

con i che rappresenta le k utenze coinvolte nel calcolo;

Il calcolo fornisce, quindi, il valore esatto della formula approssimata:

$$cdt(I_b) = k_{cdt} \cdot I_b \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot (R_{cavo} \cdot \cos \varphi + X_{cavo} \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{V_n}$$

con:



$K_{cdt} = 2$ per sistemi monofase;

$K_{cdt} = 1.73$ per sistemi trifase.

I parametri R_{cavo} e X_{cavo} sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione del tipo di cavo (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a 70° C per i cavi con isolamento PVC, a 90° C per i cavi con isolamento EPR; mentre il secondo è riferito a 50Hz, ferme restando le unità di misura in W/km.

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

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

La caduta di tensione da monte a valle (totale) di una utenza è determinata come somma delle cadute di tensione vettoriale, riferite ad un solo conduttore, dei rami a monte all'utenza in esame, da cui, viene successivamente determinata la caduta di tensione percentuale riferendola al sistema (trifase o monofase) e alla tensione nominale dell'utenza in esame.

Sono adeguatamente calcolate le cadute di tensione totali nel caso siano presenti trasformatori lungo la linea (per esempio trasformatori MT/BT o BT/BT). In tale circostanza, infatti, il calcolo della caduta di tensione totale tiene conto sia della caduta interna nei trasformatori, sia della presenza di spine di regolazione del rapporto spire dei trasformatori stessi.

Se al termine del calcolo delle cadute di tensione alcune utenze abbiano valori superiori a quelli definiti, si ricorre ad un procedimento di ottimizzazione per far rientrare la caduta di tensione entro limiti prestabiliti (limiti dati da CEI 64-8 par. 525). Le sezioni dei cavi vengono forzate a valori superiori cercando di seguire una crescita uniforme fino a portare tutte le cadute di tensione sotto i limiti.

5.8. FORNITURE DI RETE

La conoscenza della fornitura della rete è necessaria per l'inizializzazione della stessa al fine di eseguire il calcolo dei guasti.

Le tipologie di fornitura possono essere:

- in bassa tensione
- in media tensione



- in alta tensione
- ad impedenza nota
- in corrente continua

I parametri trovati in questa fase servono per inizializzare il calcolo dei guasti, ossia andranno sommati ai corrispondenti parametri di guasto dell'utenza a valle. Noti i parametri alle sequenze nel punto di fornitura, è possibile inizializzare la rete e calcolare le correnti di cortocircuito secondo le norme CEI EN 60909-0.

Tali correnti saranno utilizzate in fase di scelta delle protezioni per la verifica dei poteri di interruzione delle apparecchiature.

5.8.1. Media ed Alta Tensione

Nel caso in cui la fornitura sia in media o alta tensione si considerano i seguenti dati di partenza:

- Tensione di fornitura V_{mt} (in kV);
- Corrente di corto circuito trifase massima, I_{kmax} (in kA);
- Corrente di corto circuito monofase a terra massima, $I_{k1ftmax}$ (in kA);

Se si conoscono si possono aggiungere anche le correnti:

- Corrente di corto circuito trifase minima, I_{kmin} (in kA);
- Corrente di corto circuito monofase a terra minima, $I_{k1ftmin}$ (in kA);

Dai dati si ricavano le impedenze equivalenti della rete di fornitura per determinare il generatore equivalente di tensione.

$$Z_{ccmt} = \frac{1,1 \cdot V_{mt}}{\sqrt{3} \cdot I_{kmax}} \cdot 1000$$

da cui si ricavano le componenti dirette:

$$\cos \varphi_{ccmt} = \sqrt{1 - (0,995)^2}$$

$$X_{dl} = 0,995 \cdot Z_{ccmt}$$

$$R_{dl} = \cos \varphi_{ccmt} \cdot Z_{ccmt}$$



e le componenti omopolari:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot V_{mt}}{I_{k1ft \max}} \cdot 1000 \cdot \cos \varphi_{ccmt} - (2 \cdot R_{dl})$$

$$X_0 = R_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{(\cos \varphi_{ccmt})^2} - 1}$$

5.8.2. Trasformatori

Se nella rete sono presenti dei trasformatori a due avvolgimenti, i dati di targa richiesti sono:

- potenza nominale Pn (in kVA);
- perdite di cortocircuito Pcc (in W);
- tensione di cortocircuito Vcc (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 V1 (in kV);
- tensione nominale del secondario V02 (in V).

Dai dati di targa si possono ricavare le caratteristiche elettriche dei trasformatori, ovvero:

Impedenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mW:

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

Resistenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mW:

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

Reattanza di cortocircuito del trasformatore espressa in mW:

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



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 mW:

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

nella quale:

$$R_d = R_{cct}$$

$$X_d = X_{cct}$$

I parametri alla sequenza omopolare dipendono invece dal tipo di collegamento del trasformatore in quanto, in base ad esso, abbiamo un diverso circuito equivalente.

Pertanto, se il trasformatore è collegato triangolo/stella (Dy), si ha:

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

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

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

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

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



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

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

5.8.3. Fattore di correzione per trasformatori (EN60909-0 par. 6.3.3)

Per i trasformatori a due avvolgimenti, con o senza regolazione delle spire, quando si stanno calcolando le correnti massime di cortocircuito, si deve introdurre un fattore di correzione di impedenza K_T tale che:

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

$$K_T = 0.95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0.6 \cdot x_T}$$

dove

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

è la reattanza relativa del trasformatore e C_{max} è preso dalla tabella 1 ed è relativo alla tensione lato bassa del trasformatore.

Tale fattore deve essere applicato alla impedenza diretta, inversa ed omopolare.

5.8.4. Fattore di correzione per generatori sincroni (EN60909-0 par. 6.6.1)

Nel calcolo delle correnti massime di cortocircuito iniziali nei sistemi alimentati direttamente da generatori senza trasformatori intermedi, si deve introdurre un fattore di correzione K_G tale che:

$$Z_{GK} = K_G \cdot Z_G$$

con

$$K_G = \frac{V_{02}}{U_{rG}} \cdot \frac{c_{max}}{1 + x'' \cdot \sqrt{1 - \cos \phi_{rG}}}$$

dove



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

è la reattanza satura relativa subtransitoria del generatore.

Tale fattore deve essere applicato alla impedenza diretta, inversa ed omopolare.

5.8.5. Calcolo delle correnti di guasto

Con il calcolo dei guasti vengono determinate le correnti di cortocircuito minime e massime immediatamente a valle della protezione dell'utenza (inizio linea) e a valle dell'utenza (fondo linea).

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

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

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

5.8.6. Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito massime viene condotto come descritto nella norma CEI EN 60909-0. Sono previste le seguenti condizioni generali:

- guasti con contributo della fornitura e dei generatori in regime di guasto subtransitorio. Eventuale gestione della attenuazione della corrente per il guasto trifase 'vicino' alla sorgente.
- tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione Cmax;
- impedenza di guasto minima della rete, 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 data dalle tabelle UNEL 35023-2012 che può essere riferita a 70 o 90 °C a seconda dell'isolante, per cui esprimendola in mW risulta:

$$R_{dc} = \frac{R_c}{1000} \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot \left(\frac{1}{1 + (\alpha \cdot \Delta T)} \right)$$

dove DT è 50 o 70 °C e $\alpha = 0.004$ a 20 °C.

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

$$X_{dc} = \frac{X_c}{1000} \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

possiamo sommare queste ai parametri diretti dell'utenza a monte ottenendo così la impedenza di guasto minima a fine utenza.

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

$$R_{db} = \frac{R_b}{1000} \cdot \frac{L_b}{1000}$$

La reattanza è invece:

$$X_{db} = \frac{X_b}{1000} \cdot \frac{L_b}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

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:

$$\begin{aligned} R_{0cN} &= R_{dc} + 3 \cdot R_{dcN} \\ X_{0cN} &= 3 \cdot X_{dc} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$\begin{aligned} R_{0cPE} &= R_{dc} + 3 \cdot R_{dcPE} \\ X_{0cPE} &= 3 \cdot X_{dc} \end{aligned}$$

dove le resistenze RdcN e RdcPE vengono calcolate come la Rdc.

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:

$$R_{0bN} = R_{db} + 3 \cdot R_{dbN}$$

$$X_{0bN} = 3 \cdot X_{db}$$

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

$$R_{0bPE} = R_{db} + 3 \cdot R_{dbPE}$$

$$X_{0bPE} = X_{db} + 3 \cdot (X_{b-ring} - X_{db})$$

I parametri di ogni utenza vengono sommati con i parametri, alla stessa sequenza, dell'utenza a monte, espressi in mW:

$$R_d = R_{dc} + R_{d-up}$$

$$X_d = X_{dc} + X_{d-up}$$

$$R_{0N} = R_{0cN} + R_{0N-up}$$

$$X_{0N} = X_{0cN} + X_{0N-up}$$

$$R_{0PE} = R_{0cPE} + R_{0PE-up}$$

$$X_{0PE} = X_{0cPE} + X_{0PE-up}$$

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 mW) di guasto trifase:

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

$$Z_{k1N \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0N})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0N})^2}$$

Fase terra:

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

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase I_{kmax} , fase neutro $I_{k1 Nmax}$, fase terra $I_{k1PEmax}$ e bifase I_{k2max} espresse in kA:

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



$$I_{k1N \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1N \min}}$$

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

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

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti:

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

$$I_{p1N} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1N \max}$$

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

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

dove:

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

5.8.7. Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI EN 60909-0 par 7.1.2 per quanto riguarda:

- guasti con contributo della fornitura e dei generatori. Il contributo dei generatori è in regime permanente per i guasti trifasi 'vicini', mentre per i guasti 'lontani' o asimmetrici si considera il contributo subtransitorio;
- la tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione Cmin, che può essere 0.95 se Cmax = 1.05, oppure 0.90 se Cmax = 1.10 (Tab. 1 della norma CEI EN 60909-0); in media e alta tensione il fattore Cmin è pari a 1;

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, precisamente:

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

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

$$R_{d\ max} = R_d \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_{0N\ max} = R_{0N} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_{0PE\ max} = R_{0PE} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Queste, sommate alle resistenze a monte, danno le resistenze massime.

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:

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

$$I_{k1N\ min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1N\ max}}$$

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

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



5.8.8. Calcolo guasti bifase-neutro e bifase-terra

Riportiamo le formule utilizzate per il calcolo dei guasti. Chiamiamo con Z_d la impedenza diretta della rete, con Z_i l'impedenza inversa, e con Z_0 l'impedenza omopolare.

Nelle formule riportate in seguito, Z_0 corrisponde all'impedenza omopolare fase-neutro o fase-terra.

$$I_{k2} = \left| -j \cdot V_n \cdot \frac{\dot{Z}_0 - \alpha \cdot \dot{Z}_i}{\dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_i + \dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_0 + \dot{Z}_i \cdot \dot{Z}_0} \right|$$

e la corrente di picco:

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

6. SCELTA DELLE PROTEZIONI

La scelta delle protezioni viene effettuata verificando le caratteristiche elettriche nominali delle condutture ed i valori di guasto; in particolare le grandezze che vengono verificate sono:

- corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- numero poli;
- tipo di protezione;
- tensione di impiego, pari alla tensione nominale dall'utenza;
- potere di interruzione, il cui valore dovrà essere superiore alla massima corrente di guasto a monte dell'utenza $I_{km\max}$;
- taratura della corrente di sovracorrente, il cui valore deve provocare l'interruzione automatica del dispositivo di protezione, entro il tempo definito nella Tabella 41A in funzione della tensione nominale U_0 o entro i 5s per garantire la protezione contro i contatti indiretti.

6.1. VERIFICA DELLA PROTEZIONE A CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE

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:

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

ossia in caso di guasto 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.

Nel caso in cui le correnti di guasto escano dai limiti di esistenza della curva della protezione il controllo non viene eseguito.

6.2. VERIFICA DI SELETTIVITA'

È verificata la selettività tra protezioni mediante la sovrapposizione delle curve di intervento. I dati forniti dalla sovrapposizione, oltre al grafico sono:

- Corrente I_a di intervento in corrispondenza ai massimi tempi di interruzione previsti dalla CEI 64-8: pertanto viene sempre data la corrente ai 5s (valido per le utenze di distribuzione o terminali fisse) e la corrente ad un tempo determinato tramite la tabella 41A della CEI 64.8 par 413.1.3. Fornendo una fascia di intervento delimitata da una caratteristica limite superiore e una caratteristica limite inferiore, il tempo di intervento viene dato in corrispondenza alla caratteristica limite inferiore. Tali dati sono forniti per la protezione a monte e per quella a valle;
- Tempo di intervento in corrispondenza della minima corrente di guasto alla fine dell'utenza a valle: minimo per la protezione a monte (determinato sulla caratteristica limite inferiore) e massimo per la



protezione a valle (determinato sulla caratteristica limite superiore);

- Rapporto tra le correnti di intervento magnetico: delle protezioni;
- Corrente al limite di selettività: ossia il valore della corrente in corrispondenza all'intersezione tra la caratteristica limite superiore della protezione a valle e la caratteristica limite inferiore della protezione a monte (CEI 23.3 par 2.5.14).
- Selettività: viene indicato se la caratteristica della protezione a monte si colloca sopra alla caratteristica della protezione a valle (totale) o solo parzialmente (parziale a sovraccarico se l'intersezione tra le curve si ha nel tratto termico).
- Selettività cronometrica: con essa viene indicata la differenza tra i tempi di intervento delle protezioni in corrispondenza delle correnti di cortocircuito in cui è verificata.

Nelle valutazioni si deve tenere conto delle tolleranze sulle caratteristiche date dai costruttori.

Quando possibile, alla selettività grafica viene affiancata la selettività tabellare tramite i valori forniti dalle case costruttrici. I valori forniti corrispondono ai limiti di selettività in A relativi ad una coppia di protezioni poste una a monte dell'altra. La corrente di guasto minima a valle deve risultare inferiore a tale parametro per garantire la selettività.

6.3. PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI

Secondo la norma 64-8 par. 413, un dispositivo di protezione deve interrompere automaticamente l'alimentazione per proteggere contro i contatti indiretti i circuiti e i componenti elettrici, in modo che, in caso di guasto, non possa persistere una tensione di contatto pericolosa per una persona.

È definita la tensione di contatto limite convenzionale a 50 V in c.a. e 120 V in c.c. non ondulata, oltre la quale esiste pericolo. Tuttavia, in alcune circostanze, è possibile superare tale valore purché la protezione intervenga entro 5 secondi o tempi definiti dalla norma, a seconda del sistema elettrico adottato.

6.3.1. Sistemi TN

Tutte le masse dell'impianto devono essere collegate al punto di messa a terra del



sistema di alimentazione con conduttori di protezione che devono essere messi a terra in corrispondenza o in prossimità di ogni trasformatore o generatore di alimentazione.

La norma richiede che deve essere soddisfatta la condizione:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

dove:

U_0 è la tensione nominale verso terra;

Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente;

I_a è la corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione, entro il tempo definito nella Tab. 41A della norma.

7. IMPIANTO DI MESSA A TERRA

L'impianto di terra da realizzare deve soddisfare le disposizioni imposte dalla normativa CEI vigente in materia; in particolare, si ricorda che l'impianto di terra è costituito dall'intero sistema di conduttori, giunzioni, dispersori al fine di assicurare alla corrente di guasto un ritorno verso terra, attraverso una bassa impedenza.

7.1. DESCRIZIONE

L'impianto di terra in oggetto si riferisce ad un sistema di II categoria.

Il sistema, del tipo TN-S, prevede il collegamento del conduttore di protezione, direttamente col centro stella del circuito secondario dei trasformatori.

L'impianto di terra verrà realizzato in accordo alle prescrizioni delle Norme CEI 11-1 e CEI 64-12.

I dati tecnici di dimensionamento sono stati considerati peggiori di quelli che potrebbero riscontrarsi nella realtà in modo da considerare eventuali cambiamenti e trasformazioni della rete alla quale sarà connesso il campo fotovoltaico in oggetto.

In attesa di ricevere da E-Distribuzione i parametri di allaccio alla rete, l'art. 9 delle Norme C.E.I. 11-1 prescrive che gli impianti di terra nelle cabine di trasformazione debbano essere dimensionati in modo tale che non si determinino in nessun punto, sia all'interno che all'esterno della cabina, tensioni di contatto e di passo superiori ai valori indicati nella tabella di seguito riportata:



Durata del guasto t_f (s)	Tensione di contatto ammissibile U_{Tp} (V)
$>> 10$	75 (asintotico)
10	80
1,1	100
0,72	125
0,64	150
0,49	230
0,39	300
0,29	400
0,20	500
0,14	600
0,08	700
0,04	800

Il valore di resistenza max dell'impianto di terra sarà quindi dato da:

$$R_t < V / I_f$$

Dove:

- I_f è il valore della corrente di guasto a terra;
- t è il tempo di eliminazione del guasto.

L'impianto di terra, sulla base di quanto descritto dalla CEI 11-1 Allegato K, dovrà avere un valore di resistenza di terra calcolato nel modo di seguito indicato.

L'impianto di terra sarà costituito da una treccia di rame nudo interrata (ad una profondità superiore a 0,8 m e ricoperto per circa 0,3 m con terreno vegetale) lungo il percorso della dorsale dei cavidotti (conduttore di rame nudo 50 mm² avente una lunghezza complessiva di circa 2000 metri) e dai dispersori delle cabine elettriche sede dei quadri MT e BT; tale impianto sarà costituito da un anello (conduttore di rame nudo 50 mm²) con maglia (rame nudo 50 mm², dimensioni 1x1 m) e con 4 dispersori a picchetto ($L = 1,5$ m) agli angoli, e dovrà essere interrato ad una profondità superiore a 0,8 m e ricoperto per circa 0,3 m con terreno vegetale.

Assumendo come dato di resistività del terreno ρ pari a 100 Ω m (valore cautelativo per la tipologia di terreno), come indicato dalla tabella K-1 della Norma CEI 11-1, il valore del contributo del singolo dispersore di terra sopra indicato è pari a:

- dispersore del campo fotovoltaico in treccia interrata per una lunghezza di 1060 m: 0,18 Ω ;



- dispersore a picchetto: 66,67 Ω . Dato che andranno installati n°4 dispersori avremo che il contributo totale dei dispersori di terra sarà pari al parallelo dei contributi dei 4 picchetti di uguale resistenza e cioè 16,67 Ω ;

- maglia di terra di cabina: 4,92 Ω .

Il valore calcolato della resistenza di terra dell'impianto è dato dal parallelo del contributo della resistenza del dispersore del campo fotovoltaico, dei dispersori verticali e dalle maglie di cabina: si avrà, pertanto, un valore pari a 0,17 Ω .

Quindi dovrà risultare che $0,17 < R_t = V/I_f$

Il valore risultante (puramente teorico) soddisfa in pieno quanto richiesto dalla CEI 11-1 per essere coordinati in caso di eventuale guasto in MT. Sarà cura dell'impresa esecutrice effettuare una verifica dell'impianto, da allegare alla certifica, effettuata secondo la norma 11-37.

I collettori dei trasformatori saranno connessi all'impianto di terra disperdente con corda in rame nudo di sezione non inferiore a 185 mm² in modo da permettere un'adeguata distribuzione della corrente di guasto in prossimità dei trasformatori. In particolare, valutando il guasto in BT, la sezione della maglia del dispersore di terra a cui si dovrà connettere il trasformatore MT/BT dovrà essere di sezione non inferiore a 185 mm²: saranno realizzate tre connessioni in tre punti diversi della maglia con corda in rame nudo di sezione minima 185 mm².

Infine, la cabina elettrica sarà equipaggiata come di seguito specificato:

- il collettore (o nodo) principale di terra nel quale confluiscono i conduttori di terra, di protezione e di equipotenzialità;
- il sezionatore di terra (per le misure e le verifiche sullo stato dell'impianto);
- il conduttore equipotenziale, avente lo scopo di assicurare l'equipotenzialità fra le masse installate nella cabina e/o le masse estranee (parti conduttrici, non facenti parte dell'impianto elettrico, suscettibili di introdurre il potenziale di terra).

8. DISTRIBUZIONE ELETTRICA

Le condutture elettriche negli ambienti interni transiteranno sia sotto traccia che a vista, saranno previste tubazioni/canali in PVC autoestinguenti e metalliche per la posa a vista.

Nei locali tecnici, gli impianti saranno realizzati con tubazioni a vista posate a parete



e/o soffitto con grado di protezione minimo IP4X.

Per la realizzazione della distribuzione e degli stacchi terminali agli apparecchi utilizzatori o ai punti presa si prevede l'impiego di tubi in pvc rigido e flessibile serie pesante, tubi in acciaio zincato serie leggera non filettabile, guaine spiralate in pvc e guaine armate, a seconda dei tratti.

Il diametro interno dei tubi, mai inferiore a 20 mm, dovrà essere scelto in modo che il coefficiente di riempimento sia sempre minore di 0,4 (coefficiente di riempimento = rapporto tra sezione complessiva dei cavi e sezione interna del tubo).

Il diametro comunque dovrà essere sempre maggiore o uguale a 1,3 volte il diametro del cerchio circoscritto dai cavi contenuti.

I tubi se incassati, dovranno seguire un andamento parallelo agli assi delle strutture evitando percorsi diagonali e accavallamenti.

Tutte le curve dovranno essere eseguite a largo raggio, non sono ammesse le curve stampate apribili e le derivazioni a "T". In ogni caso dovrà essere garantita una agevole sfilabilità dei conduttori.

Nel tratto in vista i tubi dovranno essere fissati con appositi sostegni il materiale plastico o metallico tramite tasselli ad espansione con un'interdistanza massima di 1 m.

In corrispondenza dei giunti di dilatazione delle costruzioni dovranno essere usati particolari accorgimenti come tubi flessibili o doppi manicotti. I tubi metallici dovranno essere fissati mantenendo un distanziamento delle strutture in modo che possano essere effettuate agevolmente le operazioni di riverniciatura per manutenzione e consentire la libera circolazione d'aria.

È fatto divieto di transitare con tubazioni in prossimità di condutture di fluidi ad elevata temperatura o di distribuzione del gas e di staffarsi a tubazioni, canali o comunque altre installazioni impiantistiche meccaniche, I tubi previsti vuoti dovranno comunque essere dotati di opportuni fili pilota in materiale non soggetto a corrosione o ruggine.

La sfilabilità dovrà essere garantita soprattutto nei cavidotti principali, per la distribuzione effettuata nei controsoffitti, nei cunicoli o in cavità difficilmente raggiungibili.

Le tubazioni di riserva o comunque previste vuote dovranno essere dotate di filo



pilota (di traino).

Per la realizzazione della distribuzione terminale per postazioni di lavoro operatore, si prevede inoltre l'utilizzo di canaline o canalette attrezzate, in materiale plastico isolante, antiurto ed autoestinguente e resistente al calore e al fuoco secondo IEC 695-2-1.

Tutte le giunzioni e le derivazioni dovranno essere realizzate esclusivamente tramite l'impiego di scatole o cassette di derivazione.

In particolar modo, per la realizzazione di derivazioni da linee elettriche dorsali posate nelle tubazioni/canaline si utilizzeranno apposite cassette di derivazione. I conduttori in cavo multipolare usciranno dalla canalina ed entreranno nella cassetta suddetta tramite interposizione di raccordo pressa cavo a tenuta (IP40) dalla parete laterale ed usciranno per la prosecuzione della distribuzione dorsale, con medesima modalità, dal lato opposto della cassetta.

La derivazione all'utenza locale avverrà anch'essa con medesima modalità dal lato maggiormente comodo per il raggiungimento (non dal coperchio o dal fondo della scatola). Sarà possibile a seconda dei casi impiegare guaina con raccordi pressaguaina al posto dei raccordi pressacavo.

Nel caso di distribuzione in tubo in linea di massima le scatole dovranno essere impiegate ad ogni brusca deviazione del percorso delle tubazioni stesse, comunque ogni 2 curve e ogni 15 m nei tratti rettilinei o all'ingresso di ogni locale alimentato.

Non è ammesso far transitare nella stessa cassetta conduttori appartenenti a impianti o servizi diversi ad esclusione delle scatole da incasso o dei canali attrezzati costruite appositamente allo scopo.

Le tubazioni dovranno essere posate a filo interno delle cassette con la cura di sbavare i tratti terminali interni onde evitare il danneggiamento delle guaine del conduttore durante le operazioni di infilaggio e sfilaggio.

Nel caso di impianto a vista i raccordi con le tubazioni dovranno essere esclusivamente eseguiti tramite imbocchi in pressofusione o plastici.

I conduttori dovranno essere disposti ordinatamente nelle cassette con un minimo di ricchezza.

Per il fissaggio delle cassette alle strutture murarie si dovrà far uso esclusivo di tasselli ad espansione (non sono ammessi chiodi a sparo).



Nel caso di impianti incassati le cassette dovranno essere montate a filo del rivestimento esterno e dovranno essere munite di coperchi "a perdere"; i coperchi definitivi dovranno essere montati ad ultimazione degli interventi murari di finitura.

Le derivazioni delle linee saranno effettuate impiegando morsetti a vite isolati di adeguata sezione.

È assolutamente vietata la connessione eseguita per mezzo di attorcigliamento dei conduttori con successiva nastratura.

Le giunzioni dovranno unire cavi delle stesse caratteristiche e dello stesso colore di identificazione.

È vietata l'esecuzione di giunzioni entro scatole portafrutto.

Le derivazioni sulle linee di alimentazione dell'illuminazione esterna andranno effettuate mediante apposite muffole riaccessibili, che impieghino isolante in gel e non resine termoindurenti, collocate in pozzetti ispezionabili.

9. CONDUTTURE

Le alimentazioni principali saranno realizzate con linee in cavo posate in canali portacavi di tipo liscio (ove previsto muniti di coperchio) in acciaio zincato rispondenti alla Norma CEI 23-31. La zincatura sarà del tipo con procedimento "senzimir" da impiegare nei luoghi chiusi, mentre le canaline da impiegare nelle aree esterne (coperte / scoperte) saranno del tipo con zincatura a caldo o comunque di tipo dichiarato "idoneo" per tale impiego dal costruttore.

I tratti verticali e i tratti all'esterno dovranno essere equipaggiati con coperchio a scatto e assicurato con apposite molle.

Le canaline saranno principalmente fissate alle strutture murarie (soffitto e pareti) mediante staffe, profilati o barre filettate con adeguato dimensionamento ed interasse come riportato nella documentazione tecnica redatta dal costruttore.

Il fissaggio delle staffe di sostegno delle canaline alle strutture dovrà essere realizzato tramite tasselli metallici ad espansione di idonea dimensione, escludendo l'impiego di pistole sparachiodi o di accoppiamenti eseguiti tramite saldature ai ferri di armature o a staffaggi realizzati per il sostegno di altri impianti.

Per il fissaggio dei canali utilizzare bulloni a testa tonda con dado a rotelle, da inserire in asole sul fondo o sul fianco dei canali stessi.



Saranno impiegati, ove necessario, appositi pezzi speciali come curve, discese, salite, derivazioni a T ecc., della stessa marca e modello del canale utilizzato. Non è consentito impiegare pezzi speciali eseguiti o modificati in opera.

Nei canali i cavi dovranno essere posizionati ordinatamente, il coefficiente di riempimento sarà inferiore a 0,5 per quanto riguarda i cavi di energia, cioè la sezione occupata dai cavi deve essere inferiore alla metà della sezione del canale. Ove richiesto per alcuni tratti i cavi dovranno essere posati su unico strato.

Non è consentito realizzare giunzioni nelle canalizzazioni sia in apposite scatole di derivazione che in modo volante mediante morsetti a "cappuccio".

La posa di linee composte da cavo multipolare sprovvisto di conduttore di protezione PE sarà consentita per le sole linee principali di grossa taglia (alimentazione sottoquadri, eventuali macchine di climatizzazione, ecc...), tutte le altre linee dovranno essere costituite da cavo multipolare provviste di proprio conduttore di protezione concentrico.

Il canale dovrà essere privo di asperità e spigoli vivi, nel canale la sezione occupata dai cavi di energia, tenuto conto del volume occupato dalle connessioni, non dovrà superare il 50% della sezione utile dei canali stessi; tale prescrizione non si applica ai cavi di telecomunicazioni /dati.

10. DERIVAZIONI

Tutte le derivazioni saranno realizzate in apposite cassette di derivazione con morsetti a vite muniti di cappuccio isolante in plastica trasparente, le cassette saranno del tipo da esterno con protezione minimo IP4X e IP55. Nell'esecuzione delle connessioni non deve essere ridotta la sezione dei conduttori e non si devono lasciare parti conduttrici scoperte. Le giunzioni e le derivazioni devono essere realizzate in cassette di derivazioni separate per le varie tensioni.

Le cassette di derivazione saranno con tappo a vite.

11. TUBAZIONI

Il diametro interno dei tubi deve essere pari ad almeno 1,3 volte il diametro del cerchio circoscritto al fascio di cavi in esso contenuti. Tale coefficiente deve essere di 1,5 volte quando i cavi siano del tipo sotto piombo o sotto guaina metallica. Il diametro del tubo deve essere tale da permettere di sfilare e di reinfilare i cavi in esso contenuti



con facilità e senza che gli stessi risultino danneggiati. Il diametro interno non deve essere inferiore a 10 mm.

Il tracciato dei tubi protettivi deve avere un andamento rettilineo orizzontale o verticale. Nel caso di andamento orizzontale deve essere prevista una minima pendenza per favorire lo scarico di eventuale condensa. Le curve devono essere effettuate con raccordi o con piegature che non danneggino il tubo e non pregiudichino la sfilabilità dei cavi.

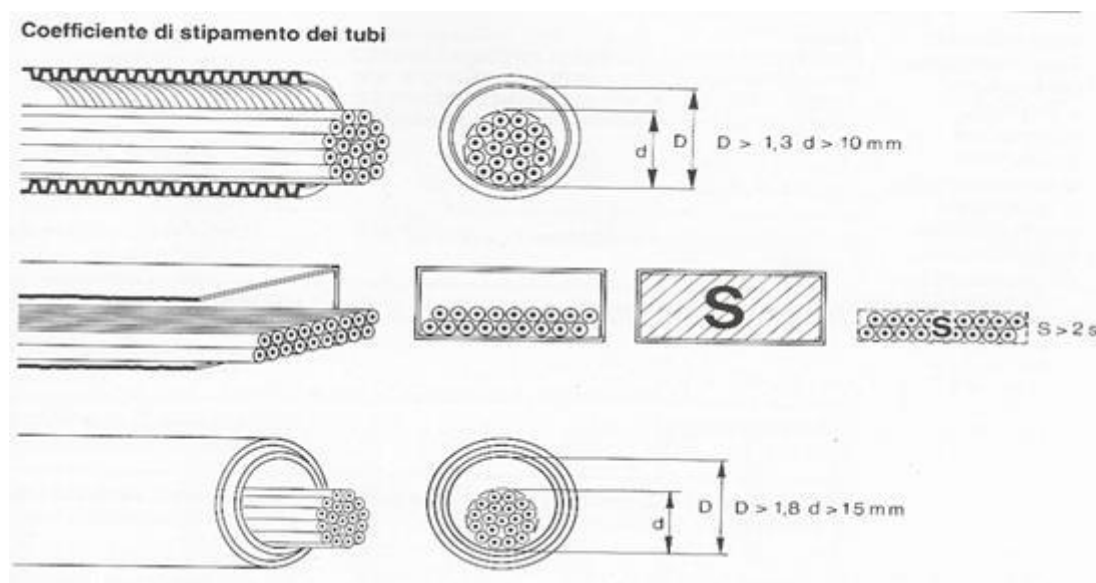
La tubazione deve essere interrotta con cassette di derivazione ad ogni brusca deviazione resa necessaria dalla struttura muraria e ad ogni deviazione della linea principale e secondaria. Le giunzioni dei conduttori devono essere eseguite nelle cassette di derivazione impiegando opportuni morsetti o morsettiere. Le cassette devono:

- essere costruite in modo che ad installazione avvenuta, non sia possibile l'introduzione di corpi estranei. Il coperchio delle cassette deve essere apribile solo con idoneo attrezzo;
- essere predisposte per l'inserimento di separatori di tensione, oppure affiancabili mediante appositi accessori che garantiscano l'allineamento. L'utilizzo di detti separatori o di cassette affiancate è necessario quando si devono separare circuiti alimentati a diverse tensioni.

Gli impianti utilizzatori alimentati attraverso organi di misura centralizzati, i tubi protettivi dei montanti e le relative cassette di derivazione devono essere distinti per ogni montante.

È ammesso utilizzare lo stesso tubo e le stesse cassette solo quando i montanti alimentano lo stesso complesso di locali e risultano contrassegnati per la loro individuazione.

Il numero dei cavi che si possono introdurre nei tubi è indicato nella tabella 12, desunta dalla Norma CEI EN 50086, che costituisce il riferimento normativo per ogni ulteriore indicazione in merito all'argomento in oggetto.



12. CAVIDOTTI

Le tubazioni dovranno avere diametro tale da consentire la sfilabilità dei cavi, cioè pari ad almeno 1,3 volte il diametro del cerchio circoscritto al fascio di cavi che essi sono destinati a contenere, con un minimo di 10 mm (CEI 64-8 art. 522.8.1.1).

Le tubazioni dovranno essere segnalate con l'utilizzo di nastri segnalatori interrati sulla verticale del servizio ad una distanza da esso di circa 20-30 cm.

I nastri segnalatori, di tipo indelebile, devono riportare in chiaro i dati relativi alla tipologia del servizio effettuato. I cavidotti saranno realizzati con tubazione corrugata in Polietilene, autoestinguente, a doppia parete, tipo pesante (Minimo 450N), conforme alle Norme CEI EN 50086-1 (CEI 23-39) e CEI EN 50086-2-4+V1 (CEI 23- 46).

Le tubazioni isolanti devono essere sempre posate ad una profondità di almeno 0,5m, se di tipo leggero, con una protezione meccanica supplementare (CEI 11-17).

Non è richiesta una profondità minima di posa se il cavo è posto entro un tubo protettivo che resista ai normali attrezzi di scavo, ad esempio in idonea tubazione in PVC tipo pesante minimo 450N.

Il numero, la posizione e la forma delle curve di un tubo o condotto devono consentire l'agevole infilaggio e sfilaggio del cavo o dei cavi. Il diametro nominale interno del tubo o condotto deve essere maggiore di 1,4 volte il diametro del cavo o del fascio di cavo.

Il raggio di curvatura dei tubi e dei condotti deve essere tale da soddisfare le



prescrizioni per la curvatura dei cavi (CEI 11-17).

Inoltre la curvatura dei tubi deve essere tale che il diametro interno di questi non diminuisca di oltre il 10%. È consigliabile che i percorsi interrati dei cavi siano segnalati in modo tale da rendere evidente la loro presenza in caso d'ulteriori scavi.

Rispondono a tale scopo:

- la tubazione di protezione;
- le protezioni meccaniche supplementari;
- i nastri monitori posati nel terreno a non meno di 0,2m al disopra dei cavi direttamente interrati.

13. CAVI ELETTRICI DIRETTAMENTE INTERRATI

I cavi interrati devono essere muniti di guaina per proteggere le anime del cavo dalle sollecitazioni meccaniche durante la posa e soprattutto a preservarle dal contatto con l'acqua (CEI 11-17 art. 2.3.11).

Durante le operazioni di posa e di spostamento dei cavi per installazione fissa, la loro temperatura, per tutta la loro lunghezza e per tutto il tempo in cui essi possono essere piegati o raddrizzati, non deve essere inferiore a:

- cavi isolati con PVC, o aventi rivestimento protettivo a base di PVC: 0°C;
- cavi con isolante e rivestimento protettivo a base di materiali elastomerici e con rivestimento protettivo a base di polietilene: -25°C;

Le curvature dei cavi devono essere tale da non provocare danno ai cavi stessi.

Durante l'operazione di posa dei cavi per installazione fissa, se non altrimenti specificato dalle norme particolari o dai costruttori, i raggi di curvatura dei cavi, misurati sulla generatrice interna degli stessi, non devono essere inferiori a quanto indicato nella Norma CEI 11-17 art. 2.3.03.

Durante l'infilaggio, la forza di tiro deve essere esercitata sui conduttori e non sull'isolante del cavo; inoltre, per evitare di danneggiare il cavo, è opportuno che non superi 60 N/mm², con riferimento alla sezione totale dei conduttori in rame, (10N, dieci newton, corrispondono circa a 1 Kg.) (CEI 11-17 art. 2.3.04).

Si deve impedire che, quando viene tirato, il cavo giri sul proprio asse. I cavi posati direttamente nel terreno devono essere posti ad una profondità di almeno 0,5m e avere



una protezione meccanica supplementare che serve anche ad evidenziarne la presenza (CEI 11-17 art. 2.3.11).

La protezione meccanica supplementare non è richiesta per cavi con armatura metallica costituita da fili di spessore di almeno 0,8mm, che devono essere comunque posati alla profondità minima di 0,5m.

14. INCROCI E PARALLELISMI FRA CAVI DI ENERGIA E TUBAZIONI METALLICHE

14.1. INCROCIO FRA CAVI DI ENERGIA E TELECOMUNICAZIONI

Nell'incrocio fra cavi d'energia e di telecomunicazioni direttamente interrati, devono essere osservate le seguenti prescrizioni (CEI 11-17):

- Il cavo d'energia deve, di regola, essere situato inferiormente al cavo di telecomunicazione;
- La distanza tra i due cavi non deve essere inferiore a 0,30m;
- Il cavo posto superiormente deve essere protetto con dispositivo idoneo (CEI 11-17) per una lunghezza non inferiore ad 1m, disposti simmetricamente rispetto all'altro cavo.

I dispositivi di protezione devono essere costituiti da involucri (cassette o tubi) preferibilmente in acciaio zincato a caldo od inossidabile, con pareti di spessore non inferiore a 2 mm (CEI 11-17).

Sono ammessi involucri protettivi differenti da quelli sopra descritti purché presentino adeguata resistenza meccanica e siano, quando il materiale di cui sono costituiti lo renda necessario, protetti contro la corrosione.

Quando almeno uno dei due cavi è posto dentro appositi manufatti (tubazioni, cunicoli, ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la necessità di effettuare scavi, non è necessario osservare le prescrizioni sopraelencate (CEI 11-17).

Ove per giustificati motivi tecnici non sia possibile rispettare la distanza minima di 0,3m la protezione deve essere applicata anche al cavo posto inferiormente.

Nei parallelismi fra cavi d'energia e di telecomunicazioni (comando e segnalamento)



direttamente interrati, devono essere rispettate delle distanze minime e provvedimenti per la loro protezione (CEI 11-17):

Nei percorsi paralleli, i cavi d'energia ed i cavi di telecomunicazione devono, di regola, essere posati alla maggiore possibile distanza tra loro.

Ove per giustificate esigenze tecniche il criterio di cui sopra non può essere seguito, è ammesso, salvo il rispetto delle condizioni riportate di seguito in b), posare i cavi vicini fra loro purché sia mantenuta, fra essi, una distanza minima, in proiezione su di un piano orizzontale, non inferiore a 0,30m.

Qualora detta distanza non possa essere rispettata, si deve applicare sul cavo posato alla minore profondità, oppure su entrambi i cavi quando la differenza di quota fra essi è minore di 0,15m, una protezione supplementare (CEI 11-17).

I dispositivi di protezione devono essere costituiti da involucri (cassette o tubi) preferibilmente in acciaio zincato a caldo od inossidabile, con pareti di spessore non inferiore a 2 mm (CEI 11-17).

Salvo il rispetto delle condizioni riportate di seguito, le prescrizioni di cui sopra non si applicano quando almeno uno dei due cavi è posato, per tutta la tratta interessata, in appositi manufatti (tubazioni, cunicoli ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la necessità di effettuare scavi (CEI 11-17).

Nei riguardi dei fenomeni induttivi, dovuti ad eventuali guasti sui cavi d'energia, le caratteristiche del parallelismo devono soddisfare quanto prescritto dalle Norme CEI 103-6.

14.2. INCROCIO FRA CAVI DI ENERGIA E TUBAZIONI METALLICHE INTERRATE

L'incrocio fra cavi d'energia e tubazioni metalliche adibite al trasporto e alla distribuzione di fluidi (acquedotti, oleodotti e simili) non deve effettuarsi sulla proiezione verticale di giunti non saldati delle tubazioni metalliche stesse.

Non si devono avere giunti sui cavi d'energia a distanza inferiore a 1 m dal punto d'incrocio, a meno che non siano attuati i provvedimenti descritti nel seguito.

Nessuna particolare prescrizione è data nel caso in cui la distanza minima, misurata fra le superfici esterne dei cavi d'energia e di tubazioni metalliche o fra quelle d'eventuali loro manufatti di protezione, è superiore a 0,50 m.



Tale distanza può essere ridotta fino ad un minimo di 0,30 m, quando una delle strutture d'incrocio è contenuta in manufatto di protezione non metallico, prolungato per almeno 0,30 m per parte rispetto all'ingombro in pianta dell'altra struttura oppure quando fra le strutture che si incrociano venga interposto un elemento separatore non metallico (per es. lastre di calcestruzzo o di materiale isolante rigido); quest'elemento deve poter coprire, oltre alla superficie di sovrapposizione in pianta delle strutture che si incrociano, quella di una striscia di circa 0,30 m di larghezza ad essa periferica.

Le distanze sopra indicate possono essere ulteriormente ridotte, previo accordo fra gli Enti proprietari o Concessionari, se entrambi le strutture sono contenute in manufatto di protezione non metallico.

Prescrizioni analoghe devono essere osservate nel caso in cui non risulti possibile tenere l'incrocio a distanza uguale o superiore a 1 m dal giunto di un cavo oppure nei tratti che precedono o seguono immediatamente incroci eseguiti sotto angoli inferiore a 60° e per i quali non risulti possibile osservare puntualmente le prescrizioni sul distanziamento che seguono.

L'incrocio fra cavi d'energia e tubazioni metalliche adibite al trasporto e alla distribuzione di fluidi (acquedotti, oleodotti e simili) o servizi di posta pneumatica non deve effettuarsi sulla proiezione verticale di giunti non saldati delle tubazioni metalliche stesse.

Non si devono avere giunti sui cavi d'energia a distanza inferiore a 1 m dal punto d'incrocio, a meno che non siano attuati i provvedimenti descritti nel seguito.

Nessuna particolare prescrizione è data nel caso in cui la distanza minima, misurata fra le superfici esterne dei cavi d'energia e di tubazioni metalliche o fra quelle d'eventuali loro manufatti di protezione, è superiore a 0,50 m.

Tale distanza può essere ridotta fino ad un minimo di 0,30 m, quando una delle strutture d'incrocio è contenuta in manufatto di protezione non metallico, prolungato per almeno 0,30 m per parte rispetto all'ingombro in pianta dell'altra struttura oppure quando fra le strutture che si incrociano venga interposto un elemento separatore non metallico (per es. lastre di calcestruzzo o di materiale isolante rigido); quest'elemento deve poter coprire, oltre alla superficie di sovrapposizione in pianta delle strutture che si incrociano, quella di una striscia di circa 0,30m di larghezza ad essa periferica.

Le distanze sopra indicate possono essere ulteriormente ridotte, previo accordo fra gli Enti proprietari o Concessionari, se entrambi le strutture sono contenute in



manufatto di protezione non metallico.

Prescrizioni analoghe devono essere osservate nel caso in cui non risulti possibile tenere l'incrocio a distanza uguale o superiore a 1m dal giunto di un cavo oppure nei tratti che precedono o seguono immediatamente incroci eseguiti sotto angoli inferiore a 60° e per i quali non risulti possibile osservare puntualmente le prescrizioni sul distanziamento che seguono.

14.3. PARALLELISMI FRA CAVI DI ENERGIA E TUBAZIONI METALLICHE INTERRATE

Nei parallelismi i cavi d'energia e le tubazioni metalliche devono essere posati alla maggiore distanza possibile fra loro.

In nessun tratto la distanza, misurata in proiezione orizzontale fra le superfici esterne di essi o d'eventuali loro manufatti di protezione, deve risultare inferiore a 0,30 m.

Si può tuttavia derogare alla prescrizione suddetta previo accordo fra gli esercenti:

a) quando la differenza di quota fra le superfici esterne delle strutture interessate è superiore a 0,50 m;

b) quando tale differenza è compromessa tra 0,30 m e 0,50 m, ma s'interpongano fra le due strutture elementi separatori non metallici, nei tratti in cui la tubazione non è contenuta in un manufatto di protezione non metallico.

Non devono mai essere disposti nello stesso manufatto di protezione cavi d'energia e tubazioni convoglianti fluidi infiammabili; per la tubazione per altro uso tale tipo di posa è invece consentito, previo accordo fra gli Enti interessati, purché il cavo d'energia e le tubazioni non siano posti a diretto contatto fra loro.

14.4. COESISTENZA FRA CAVI DI ENERGIA E GASDOTTI

La coesistenza tra gasdotti interrati e cavi d'energia posati in cunicoli od altri manufatti, è regolamentata del D.M. 24.11.1984 "Norme di Sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8".

Pertanto, nel caso d'incroci o parallelismi tra cavi d'energia e tubazioni convoglianti



gas naturali, le modalità di posa ed i provvedimenti da adottare al fine di ottemperare a quanto disposto da detto D.M. 24.11.1984, dovranno essere definiti con gli Enti proprietari o Concessionari del gasdotto.

Le prescrizioni contenute negli articoli precedenti sono applicabili, ove non in contrasto col suddetto D.M., per incroci e parallelismi con cavi direttamente interrati con le modalità di posa L e M Fig. 1.2.06 Norma CEI 11-17. (L= cavi direttamente interrati, senza protezione meccanica supplementare, M= cavi direttamente interrati con protezione meccanica supplementare).

Le superfici esterne di cavi d'energia interrati non devono distare meno di 1m dalle superfici esterne di serbatoi contenenti liquidi o gas infiammabili.

15. CAVI ELETTRICI

Negli impianti saranno impiegate le seguenti tipologie di cavi in funzione delle condizioni di posa:

- cavi MT: RG26H1M16X, Cavi isolati in gomma HEPR di qualità G26 sotto guaina termoplastica LSZH qualità M16, conduttore in rame, Tensione Nominale di Esercizio 18/30 kV;
- cavi uni/multipolari in rame a doppio isolamento, posati in tubazioni corrugate in PVC serie pesante, provvisti di IMQ, con caratteristiche di reazione al fuoco e rispondente al regolamento CPR, tipo FG16(O)R16 0,6/1 kV isolante in EPR qualità G16.
- cavi unipolari per bassa tensione isolato in PVC di qualità S17 450/750 V con caratteristiche di reazione al fuoco e rispondente al regolamento CPR;
- cavi CC: H1Z2Z2-K, cavo isolato in gomma Z2, conduttore in rame stagnato, tensione massima di esercizio 1500 Vdc, CEI EN 50618 - Cavo di segnale tipo FTP e/o F.O.;

La scelta delle sezioni dei cavi è stata effettuata in base alla loro portata nominale (calcolata in base ai criteri di unificazione e di dimensionamento riportati nelle Tabelle CEI-UNEL), alle condizioni di posa e di temperatura, al limite ammesso dalle Norme per quanto riguarda le cadute di tensione massime ammissibili (inferiori al 4%) ed alle caratteristiche di intervento delle protezioni secondo quanto previsto dalle vigenti Norme CEI 64-8.

La portata delle condutture sarà commisurata alla potenza totale che si prevede di installare.



Le sezioni minime previste per i conduttori saranno:

- 2,5 mm² per le linee di distribuzione F.M.
- 1,5 mm² per le linee di distribuzione luce
- 0,5 mm² per i circuiti di comando e segnalazione

Nei circuiti trifase i conduttori di neutro potranno avere sezione inferiore a quella dei corrispondenti conduttori di fase, con il minimo di 16mm², purché il carico sia sostanzialmente equilibrato ed il conduttore di neutro sia protetto per un cortocircuito in fondo alla linea; in tutti gli altri casi al conduttore di neutro verrà data la stessa sezione dei conduttori di fase.

La sezione del conduttore di protezione non sarà inferiore al valore determinato con la seguente formula:

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

dove:

- S_p = sezione del conduttore di protezione (mm²)
- I = valore efficace della corrente di guasto che percorre il conduttore di protezione per un guasto franco a massa (A)
- t = tempo di interruzione del dispositivo di protezione (s)
- K = fattore il cui valore per i casi più comuni è dato nelle tabelle VI, VII, VIII e IX delle norme C.E.I. 64-8 e che per gli altri casi può essere calcolato come indicato nell'Appendice H delle stesse norme

La sezione dei conduttori di protezione può essere anche determinata facendo riferimento alla seguente tabella, in questo caso non è in generale necessaria la verifica attraverso l'applicazione della formula precedente.

Se dall'applicazione della tabella risultasse una sezione non unificata, sarà adottata la sezione unificata immediatamente superiore al valore calcolato.

Quando un unico conduttore di protezione deve servire più circuiti utilizzatori, la tabella si applica con riferimento al conduttore di fase di sezione più elevata:



$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Dove:

S = sezione dei conduttori di fase dell'impianto (mm²)

S_p = sezione minima del corrispondente conduttore di protezione (mm²)

I valori della tabella sono validi soltanto se il conduttore di protezione è costituito dello stesso materiale del conduttore di fase. In caso contrario, la sezione del conduttore di protezione sarà determinata in modo da avere conduttanza equivalente.

Se i conduttori di protezione non fanno parte della stessa condotta dei conduttori di fase la loro sezione non sarà inferiore a 6 mm².

Quando un unico conduttore di protezione deve servire più circuiti utilizzatori sarà dimensionato in relazione alla sezione del conduttore di fase di sezione più elevata.

I cavi unipolari e le anime dei cavi multipolari saranno contraddistinti mediante le seguenti colorazioni:

- nero, grigio e marrone (conduttori di fase)
- - blu chiaro (conduttore di neutro)
- bicolore giallo-verde (conduttori di terra, di protezione o equipotenziali)

La rilevazione delle sovracorrenti è stata prevista per tutti i conduttori di fase.

In ogni caso il conduttore di neutro non verrà mai interrotto prima del conduttore di fase o richiuso dopo la chiusura dello stesso.

Nella scelta e nella installazione dei cavi si è tenuto presente quanto segue:

- per i circuiti a tensione nominale non superiore a 230/400 V i cavi avranno tensione nominale non inferiore a 450/750 V;
- per i circuiti di segnalazione e di comando è ammesso l'impiego di cavi con tensione nominale non inferiore a 300/500 V, qualora posti in canalizzazioni distinte dai circuiti con tensioni superiori.

Le condutture non saranno causa di innesco o di propagazione d'incendio: saranno usati cavi, tubi protettivi e canali aventi caratteristiche di non propagazione della



fiamma nelle condizioni di posa.

Tutti i cavi appartenenti ad uno stesso circuito seguiranno lo stesso percorso e saranno quindi infilati nella stessa canalizzazione, cavi di circuiti a tensioni diverse saranno inseriti in tubazioni separate e faranno capo a scatole di derivazione distinte; qualora facessero capo alle stesse scatole, queste avranno diaframmi divisorii.

I cavi che seguono lo stesso percorso ed in special modo quelli posati nelle stesse tubazioni, verranno chiaramente contraddistinti mediante opportuni contrassegni applicati alle estremità.

16. SISTEMA DI PROTEZIONE DALLE SOVRATENSIONI

Al fine di proteggere l'impianto e le apparecchiature elettriche ed elettroniche ad esso collegate contro le sovratensioni di origine atmosferica (fulminazione indiretta) e le sovratensioni transitorie di manovra, è prevista l'installazione di appositi scaricatori di sovratensione ('SPD').

Il criterio di scelta degli SPD è basato su una protezione a più livelli che comprende una protezione primaria, una protezione di secondo livello tale da limitare la tensione residua a 2,5 kV / 1,5 kV ed una protezione fine (diretta) per gli apparati che tollerano tensioni massime inferiori a 1,5 kV.

In dettaglio si avrà:

- protezione linee MT mediante celle dotate di scaricatore sulle linee entranti;
- protezione dei circuiti di potenza BT (ingresso linea dei quadri generali) mediante limitatori ad alta energia di scarica (Corrente nominale 100 kA con fronte d'onda 10/350 s);
- protezione dei circuiti di potenza quadri di secondo livello mediante limitatori che avranno il compito di limitare le sovratensioni a 2,5 kV / 1,5 kV (corrente nominale 20 kA con forma d'onda 8/20 s).
- SPD in corrispondenza degli ingressi di tutti quadri elettrici e gli inverter ed i quadri di campo
- SPD per la specifica protezione di: apparati linee dati, apparati sensibili, linee dati, linee di segnale.



17. CONCLUSIONI

Dovranno essere emessi e rilasciati dall'installatore i seguenti documenti:

- manuale di uso e manutenzione, inclusivo della pianificazione consigliata degli interventi di manutenzione;
- progetto esecutivo in versione "come costruito", corredato di schede tecniche dei materiali installati;
- dichiarazione attestante le verifiche effettuate e il relativo esito;
- dichiarazione di conformità ai sensi del DM 37/2008;
- certificazione rilasciata da un laboratorio accreditato circa la conformità alla norma CEI EN 61215, per moduli al silicio cristallino, e alla CEI EN 61646 per moduli a film sottile;
- certificazione rilasciata da un laboratorio accreditato circa la conformità del convertitore c.c./c.a. alle norme vigenti;
- certificati di garanzia relativi alle apparecchiature installate;
- garanzia sull'intero impianto e sulle relative prestazioni di funzionamento.

La ditta installatrice, oltre ad eseguire scrupolosamente quanto indicato nel presente progetto, dovrà eseguire tutti i lavori nel rispetto della REGOLA DELL'ARTE.