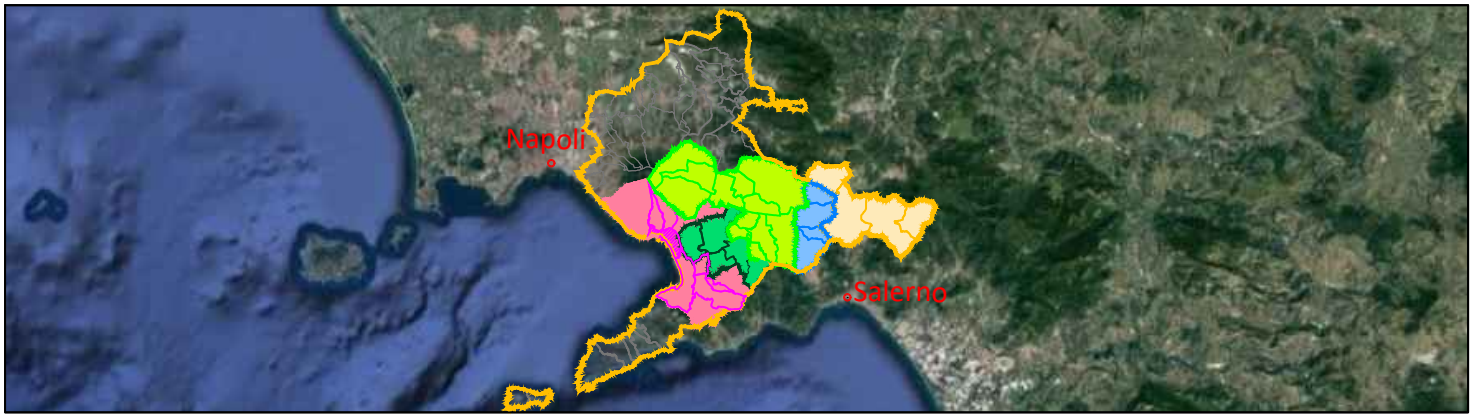
ENTE IDRICO CAMPANO

REGIONE CAMPANIA

GORI

Protocollo d'intesa del 05 Agosto 2020
Regione Campania - Ente idrico campano - Gori Spa
Completamento degli interventi fognario-depurativo del bacino idrografico del fiume Sarno ricadenti nell'Ambito Distrettuale Sarnese Vesuviano di cui alla L.R. n. 15/2015




Comprensorio Depurativo Foce Sarno

# *Rete interna Torre Annunziata - progetto di completamento*

GORI

UNITA' INVESTMENT, PROGRAM & SERVICES

INGEGNERIA
Il Responsabile
Ing. Giuseppina Riccio

INT. 72I8

**PROGETTO ESECUTIVO**

Elaborato:
D.1

Scala:
/

Titolo:

## Relazione tecnica degli impanti

| Rev | Motivo della revisione | Data | Redatto | Verificato | Approvato |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Emissione per approvazione | Giugno 2023 | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| Esecuzione delle Opere | Prestazioni Specialistiche | Il Progettista | Il R.U.P. |
|---|---|---|---|
| | | Prof. Ing. Giovanni Perillo<br>Dott. Ing. GIOVANNI PERILLO ORDINE INGEGNERI CASERTA n.1504 | Ing. Fabrizio Chiocchio |

Il presente progetto è protetto a termini di legge.

# INDICE

**1 INTRODUZIONE ..... 1**

**2 NORME DI RIFERIMENTO, MATERIALI E APPARECCHIATURE ..... 2**

**2.1 PRESCRIZIONI TECNICHE GENERALI E OBBLIGHI DI LEGGE ..... 2**

**2.2 Normativa Generale ..... 2**

**2.3 Qualità dei materiali e delle apparecchiature ..... 4**

**3 CLASSIFICAZIONE DEI LOCALI ..... 5**

**3.1 Classificazione del sistema elettrico secondo la tensione nominale ..... 5**

**3.2 Classificazione del sistema elettrico secondo il modo di collegamento a terra e secondo l'ambiente ..... 5**

**3.3 Rischi diversi ..... 5**

**4 COMPONENTI ELETTRICI ..... 6**

**4.1 Opere da eseguire ..... 6**

**4.2 Contenitore per alloggiamento punto di consegna ENEL ..... 6**

**4.3 Quadro Pompe - Logica di funzionamento dell'impianto ..... 7**

**4.4 Protezione dalle sovracorrenti ..... 7**

**4.5 Tipo di cavi ..... 8**

**4.6 Colori distintivi ..... 9**

**4.7 Posa dei conduttori ..... 9**

**4.8 Derivazioni, giunzioni e cassette ..... 9**

**4.9 Manipolazione dei cavi ..... 10**

**5 IMPIANTO DI MESSA A TERRA E SISTEMI DI PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI DIRETTI E INDIRETTI ..... 11**

**5.1 Generalità** ..... 11

**5.2 Impianto di messa a terra e sistemi di protezione contro i contatti indiretti** ..... 11

**5.3 Protezione contro i contatti diretti** ..... 12

**5.4 Verifica impianto di messa a terra** ..... 13

**6 VERIFICHE E PROVE DI COLLAUDO** ..... **14**

**6.1 Prove di collaudo** ..... 14

**6.2 Verifica delle protezioni contro i contatti indiretti** ..... 15

**6.3 Prove di isolamento** ..... 15

**7 MESSA IN SERVIZIO DEGLI IMPIANTI** ..... **16**

**8 ALLEGATI: RELAZIONE DI CALCOLO E RISULTATI DELLE VERIFICHE ELETTRICHE EFFETTUATE** **17**

**DIMENSIONAMENTO DEI CAVI** ..... **20**

**INTEGRALE DI JOULE** ..... **22**

**DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI NEUTRO** ..... **24**

**DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI PROTEZIONE** ..... **25**

**CALCOLO DELLA TEMPERATURA DEI CAVI** ..... **26**

**CADUTE DI TENSIONE** ..... **27**

**FORNITURA DELLA RETE** ..... **28**

**BASSA TENSIONE** ..... **29**

**TRASFORMATORI** ..... **31**

**FATTORI DI CORREZIONE PER GENERATORI E TRASFORMATORI (EN 60909-0)** ..... **33**

**FATTORE DI CORREZIONE PER GENERATORI SINCRONI (EN 60909-0 PAR. 6.6.1) ..... 34**

**FATTORE DI CORREZIONE PER GRUPPI DI PRODUZIONE CON REGOLAZIONE AUTOMATICA DELLA TENSIONE DEL TRASFORMATORE (EN 60909-0 PAR. 6.7.1) ..... 35**

**FATTORE DI CORREZIONE PER GRUPPI DI PRODUZIONE SENZA REGOLAZIONE AUTOMATICA DELLA TENSIONE DEL TRASFORMATORE (EN 60909-0 PAR. 6.7.2) ..... 36**

**CALCOLO DEI GUASTI ..... 37**

**CALCOLO DELLE CORRENTI MASSIME DI CORTOCIRCUITO ..... 38**

**CALCOLO DELLE CORRENTI MINIME DI CORTOCIRCUITO ..... 41**

**CALCOLO GUASTI BIFASE-NEUTRO E BIFASE-TERRA ..... 43**

**MOTORI ASINCRONI ..... 44**

**ATTENUAZIONE DELLA CORRENTE DI GUASTO PER GUASTI SIMMETRICI E VICINI ..... 45**

**SCELTA DELLE PROTEZIONI ..... 47**

**VERIFICA DELLA PROTEZIONE A CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE ..... 48**

**NOTE: ..... 49**

**PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI ..... 50**

**SISTEMI TN ..... 51**

**SISTEMI TT ..... 52**

**SISTEMI IT ..... 53**

**RIFERIMENTI NORMATIVI ..... 55**

# 1 INTRODUZIONE

Lo scopo del seguente documento è la progettazione dei quadri e degli impianti elettrici a servizio degli impianti di sollevamento previsti dal progetto esecutivo di **Rete interna Torre Annunziata - progetto di completamento** che ricade nel comprensorio Foce Sarno e che recapita nei collettori comprensoriali che adducono all'impianto di trattamento di Foce Sarno.

Gli impianti di sollevamento in progetto sono dotati di Quadro Consegna Energia, Quadro Pompe e pompe di sollevamento con relativi sistemi ausiliari.

I criteri di impostazione progettuale degli impianti elettrici, che saranno nel seguito descritti, sono stati finalizzati al conseguimento dei requisiti fondamentali della sicurezza, della funzionalità e dell'affidabilità.

Altri significativi obiettivi sono la semplicità di esercizio e manutenzione nonché la ricerca di soluzioni che consentano di gestire in modo intelligente gli impianti.

Per quanto concerne la sicurezza delle persone, è stata posta particolare attenzione affinché sia garantita l'assenza pericolosa di tensioni di contatto.

# 2 NORME DI RIFERIMENTO, MATERIALI E APPARECCHIATURE

## 2.1 PRESCRIZIONI TECNICHE GENERALI E OBBLIGHI DI LEGGE

Gli impianti dovranno essere realizzati a regola d'arte, secondo la prescrizione della Legge n.37 in vigore dal 22/01/2008.

Le caratteristiche degli impianti nonché i loro componenti, devono corrispondere alle Norme di Legge e ai regolamenti vigenti.

Gli impianti in oggetto saranno progettati con costante riferimento alle prescrizioni delle normative tecniche vigenti in materia. I componenti e le apparecchiature costituenti gli impianti dovranno essere conformi alle corrispondenti norme CEI di prodotto. Tutti i materiali e gli apparecchi impiegati negli impianti elettrici, dovranno essere adatti all'ambiente in cui saranno installati e avranno caratteristiche tali da resistere alle azioni meccaniche, corrosive, termiche o all'umidità. Tutti i tipi di materiali e dispositivi elettrici, utilizzati nella realizzazione di qualunque tipo di impianto, dovranno possedere un attestato di conformità alle norme CEI rilasciato da istituti europei riconosciuti nell'ambito della CEE, oppure mediante dichiarazione di conformità alle norme CEI da parte del costruttore. Altre norme e/o disposizioni legislative inerenti all'esecuzione degli impianti oggetto del presente progetto dovranno comunque essere rispettate, anche se non espressamente richiamate.

Nel seguito sono indicate in elencazione sommaria le principali fonti normative utilizzate a tale scopo.

## 2.2 Normativa Generale

- Decreto legislativo 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.
- Decreto Ministeriale 22/01/2008 n.37. Ministero dello Sviluppo Economico – 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 - (Gazzetta ufficiale 12/03/2008 n. 61).
- Legge n. 186 dell'1.3.1968. "Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni ed impianti elettrici ed elettronici.
- Legge n. 791 del 18.10.1977. Attuazione della direttiva CEE 73/23 relativa alle garanzie di sicurezza che deve possedere il materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro alcuni limiti di tensione.
- Norme C.E.I., Tutta la normativa del Comitato Elettrotecnico Italiano in generale, di interesse per le opere in progetto.

Tutti gli impianti elettrici/elettronici devono essere eseguiti a perfetta regola d'arte e rispondenti alle norme CEI. Elenco (non esaustivo) della Normativa di riferimento:

- D.Lgs 81/08 e s.m.i.: Testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro.
- Legge n° 168 del 01/03/1968: Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari installazioni e impianti elettrici ed elettronici.
- Legge n° 791 del 18/10/1977: Attuazione direttiva del consiglio della Comunità Europea (n°72/23/CEE) relativa alle garanzie di sicurezza che deve possedere il materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro alcuni limiti di tensione.
- DM 37/08: Disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici".
- DPR n° 447 del 06/12/1991: Regolamento di attuazione della legge 5/3/90 n° 46 in materia di sicurezza.
- DPR n° 459 del 24/07/1996: Regolamento per attuazione della Direttive 89/392/CEE,91/368/CEE,93/44/CEE e 93/68/CEE concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative alle macchine.
- D.Lgs. n° 615 del 12/11/96: Attuazione della Direttiva Comunitaria in materia di compatibilità elettromagnetica delle apparecchiature di distribuzione elettrica.
- Le Norme UNI

Le Norme CEI: tutte quelle applicabili sia all'impianto in oggetto sia ai prodotti, in particolare:

- Norma CEI 0-21 Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi.
- alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- Norme CEI 64-8 Per l'impianto nel suo complesso.
- Norme CEI 11.28 (Prima Edizione) 1993 e succ. varianti e ampliamenti. Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di corto circuito nelle reti radiali a bassa tensione.
- Norme CEI 14.6 fasc. n. 735 (1985) e succ. varianti e ampliamenti. Trasformatori di isolamento e trasformatori di sicurezza.
- Norma CEI 16-7 fascicolo 3087R 1997 e succ. varianti ed ampliamenti. Elementi per identificare i morsetti e le terminazioni dei cavi.
- Norme Uni En61439 CEI 17.13/1 fasc. n. 542 e succ. varianti ed ampliamenti.
- Apparecchiature costruite in fabbrica - ACF - (quadri elettrici).
- CEI EN 61439 (CEI 17-113) Parti 1 (Regole Generali) – Parte 2 (Quadri di Potenza) – Parte 3: Quadri di distribuzione destinati ad essere utilizzati da persone comuni (DBO).
- Norme CEI 23.32 fasc. n. 1287 (1990) e succ. varianti ed ampliamenti. Sistemi di canali di materiale plastico isolante e loro accessori ad uso portacavi e portapparecchi per soffitto e parete.
- Norme CEI 34.21 fasc. n. 1348 (1990) e succ. varianti ed ampliamenti. Apparecchi di illuminazione.

- Norme CEI 23.31 fasc. n. 1286 (1990) canali metallici portacavi e portapparecchi.
- Apparecchiature costruite in fabbrica - ACF - (quadri elettrici).
- Norme CEI 64.8. Impianti elettrici utilizzatori a tensione non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua.
- Norme CEI 64.12. Impianti di terra negli edifici residenziali e terziari.
- Norme CEI 70.1 (Seconda Edizione) 1992 e succ. varianti ed ampliamenti. Gradi di protezione degli involucri (Codice IP).

**2.3 Qualità dei materiali e delle apparecchiature**

Tutte le apparecchiature e le relative condizioni di posa, avranno caratteristiche adeguate alle zone in cui andranno installate. In particolare si dovranno prevedere tipi di apparecchiature con caratteristiche idonee alle condizioni di: sbalzi termici, umidità e agenti corrosivi relativi ai singoli locali o manufatti dell'impianto.
Si richiede che tutti i materiali oggetto della fornitura, compresi quelli non espressamente citati, siano muniti di contrassegno IMQ e in ogni caso dovranno essere corredati di marcatura CE.
Per tutte le apparecchiature che lo prevedono, si dovranno seguire scrupolosamente i criteri d'installazione impartiti dal costruttore sia durante le fasi di posa, che quelle di messa in servizio, taratura e/o regolazione.
Le apparecchiature andranno alimentate secondo i dati di targa e le raccomandazioni del costruttore. Si dovrà prevedere che la caduta di tensione massima, ai capi d'ogni singolo utilizzatore con tutte le apparecchiature ammesse a funzionare inserite, non superi il valore del 4% della tensione a vuoto.

# 3 CLASSIFICAZIONE DEI LOCALI

## 3.1 Classificazione del sistema elettrico secondo la tensione nominale

Il complesso verrà alimentato dalla rete ENEL in BT, quindi il sistema è da classificarsi di 1° categoria.

## 3.2 Classificazione del sistema elettrico secondo il modo di collegamento a terra e secondo l'ambiente

Il sistema risulta essere del tipo TT, in quanto alimentato da fornitura in b.t. da Distributore.

Per le caratteristiche della struttura ed a seguito di analisi specifica del Committente, il luogo viene classificato come ordinario.

## 3.3 Rischi diversi

I quadri elettrici vengono allocati entro apposito armadio stradale IP65 sopraelevato di 20 cm rispetto al piano di campagna su apposita piattaforma in c.a.. Questo previene il rischio di allagamento dei quadri.

# 4 COMPONENTI ELETTRICI

## 4.1 Opere da eseguire

Le opere elettriche da realizzare afferiscono gli impianti di sollevamento previsti in progetto denominati dai nodi "O1.4,O1, N1, M3' e L4.1'" e sono, per ciascun impianto, sinteticamente le seguenti:

- Contenitore per misuratore fiscale su palo e di Armadio Stradale per Quadro Pompe, su manufatto di rialzo in calcestruzzo
- Installazione di Quadro Pompe, come descritto negli elaborati grafici
- Fornitura, posa in opera e collegamento del sistema di pompaggio costituito da 2 elettropompe con relativi contatti ausiliari
- Linee di interconnessione con cavi di potenza e di segnale
- Sensori di livello elettromeccanici all'interno del pozzetto pompe, opportunamente sistemati
- Sensori di livello piezoresistivo all'interno del pozzetto pompe, opportunamente sistemati in tubo di calma
- Impianto di terra.

## 4.2 Contenitore per alloggiamento punto di consegna ENEL

Sulla base delle necessità idrauliche note alla stesura del progetto, si è deciso di dimensionare gli impianti in progetto partendo da una fornitura trifase in bassa tensione ai valori unificati di 400V/50Hz, per una potenza prelevata pari a 0.6 kW per i sollevamenti dei nodi N1 ed M3', una potenza prelevata pari a 1.14 kW per il i sollevamenti dei nodi O1.4 edL4.1',ed una potenza prelevata parti a 2,4 kW per il sollevamento del nodo O1, e di usare i due motori in avviamento diretto, non contemporaneo, con alternanza della priorità di avviamento attraverso il Quadro Pompe successivamente descritto.

Poiché la fornitura è trifase ed alimentata direttamente in bassa tensione con potenza inferiore a 33Kw, per le condizioni poste dalla norma CEI 0-21 si assume una corrente di cortocircuito nel punto di consegna pari a 10 kA.

La fornitura di energia elettrica avverrà tramite un punto di consegna ENEL, ubicato all'interno di contenitori in vetroresina posizionati su pali. Tali contenitori in cui saranno installati gruppi di misura dell'energia prelevata dalla rete di distribuzione elettrica presente presso il Comune suddetto, sono descritti negli elaborati grafici ed avranno le seguenti caratteristiche.

Caratteristiche tecniche:

- Conforme alla DS 4931 secondo prescrizioni ENEL
- SMC(Vetroresina)

- Conforme alla CEI EN 60439-5
- Resistenza alla fiamma secondo prescrizioni ENEL DS 4974:>80 punti
- Resistenza alle correnti superficiali secondo norme IEC 60112:PTI 500
- Resistenza all'impatto 10J secondo CEI EN 60439/5
- Grado di protezione: IP 44 secondo CEI EN 60529

Caratteristiche del manufatto:

- Contenitore adatto per essere montato a muro, su palo o su palina in vetroresina tipo ENEL DS 4553
- Predisposto per l'installazione di un gruppo di misura trifase tipo GET-1 o GET-2° tramite tavola
- Sportello di tipo rigato, incernierato con apertura di 90° e possibilità di rimozione totale dello stesso per un più agevole accesso
- Serratura di tipo ENEL 4551 Unificata nazionale che consente l'ispezione autonoma di più utenti

### 4.3 Quadro Pompe - Logica di funzionamento dell'impianto

Il Quadro Pompe rispecchia tipologie aziendali del Committente già in uso per i quali lo schema è stato preventivamente concordato. Provvederà a comandare la partenza/arresto delle pompe primariamente mediante il segnale analogico proveniente dalla sonda piezometrica, attraverso la logica PLC di fornitura del Committente. In caso di malfunzionamenti al PLC o alla sonda, interverrà la logica cablata operante tramite segnali digitali provenienti dalle sonde a ribaltamento.

È assolutamente necessario rispettare le specifiche descritte negli schemi allegati, compresi colore e cablaggio dei cavi interni al quadro, che preliminarmente all'installazione sul campo dovrà essere munito della logica PLC dal committente (secondo istruzioni della DL).

Il quadro elettrico è dotato di contatti ausiliari, liberi da tensione, che serviranno per acquisire segnali digitali generici quali, ad esempio, la presenza persone.

Le grandezze e gli stati tipici della centrale di pompaggio da acquisire da inviare a telecontrollo sono prelevate direttamente dal PLC tramite cavo ethernet di collegamento con "CLIP" di collegamento (fornita ed installata dal Committente).

Tutti i quadri dovranno essere in materiale isolante e non collegati a terra.

### 4.4 Protezione dalle sovracorrenti

Ogni linea viene protetta dal sovraccarico e dal corto circuito da interruttore magnetotermico posto ad inizio linea.

I dispositivi ad interruzione automatica sono in grado di interrompere qualsiasi sovracorrente sino alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione.

Per stabilire le portate dei cavi si è tenuto in considerazione i coefficienti di riduzione definiti dalle Norme CEI Unel 35024 IEC 448.

La protezione contro il sovraccarico ed il cortocircuito viene coordinata tra la sezione del conduttore ed il relativo interruttore automatico.

Gli interruttori automatici magnetotermici da installare a loro protezione possiedono una corrente nominale (In) compresa fra la corrente di impiego del conduttore (Ib) e la sua portata nominale (Iz) e una corrente di funzionamento (If) minore o uguale a 1,45 volte la portata (Iz).

In tutti i casi devono essere soddisfatte le seguenti relazioni:

$$1)\ Ib \leq In \leq Iz \qquad 2)\ If \leq 1{,}45\ Iz$$

La seconda delle due disuguaglianze sopra indicate è automaticamente soddisfatta nel caso di impiego di interruttori automatici conformi alle norme CEI 23-3 e CEI 17-5.

Gli interruttori automatici magnetotermici devono interrompere le correnti di corto circuito che possono verificarsi nell'impianto in modo tale da garantire che nel conduttore protetto non si raggiungano temperature pericolose secondo la relazione $(I^2xt) < K^2S^2$ (norme CEI 64-8).

**4.5 Tipo di cavi**

L'impianto è inserito in un sistema elettrico di tipo TT, i cavi saranno adatti alla tensione nominale verso terra e tensione nominale fra due conduttori attivi non inferiore a 450/750 V, mentre per la posa in canalina, cunicolo ed interrata cavi con tensione di isolamento 0,6/1KV.

Quelli utilizzati nei circuiti di segnalazione e comando saranno adatti ad una tensione nominale pari a 300/500 V, qualora vengano posati nello stesso tubo, con cavi previsti con tensione nominali superiori, saranno adatti alla tensione nominale maggiore.

I cavi per i circuiti di energia saranno di tipo flessibile, non propaganti l'incendio, non propaganti la fiamma, bassissima emissione di fumi, gas tossici e corrosivi, conduttori in rame unicamente di tipo unipolare o multipolare tipo FG18OM16.

I conduttori FG18M16 – FG18OM16 sono cavi adatti per l'alimentazione ed il trasporto di comandi e/o segnali nell'industria, nei cantieri, nell'edilizia residenziale. Per installazione fissa all'interno e all'esterno. Installazione su murature e strutture metalliche, su passerelle, tubazioni, canalette e sistemi similari. Ammessa la posa interrata, anche se non protetta. (CEI 20-67)

*Caratteristiche funzionali:*

- Tensione nominale Uo/U: 0,6/1 kV
- Massima temperatura di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C
- Sforzo massimo di trazione: 50 N/mm² di sezione del rame.
- Raggio minimo di curvatura: 4 volte il diametro del cavo.
- Temperatura minima di posa: 0°C

### 4.6 Colori distintivi

In conformità al tipo di sistema elettrico ed a quanto suggerito dalle Norme CEI 64-8/5 punto 514.3.1 si utilizzano i seguenti colori per i cavi:

- conduttori di protezione ed equipotenziali: colore giallo-verde inderogabile;
- conduttore di neutro: colore blu chiaro inderogabile;
- conduttore di fase: colori diversi dai precedenti.

### 4.7 Posa dei conduttori

Tutti i conduttori saranno protetti meccanicamente mediante posa in cavidotto. Le dimensioni dei tubi previste sono tali da consentire la sfilabilità dei cavi, ovvero il diametro interno non minore di 1,3 volte il diametro del cerchio che circoscrive il fascio dei cavi, in conformità con quanto previsto dalle Norme CEI.
Il grado di protezione delle condutture e il tipo di posa rispetta la normativa.

### 4.8 Derivazioni, giunzioni e cassette

Tutte le derivazioni o giunzioni tra conduttori saranno realizzati con morsetti di tipo componibili o a cappuccio isolante, all'interno delle cassette di derivazione.
Eventuali cassette di derivazione in cui confluiscono cavi di energia ed ausiliari saranno munite di setti separatori inamovibili.
Le cassette a vista o incassate saranno in materiale isolante autoestinguente, rigide e munite di coperchio asportabile solo con apposito attrezzo, inoltre di dimensioni tali da consentire sia un'agevole installazione delle giunzioni o derivazione che una futura manutenzione dell'impianto.
Ogni giunzione o derivazione sarà segnalata con scritte alfanumeriche della linea elettrica interessata, per consentire un'agevole e sicura manutenzione dell'impianto.

### 4.9 Manipolazione dei cavi

I cavi saranno manipolati e posati con molta cura.

Il trasporto dal deposito al luogo di posa non sarà fatto rotolando o strisciando la bobina, ma impiegando mezzi adeguati quali carrelli o autocarri appositamente attrezzati.

Il rotolamento delle bobine sarà consentito solo per i piccoli spostamenti necessari alla sistemazione delle stesse sui cavalletti o sui carrelli.

Già al momento del prelievo dal deposito, si accerterà che i cavi siano muniti di cappellotti di chiusura delle testate atti ad impedire la penetrazione dell'umidità nell'isolante. La posa sarà fatta con cavi muniti di detti cappellotti.

# 5 IMPIANTO DI MESSA A TERRA E SISTEMI DI PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI DIRETTI E INDIRETTI

## 5.1 Generalità

Devono essere protette contro i contatti indiretti tutte le parti metalliche accessibili dell'impianto elettrico e degli apparecchi utilizzatori, normalmente non in tensione ma che, potrebbero trovarsi sotto tensione (masse).

Per la protezione contro i contatti indiretti ogni impianto elettrico deve avere un proprio impianto di terra. A tale impianto di terra devono essere collegati tutti i sistemi di tubazione metalliche accessibili destinati ad adduzione, distribuzione e scarico, nonché tutte le masse accessibili di notevole estensione esistenti nell'area dell'impianto elettrico utilizzatore stesso (MASSE ESTRANEE).

È necessario che tutti i cavi in entrata o uscita dai quadri, qualora non protetti da interruttore differenziale, siano a doppio isolamento. È necessario altresì che le piastre di fondo degli armadi stradali siano in PVC e che non siano collegate a terra.

## 5.2 Impianto di messa a terra e sistemi di protezione contro i contatti indiretti

L'impianto di terra è stato progettato secondo la CEI 64-8 e la CEI 64-12 e comprende:

- Il dispersore di terra, costituito da picchetto in profilato in croce in acciaio zincato a caldo di lunghezza 1000 mm interrato in intimo contatto con il terreno a quota di 50 cm (dispersore intenzionale) e collegato ai dispersori intenzionali. L'anello di terra si chiude attorno al collettore di terra. Il collettore di terra è posto all'interno dell'armadio stradale contenente il Quadro Pompe.
- I conduttori equipotenziali, che collegheranno il collettore di terra alle masse di tutti gli apparecchi da proteggere, compresi gli apparecchi di illuminazione con parti metalliche comunque accessibili. È previsto il divieto di impiego di conduttori di protezione non protetti di sezione inferiore ai 6 mmq.
- Al collettore di terra vengono collegate anche tutte le masse e tutte le masse estranee facenti capo allo stesso quadro. Il fissaggio del conduttore di terra alle suddette masse metalliche è previsto che avvenga a mezzo di collari fissa tubo, con morsetti, capicorda o viti autofilettanti da fissare sulla massa metallica in modo da impedirne l'allentamento. I morsetti di collegamento devono essere costituiti da lega speciale od opportunamente trattati per evitare fenomeni di corrosione tra metalli differenti.

Avendo posto nel Quadro Pompe a protezione dei contatti indiretti una protezione differenziale con corrente nominale minima Ia=0,3 A (è necessario regolare questo valore sugli interruttori differenziali dei motori), ed

assumendo la tensione ammissibile di contatto <=50 V si ha che la resistenza di terra RT dovrà rispettare la seguente condizione:

$$RT \leq V \div Ia$$

Ovvero

$$RT \leq 83\ \Omega$$

Assumendo una resistività del terreno $\rho e$= 100 (terreno agricolo vegetale secco) e considerando L (lunghezza totale del dispersore) pari a 1 m si ha che la resistenza di dispersione RD è pari a:

$$RD = \frac{1}{2}\left(\frac{L}{L+H}\right)\frac{\rho e}{2\Pi L}\ln\ \left(\frac{2L}{a}\right)$$

Ovvero

$$RD = 58\ \Omega$$

Che è certamente inferiore a RT.

L'impianto di terra progettato secondo quanto descritto soddisfa quindi le prescrizioni delle vigenti Norme CEI 64.8 e le linee guida CEI 64.12.

Riguardo alla cameretta, assimilabile a Luogo Conduttore Ristretto, si prevede l'uso di un circuito SELV (attraverso apposita presa presente dentro il Quadro Pompe) per l'utilizzo di utensili portatili e gruppi di misura mobili.

### 5.3 Protezione contro i contatti diretti

Le misure di protezione mediante isolamento delle parti attive e mediante involucri o barriere sono intese a fornire una protezione totale contro i contatti diretti in condizioni ordinarie.

La protezione del suddetto tipo di contatto viene assicurata quindi dai seguenti provvedimenti:

- coperture completa delle parti attive a mezzo di isolamento rimovibile solo tramite distruzione di quest'ultimo.
- Parti attive posti all'interno di involucri tali da assicurare il grado di protezione adeguato per il tipo di ambiente in cui sono installate.

Il grado di protezione minimo previsto per tutti i quadri è IP65.

### 5.4 Verifica impianto di messa a terra

Sull'impianto di messa a terra, dovranno essere fatte le seguenti verifiche:

- Misura della resistenza di terra
- Misura della resistenza d'isolamento

Verifica del collegamento all'impianto di messa a terra di tutte le masse presenti nell'impianto.

Eseguite le suddette verifiche la Ditta installatrice dovrà presentare alla committenza la Dichiarazione di conformità, che in base al DPR 462/2001 omologa l'impianto di terra.

Sarà cura del committente provvedere entro 30 giorni a trasmettere all'INAIL la suddetta dichiarazione, attraverso il servizio telematico CIVA.

# 6 VERIFICHE E PROVE DI COLLAUDO

## 6.1 Prove di collaudo

Ad impianti ultimati si dovrà provvedere alle seguenti verifiche di collaudo:

- rispondenza alle Normative vigenti;
- rispondenza alle Norme CEI concernente al tipo di impianto;
- rispondenza a prescrizioni particolari richieste dal Committente

Si dovrà verificare il totale completamento dei lavori di ottemperanza a quanto prescritto dalla presente specifica, in particolare gli impianti dovranno risultare completi di:

- identificazione dei cavi;
- identificazione dei morsetti;
- identificazione delle apparecchiature, degli organi di manovra e segnalazione;
- apposizione di cartelli segnaletici od ammonitori dove richiesto;
- manuali di manutenzione delle principali apparecchiature.

I controlli occorrenti per la verifica dovranno essere eseguiti con modi da concordare, in conformità con le normative vigenti, ed in particolare:

- controllo dell'integrale rispondenza tra installazione ed elaborati;
- controllo della corrispondenza tra gli identificatori e le apparecchiature installate;
- controllo del corretto montaggio delle apparecchiature;
- controllo del serraggio dei morsetti elettrici;
- controllo della continuità dei collegamenti di messa a terra per l'equipotenzialità delle apparecchiature elettriche e metalliche in genere;
- misura d'isolamento sia tra i conduttori, sia verso terra, di tutti i circuiti di potenza;
- verifica del corretto funzionamento di tutte le azioni che provocano comandi sull'impianto;
- verifica del corretto intervento di tutte le apparecchiature che provocano consenso o interdizione al funzionamento;
- verifica del corretto intervento di tutte le segnalazioni di funzionamento o d'avaria;
- verifica della sfilabilità dei cavi;
- verifica della condizione di posa dei cavi e dei tubi di supporto;
- misura della resistenza di isolamento;
- misura della caduta di tensione nei circuiti più sfavorevoli;
- verifica dell'adeguatezza dell'impianto di terra alla normativa CEI;

- verifica dell'efficienza delle protezioni contro i cortocircuiti ed i sovraccarichi;
- verifica delle protezioni contro i contatti diretti;
- verifica delle protezioni contro i contatti indiretti.

### 6.2 Verifica delle protezioni contro i contatti indiretti

Si dovranno effettuare le seguenti verifiche:

- Esame a vista dei conduttori di messa a terra e di protezione, con controllo delle sezioni, dei materiali e tipi di posa, lo stato dei conduttori stessi e delle giunzioni;
- Misura del valore di "Resistenza di terra" dell'impianto, utilizzando un dispersore ausiliario ed una sonda di tensione con appositi strumenti di misura;
- Controllo in base ai valori misurati, del coordinamento dei temi di intervento dei dispositivi di massima corrente o di differenziale.

### 6.3 Prove di isolamento

Le prove di isolamento dei quadri elettrici dovranno essere eseguite secondo quanto previsto dalle Norme CEI.

Saranno eseguite a campione delle misure di resistenza di isolamento che non dovrà risultare inferiore a 0.5 M$\Omega$, con tensione di prova di 500 Vca, sui circuiti alimentati alla tensione di rete.

# 7 MESSA IN SERVIZIO DEGLI IMPIANTI

Prima della messa in servizio degli impianti, dovranno essere eseguite tutte quelle prove necessarie alla loro messa a punto.

Tali prove, intese a verificare il corretto funzionamento dell'impianto in tutte le possibili condizioni di esercizio, normali ed accidentali, saranno eseguite direttamente dalla Ditta installatrice per le apparecchiature di sua fornitura.

Gli impianti andranno messi in tensione gradualmente, dapprima con le apparecchiature principali scollegate, poi nella loro totalità, adottando modi e cautele tali da non creare pericolo alcuno a persone o danno agli impianti stessi.

Ogni intervento suddetto dovrà essere concordato preventivamente con la D.L. .

# 8 ALLEGATI: RELAZIONE DI CALCOLO E RISULTATI DELLE VERIFICHE ELETTRICHE EFFETTUATE

## RELAZIONE SUL CALCOLO ESEGUITO

### 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 cosϕ è pari a 1.

Dal valore massimo (modulo) di *Ib* vengono calcolate le correnti di fase in notazionevettoriale (parte reale ed immaginaria) con le formule:

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

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

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

La potenza di dimensionamento *Pd* è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

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

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

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

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

La potenza di dimensionamento *Pd* è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

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

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

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

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

## DIMENSIONAMENTO DEI CAVI

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

In base alla norma CEI 64-8/4 (par. 433.2), infatti, il dispositivo di protezione deveessere coordinato con la conduttura in modo da verificare le condizioni:

$$a) \quad I_b \le I_n \le I_z$$
$$b) \quad I_f \le 1.45 \cdot I_z$$

Per la condizione a) è necessario dimensionare il cavo in base alla corrente nominaledella protezione a monte. Dalla corrente *Ib*, 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 *Iz* della conduttura principale.

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate aicavi. 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 *Iz* in funzione del tipo di isolamento delcavo, 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 *If* e corrente nominale In 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.

## 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 difase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopraccitati riportano però nella parte commento dei valori prudenziali.

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

Cavo in rame e isolato in PVC: K = 115

Cavo in rame e isolato in gomma G: K = 135 Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7: K = 143 Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico: K = 115

Cavo in rame serie L nudo: K = 200

Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico: K = 115

Cavo in rame serie H nudo: K = 200

Cavo in alluminio e isolato in PVC: K = 74

Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7: K = 92I

**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 = 116I

**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 |

## DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI NEUTRO

La norma CEI 64-8 par. 524.2 e par. 524.3, prevede che la sezione del conduttore dineutro, 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 $mm^2$;
- la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non siasuperiore alla portata dello stesso
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16 mm2se 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 $mm^2$ se conduttore in rame e 25 $mm^2$ se econduttore in allumino, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase. In base alle esigenze progettuali, sono gestiti fino a tre metodi didimensionamento 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:

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

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.

## 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:

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

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

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

- *Sp* è la sezione del conduttore di protezione (mm²);
- *I* è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere ilconduttore 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 diprotezione, dell'isolamento e di altre parti.

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

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

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

- 2,5 mm² rame o 16 mm² alluminio se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm² o 16 mm² alluminio se non è prevista una protezione meccanica;

E' possibile, altresì, determinare la sezione mediante il rapporto tra le portate delconduttore di fase e del conduttore di protezione.

Nei sistemi TT, la sezione dei conduttori di protezione può essere limitata a: 25 mm², se in rame; 35 mm², se in alluminio.

## CALCOLO DELLA TEMPERATURA DEI CAVI

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

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

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

espresse in °C.

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

Il coefficiente $\alpha_{cavo}$ è vincolato dal tipo di isolamento del cavo e dal tipo di tabella diposa che si sta usando.

## 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 vieneriportata 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:

- *Kcdt = 2* per sistemi monofase;
- *Kcdt = 1.73* per sistemi trifase.

I parametri *Rcavo* e *Xcavo* 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 Ω/km.Se la frequenza di esercizio è differente dai 50 Hz si imposta

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

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.

## FORNITURA DELLA 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 dall'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.

**BASSA TENSIONE**

Questa può essere utilizzata quando il circuito è alimentato dalla rete di distribuzione in bassa tensione, oppure quando il circuito da dimensionare è collegato in sottoquadro ad una rete preesistente di cui si conosca la corrente di cortocircuito sul punto di consegna.

I dati richiesti sono:

- tensione concatenata di alimentazione espressa in V;
- corrente di cortocircuito trifase della rete di fornitura espressa in kA(usualmente 10 kA).
- corrente di cortocircuito monofase della rete di fornitura espressa in kA(usualmente 6 kA).

Dai primi due valori si determina l'impedenza diretta corrispondente alla corrente di cortocircuito $I_{cctrif,}$ in m Ω:

$$Z_{cctrif} = \frac{V_2}{\sqrt{3} \cdot I_{cctrif}}$$

In base alla tabella fornita dalla norma CEI 17-5 che fornisce il cos$\varphi_{cc}$ di cortocircuito in relazione alla corrente di cortocircuito in kA, si ha:

$50 < I_{cctrif}$ $\cos\phi_{cc} = 0.2$
$20 < I_{cctrif} \le 50$ $\cos\phi_{cc} = 0.25$
$10 < I_{cctrif} \le 20$ $\cos\phi_{cc} = 0.3$
$6 < I_{cctrif} \le 10$ $\cos\phi_{cc} = 0.5$
$4.5 < I_{cctrif} \le 6$ $\cos\phi_{cc} = 0.7$
$3 < I_{cctrif} \le 4.5$ $\cos\phi_{cc} = 0.8$
$1.5 < I_{cctrif} \le 3$ $\cos\phi_{cc} = 0.9$
$I_{cctrif} \le 1.5$ $\cos\phi_{cc} = 0.95$

da questi dati si ricava la resistenza alla sequenza diretta, in m$\Omega$:

$$R_d = Z_{cctrif} \cdot \cos\phi_{cc}$$

ed infine la relativa reattanza alla sequenza diretta, in m Ω:

$$X_d = \sqrt{Z_{cctrif}^2 - R_d^2}$$

Dalla conoscenza della corrente di guasto monofase *Ik1*, è possibile ricavare i valori dell'impedenza omopolare.

Invertendo la formula:

$$I_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_2}{\sqrt{(2 \cdot R_d + R_0)^2 + (2 \cdot X_d + X_0)^2}}$$

Con le ipotesi

$$\frac{R_0}{X_0} = \frac{Z_0}{X_0} \cdot \cos\varphi_{cc}$$

cioè l'angolo delle componenti omopolari uguale a quello delle componenti dirette, si ottiene

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{I_{k1}} \cdot \cos\varphi_{cc} - 2 \cdot R_d$$

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

**TRASFORMATORI**

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

- potenza nominale $P_n$ (in kVA);
- perdite di cortocircuito $P_{cc}$ (in W);
- tensione di cortocircuito $v_{cc}$ (in %)
- rapporto tra la corrente di inserzione e la corrente nominale Ilr/Irt;
- rapporto tra la impedenza alla sequenza omopolare e quella di corto circuito;
- tipo di collegamento;
- tensione nominale del primario $V_1$ (in kV);
- tensione nominale del secondario $V_{02}$ (in V).

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

Impedenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

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

Resistenza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

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

Reattanza di cortocircuito del trasformatore espressa in mΩ:

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

L'impedenza a vuoto omopolare del trasformatore viene ricavata dal rapporto con l'impedenza di cortocircuito dello stesso:

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

dove il rapporto $Z_{vot}/Z_{cct}$ vale usualmente 10-20.

In uscita al trasformatore si otterranno pertanto i parametri alla sequenza diretta, in mΩ:

$$Z_d = \left| \dot{Z}_{cct} \right| = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$ nella quale:

$R_d = R_{cct}$ $X_d = X_{cct}$

I parametri alla sequenza omopolare dipendono invece dal tipo di collegamento deltrasformatore 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:

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

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

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

## FATTORI DI CORREZIONE PER GENERATORI E TRASFORMATORI (EN 60909-0)

La norma EN 60909-0 fornisce una serie di fattori correttivi per il calcolo delle impedenze di alcune macchine presenti nella rete. Quelle utilizzate per il calcolo dei guasti riguardano i generatori e i trasformatori.

**Fattore di correzione per trasformatori (EN 60909-0 par. 6.3.3)**

Per i trasformatori a due avvolgimenti, con o senza regolazione delle spire, quandosi 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 *Cmax* è preso dalla tabella 1 ed è relativoalla tensione lato bassa del trasformatore.

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

## FATTORE DI CORREZIONE PER GENERATORI SINCRONI (EN 60909-0 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

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

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. Nella formula compaiono a numeratore e denominatore la tensione nominale disistema e la tensione nominale del generatore ($U_{rG}$). In Ampère $U_{rG}$ non è gestita,quindi si considera $V_{02}$/ $U_{rG}$ = 1.

## FATTORE DI CORREZIONE PER GRUPPI DI PRODUZIONE CON REGOLAZIONE AUTOMATICA DELLA TENSIONE DEL TRASFORMATORE (EN 60909-0 PAR. 6.7.1)

Nel calcolo delle correnti massime di cortocircuito iniziali nei gruppi di produzione, si deve introdurre un fattore di correzione di impedenza $K_S$ da applicare alla impedenza complessiva nel lato alta del trasformatore:

$$Z_{SK} = K_S \cdot (t_r^2 \cdot Z_G + Z_{THV})$$

con

$$K_S = \frac{c_{max}}{1 + |x'' - x_T| \cdot \sqrt{1 - \cos \varphi_{rG}}}$$

Tale fattore deve essere applicato alla impedenza diretta, inversa ed omopolare. La formula per $K_S$ non considera eventuali differenze tra valori nominali delle macchinee tensione nominale del sistema elettrico.

## FATTORE DI CORREZIONE PER GRUPPI DI PRODUZIONE SENZA REGOLAZIONE AUTOMATICA DELLA TENSIONE DEL TRASFORMATORE (EN 60909-0 PAR. 6.7.2)

Nel calcolo delle correnti massime di cortocircuito iniziali nei gruppi di produzione, si deve introdurre un fattore di correzione di impedenza $K_{SO}$ da applicare alla impedenza complessiva nel lato alta del trasformatore:

$$Z_{SOK} = K_{SO} \cdot (t_r^2 \cdot Z_G + Z_{THV})$$

con

$$K_{SO} = (1 \pm p_T) \cdot \frac{c_{max}}{1 + x'' \cdot \sqrt{1 - \cos \varphi_{rG}}}$$

Dove $p_T$ è la variazione di tensione del trasformatore tramite la presa a spina scelta. Nel programma viene impostato il fattore $(1-p_T)$, con $p_T = (|V_{sec}-V_{02}|)/V_{02}$.

Tale fattore deve essere applicato alla impedenza diretta, inversa ed omopolare. La formula per $K_{SO}$ non considera eventuali differenze tra valori nominali delle macchinee tensione nominale del sistema elettrico.

## CALCOLO DEI GUASTI

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 dall'utenza a monte che, a loro volta, inizializzano i parametri della linea a valle.

## CALCOLO DELLE CORRENTI MASSIME DI CORTOCIRCUITO

Il calcolo delle correnti di cortocircuito massime viene condotto come descritto nellanorma 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 m risulta:

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

dove deltaT è 50 o 70 °C e α = 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 dall'utenza a monte ottenendo cosìla 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:

$$R_{0cN} = R_{dc} + 3 \cdot R_{dcN}$$
$$X_{0cN} = 3 \cdot X_{dc}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$R_{0cPE} = R_{dc} + 3 \cdot R_{dcPE}$$
$$X_{0cPE} = 3 \cdot X_{dc}$$

dove le resistenze $R_{dcN}$ e $R_{dcPE}$ vengono calcolate come la $R_{dc}$.

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza omopolare sonodistinte 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 diguasto 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,dall'utenza a monte, espressi in m:

$$R_d = R_{dc} + R_{d-up}$$
$$X_d = X_{dc} + X_{d-up}$$
$$R_{0N} = R_{0cN} + R_{0N-up}$$
$$X_{0N} = X_{0cN} + X_{0N-up}$$
$$R_{0PE} = R_{0cPE} + R_{0PE-up}$$
$$X_{0PE} = X_{0cPE} + X_{0PE-up}$$

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 mΩ) 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 $I_{k1Nmax}$ ,fase terra $I_{k1PEmax}$ e bifase $I_{k2max}$ espresse in kA:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

Calcolo della corrente di cresta per guasto trifase secondo la norma IEC 61363-1: Electrical installations of ships. Se richiesto, *Ip* può essere calcolato applicando il metodo semplificato della norma riportato al paragrafo 6.2.5 Neglecting short-circuitcurrent decay. Esso prevede l'utilizzo di un coefficiente *k = 1.8* che tiene conto della massima asimmetria della corrente dopo il primo semiperiodo di guasto.

## 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 allatemperatura 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 allatemperatura 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:

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

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

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

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

## CALCOLO GUASTI BIFASE-NEUTRO E BIFASE-TERRA

Riportiamo le formule utilizzate per il calcolo dei guasti. Chiamiamo con Zd la impedenza diretta della rete, con Zi l'impedenza inversa, e con Z0 l'impedenza omopolare.

Nelle formule riportate in seguito, Z0 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:

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

**MOTORI ASINCRONI**

Le variabili caratteristiche del motore sono:

- Urm tensione nominale del motore [V] (concatenata per motori trifasi, difase per motori monofasi collegati fase-neutro o fase-fase);
- Irm corrente nominale del motore [A];
- Srm potenza elettrica apparente nominale [kVA];
- P numero di coppie polari;
- Ilr/Irm rapporto tra la corrente a motore bloccato (di c.c.) e la correntenominale del motore;
- Fattore di potenza allo spunto.
- Possibilità di avviamento stella/triangolo per i motori trifasi, per cui sidiminuisce Ilr/Irm di 3.

Si calcola l'impedenza del motore:

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

**ATTENUAZIONE DELLA CORRENTE DI GUASTO PER GUASTI SIMMETRICI E VICINI**

Se il motore (o generatore) è vicino al punto di guasto, occorre calcolare i coefficienti □ e *q* per ottenere la corrente di interruzione *ib* tenendo conto del tempodi ritardo (di default pari a 0.02s).

Il coefficiente □ si calcola secondo la seguente tabella:

$$\mu = 0.84 + 0.26 \cdot e^{-0.26(I_{lr}/I_{rm})} \quad t_{min} = 0.02s$$
$$\mu = 0.71 + 0.51 \cdot e^{-0.30(I_{lr}/I_{rm})} \quad t_{min} = 0.05s$$
$$\mu = 0.62 + 0.72 \cdot e^{-0.32(I_{lr}/I_{rm})} \quad t_{min} = 0.10s$$
$$\mu = 0.56 + 0.94 \cdot e^{-0.38(I_{lr}/I_{rm})} \quad t_{min} \geq 0.25s$$

se

$$I_{lr}/I_{rm} \leq 2$$

allora

$$\mu = 1$$

Per il coefficiente q si deve prendere la potenza attiva meccanica espressa in MW edividerla per il numero di coppie polari *P* al fine di ottenere la variabile *m*:

$$m = \frac{S_{rm} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}{1000 \cdot P}$$

con cosϕ fattore di potenza e □ rendimento del motore.

Quindi:

$$q = 1.03 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{min} = 0.02s$$
$$q = 0.79 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{min} = 0.05s$$
$$q = 0.57 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{min} = 0.10s$$
$$q = 0.26 + 0.10 \cdot \ln m \quad t_{min} \geq 0.25s$$

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

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

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

Da cui, a seconda della tensione e della potenza del motore, possiamo avere:

| | |
|---|---|
| $X_M = 0.995 * Z_{Mib}$<br>$R_M = 0.10 * X_M$ | per motori a media tensione con potenza Prm per paia poli >= 1 MW |
| $X_M = 0.989 * Z_{Mib}$<br>$R_M = 0.15 * X_M$ | per motori a media tensione con potenzaPrm per paia poli < 1 MW |

| | |
|---|---|
| $X_M = 0.922 * Z_{Mib}$<br>$R_M = 0.42 * X_M$ | per motori a bassa tensione |

Per le componenti alle sequenze si considerano le sole componenti dirette mentre quelle omopolari non vengono considerate, in quanto il contributo ai guasti lo dannosolo i motori trifasi. Essi contribuiscono ai guasti trifasi e a quelli bifasi nelle utenze trifasi e bifasi.

$$R_d = R_M \, X_d = X_M$$

## 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 intervento magnetico, il cui valore massimo per garantire la protezione contro i contatti indiretti (in assenza di differenziale) deve essere minore della minima corrente di guasto alla fine della linea (I*mag max*).

## VERIFICA DELLA PROTEZIONE A CORTOCIRCUITO DELLE CONDUTTURE

Secondo la norma 64-8 par.434.3 "Caratteristiche dei dispositivi di protezione controi 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. Le condizioni sono pertanto:

a) Le intersezioni sono due:
   - *Iccmin≥Iinters min* (quest'ultima riportata nella norma come *Ia*);
   - *Iccmax≤Iinters max* (quest'ultima riportata nella norma come *Ib*).

b) L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:
   - Iccmin≥Iinters min.

c) L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:
   - Icc max≤Iinters max.

Sono pertanto verificate le relazioni in corrispondenza del guasto, calcolato, minimoe massimo. Nel caso in cui le correnti di guasto escano dai limiti di esistenza della curva della protezione il controllo non viene eseguito.

**NOTE:**

- La rappresentazione della curva del cavo è una iperbole con asintoti $K^2S^2$e la *Iz* dello stesso.
- La verifica della protezione a cortocircuito eseguita dal programma consiste in una verifica qualitativa, in quanto le curve vengono inserite riprendendo i dati dai grafici di catalogo e non direttamente da dati di prova; la precisione con cui vengono rappresentate è relativa. Verifica di selettività

E' verificata la selettività tra protezioni mediante la sovrapposizione delle curve diintervento. I dati forniti dalla sovrapposizione, oltre al grafico sono:

- Corrente la 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 incorrispondenza 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 daicostruttori.

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.

## 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 ei 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.

**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:

*Uo* è la tensione nominale verso terra;

*Zs* è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, ed in Ampèrecorrisponde alla variabile *Zk1(ft) max*;

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

Il programma verifica che:

$$I_a \leq I_{a\,c.i.} = \frac{U_0}{Z_s}$$

Dove *Ia c.i.* è una variabile di Ampère (Corrente contatti indiretti Ia) utilizzata per ilconfronto con i valori di sgancio delle protezioni.

*Ia c.i.* normalmente è pari alla corrente di guasto a terra *Ik1(ft) min* calcolata dalprogramma.

Esso calcola anche la corrente:

$$I_{50V} = \frac{50}{Z_E},$$

dove $Z_E$ è l'impedenza che collega la massa del dispositivo al punto di messa a terradel sistema.

*Ia c.i.* assume il valore di $I_{50V}$ se quest'ultima è maggiore della *Ik1(ft) min*, in pratica si accettano correnti di sgancio superiori fino al valore che porta le masse alla tensione limite convenzionale, quindi:

$$I_{a\,c.i.} = \max\left(\frac{50}{Z_E}, \frac{U_0}{Z_s}\right)$$

Se richiesto dal progetto, è possibile imporre a ciascuna utenza il valore di *Ia c.i.* a $I_{50V}$ o $I_{25V}$ e assicurare di non superare mai le tensioni di contatto limite. Per i sistemi TN-C, il programma verifica la continuità del PEN e che non vi siano protezioni o sezionatori inseriti nel conduttore.

**SISTEMI TT**

Tutte le masse protette contro i contatti indiretti dallo stesso dispositivo di protezione devono essere collegate allo stesso impianto di terra.

Il punto neutro di ogni trasformatore o di ogni generatore deve essere collegato a terra, in modo da permettere l'interruzione dell'alimentazione al primo guasto francosu una massa collegata al dispersore di resistenza di terra $R_E$.

I dispositivi di protezione devono essere a corrente differenziale e deve essere soddisfatta la condizione:

$$R_E \cdot I_{dn} \leq U_L$$

dove:

$R_E$ è la resistenza del dispersore dell'impianto di terra, al quale il programma aggiunge anche l'impedenza dei cavi di protezione che collegano la massa protetta, calcolando la variabile $Z_E$;

*Idn* è la corrente nominale differenziale;

$U_L$ è la tensione limite convenzionale (normalmente 50 V).Il programma verifica che:

$$I_{dn} \leq I_{a\,c.i.} = \frac{U_L}{Z_E}$$

Per completezza, quando il programma possiede tutti gli elementi per calcolare la corrente dicircolazione di un guasto a terra, ossia la *Ik1(ft) min*, allora *Ia c.i.* è scelta tra la maggiore delle due correnti, similmente al sistema TN:

$$I_{a\,c.i.} = \max\left(\frac{U_L}{Z_E}, \frac{U_0}{Z_s}\right)$$

Ovviamente, per la normativa italiana, il dispositivo di protezione deve essere solo a corrente differenziale.

**SISTEMI IT**

Nei sistemi IT le parti attive devono essere isolate da terra oppure essere collegatea terra attraverso un'impedenza di valore sufficientemente elevato.

Le masse devono essere messe a terra, e nel caso di un singolo guasto a terra,deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$R_E \cdot I_d \leq U_L$$

dove:

$R_E$ è la resistenza del dispersore, al quale il programma aggiunge anche l'impedenzadei cavi di protezione che collegano la massa protetta, calcolando la variabile $Z_E$;

*Id* è la corrente del primo guasto a terra, che per il programma sarà pari alla corrente di guasto a terra *Ik1(ft) min* nelle condizioni complessive di rete definite nel progetto.

Il programma verifica che:

$$V_T = Z_E \cdot I_d \leq U_L$$

dove $V_T$ è la tensione della massa a guasto, una variabile di Ampère che per i sistemi IT è associata al primo guasto a terra.

La norma richiede l'interruzione automatica dell'alimentazione per un secondo guasto su di un conduttore attivo differente, ovviamente appartenente alla stessa area elettrica a valle della fornitura o di un trasformatore.

Viene indicata la formula che deve essere rispettata, che in generale è la seguente:

$$2 \cdot Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

dove:

*Uo* è la tensione nominale verso terra;

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

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

Il coefficiente 2 indica che il secondo guasto può manifestarsi in un circuito differente, ed in più la norma suggerisce di considerare il caso più severo, comprendendo anche i guasti sul neutro.

Il programma Ampère assolve a queste indicazioni risolvendo il seguente algoritmo:

$$I_a \leq I_{a\,c.i.} = \min_{s2} \frac{U_0}{(Z_{s1} + Z_{s2})}$$

dove:

*Zs1* è l'impedenza dell'anello di guasto dall'utenza in considerazione;

*Zs2* è l'impedenza dell'anello di guasto di una seconda utenza;

*Ia c.i.* è la minima corrente di guasto, calcolata permutando tutte le utenze *s2* appartenenti alla stessa area elettrica di *s1*.

Il valore *Max(Zs1 + Zs2)* è memorizzato nella variabile *ZIT max* di Ampère.

*Ia c.i.* normalmente è pari alla corrente di guasto a terra *Ik(IT) min* calcolata dalprogramma.

Esso calcola anche la corrente:

$$I_{50V} = \frac{50}{Z_E},$$

dove $Z_E$ è l'impedenza che collega la massa del dispositivo al punto di messa a terradel sistema.

*Ia c.i.* assume il valore di $I_{50V}$ se quest'ultima è maggiore della *Ik(IT) min*, in pratica si accettano correnti di sgancio superiori fino al valore che portano le masse allatensione limite convenzionale, quindi:

$$I_{a\,c.i.} = \max\left(\frac{50}{Z_E}, \frac{U_0}{ZIT\,max}\right)$$

**Nota**. Il programma permette di applicare il punto 413.1.1.1 della CEI 64-8, e quindi validarea contatti indiretti una utenza che presenta, in caso di guasto, un valore di tensione inferiorealla tensione limite convenzionale.

In pratica, a differenza di quanto spiegato finora, le tarature delle protezioni possono essere superiori anche alla corrente $I_{50V}$.

**RIFERIMENTI NORMATIVI**

Norme di riferimento per la Bassa tensione:

- 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 IVa Ed. 2000-08: Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI EN 60909-0 IIIa Ed. (IEC 60909-0:2016-12): Correnti di cortocircuito neisistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60909-4 First ed. 2000-7: Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 4: Esempi per il calcolo delle correnti di cortocircuito.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI EN 60947-2 (CEI 17-5) Ed. 2018-04: Apparecchiature a bassa tensione.
  Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 20-91 2010: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua per applicazioni inimpianti fotovoltaici.
- CEI EN 60898-1 (CEI 23-3/1 Ia Ed.) 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI EN 60898-2 (CEI 23-3/2) 2007: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari Parte 2: Interruttori perfunzionamento in corrente alternata e in corrente continua.
- CEI 64-8 VIIa Ed. 2012: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale nonsuperiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carring capacities.
- IEC 60364-5-52 IIIa Ed. 2009: Electrical Installations of Buildings - Part5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35016 2016: Classe di Reazione al fuoco dei cavi in relazione al Regolamento EU “Prodotti da Costruzione” (305/2011).
- CEI UNEL 35023 2020: Cavi di energia per tensione nominale U uguale ad 1 kV - Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 2020: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in correntealternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.

- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI EN 61439 2012: Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT).
- CEI 17-43 IIa Ed. 2000: Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante estrapolazione, per apparecchiature assiematedi protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie(ANS).
- CEI 23-51 2016: Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare.
- NF C 15-100 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento dei cavi secondo norme francesi.
- UNE 20460 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento (UNE 20460-5-523) dei cavi secondo regolamento spagnolo.
- British Standard BS 7671:2008: Requirements for Electrical Installations;
- ABNT NBR 5410, Segunda edição 2004: Instalações elétricas de baixa tensão;

Norme di riferimento per la Media tensione

- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi epassivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 99-2 (CEI EN 61936-1) 2011: Impianti con tensione superiore a 1 kV inc.a.
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzionedi energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI-UNEL 35027 IIa Ed. 2009: Cavi di energia per tensione nominale U da 1kV a 30 kV.CEI 99-4 2014: Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale.
- CEI 17-1 VIIa Ed. (CEI EN 62271-100) 2013: Apparecchiatura ad alta tensione Parte 100: Interruttori a corrente alternata.
- CEI 17-130 (CEI EN 62271-103) 2012: Apparecchiatura ad alta tensioneParte 103: Interruttori di manovra e interruttori di manovra sezionatori per tensioni nominali superiori a 1 kV fino a 52 kV compreso.

- IEC 60502-2 2014: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV – Part 2.
- IEC 61892-4 IIa Ed. 2019-04: Mobile and fixed offshore units – Electrical installations. Part 4: Cables.

## VERIFICHE ELETTRICHE IMPIANTO - SOLLEVAMENTO NODO O1.4 VIA TERRAGNETA

| Utenza | Ib<=In<=Iz | Verif. PdI | Ver. I²t | Imag<Imagmax | Contatti indiretti | CdtT (Ib) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **CONTATORE PDF** | | | | | | |
| CAVO | 34,9<=40<=60 A | | | | Verificato | 0,094<=4 % |
| 6QF1 | 34,9<=40<=55 A | 10 >= 8,55 kA | Verificato | 560 < 2457 A | Verificato | 0,47<=4 % |
| **QUADRO CAMPO TT CONTROL** | | | | | | |
| 6QF1 | 34,9<=40 A (Ib<=In) | 10 >= 5,58 kA | | 560 < 2457 A | Verificato | 0,47<=4 % |
| 8QF1 | 13,8<=32 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,35<=4 % |
| 9QF1 | 13,8<=32 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,35<=4 % |
| 7QF1 | 0,291<=2 A (Ib<=In) | 6 >= 4,93 kA | | 28 < 3718 A | Verificato | 0,311<=4 % |
| 7QF5 | 7,21<=10<=17,5 A | 20 >= 3,08 kA | Verificato | 100 < 1900 A | Verificato | 0,554<=4 % |
| 15QF1 | 0<=4 A (Ib<=In) | 6 >= 3,08 kA | | 56 < 2456 A | Verificato | 0,47<=4 % |
| 8QF2 | 13,8<=32<=32 A | 50 >= 5,64 kA | Verificato | 454,4 < 1174 A | Verificato | 0,96<=4 % |
| 9QF2 | 13,8<=32<=32 A | 50 >= 5,64 kA | Verificato | 454,4 < 1174 A | Verificato | 0,96<=4 % |
| 7T1 | 0,291<=0,62 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,318<=4 % |
| Conv-Prot. | 0<=0,57 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,47<=4 % |
| 7QF2 | 1,39<=2 A (Ib<=In) | 4,5 >= 0,227 kA | | 20 < 74,2 A | Verificato | 0,318<=4 % |
| 7QF3 | 2,78<=4 A (Ib<=In) | 6 >= 0,227 kA | | 40 < 74,2 A | Verificato | 0,318<=4 % |
| 15AL1 | 0<=0,57 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,47<=4 % |

## VERIFICHE ELETTRICHE IMPIANTO - SOLLEVAMENTO NODO O1 VIA TERRAGNETA

| Utenza | Ib<=In<=Iz | Verif. PdI | Ver. I²t | Imag<Imagmax | Contatti indiretti | CdtT (Ib) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **CONTATORE PDF** | | | | | | |
| CAVO | 17<=20<=35 A | | | | Verificato | 0,133<=4 % |
| 6QF1 | 17<=20<=32 A | 10 >= 7,28 kA | Verificato | 224 < 1275 A | Verificato | 0,666<=4 % |
| **QUADRO CAMPO TT CONTROL** | | | | | | |
| 6QF1 | 17<=20 A (Ib<=In) | 10 >= 3,17 kA | | 224 < 1275 A | Verificato | 0,666<=4 % |
| 8QF1 | 4,86<=12 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,367<=4 % |
| 9QF1 | 4,86<=12 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,367<=4 % |
| 7QF1 | 0,29<=2 A (Ib<=In) | 6 >= 2,77 kA | | 28 < 2098 A | Verificato | 0,27<=4 % |
| 7QF5 | 7,21<=10<=17,5 A | 20 >= 1,66 kA | Verificato | 100 < 1097 A | Verificato | 0,75<=4 % |
| 15QF1 | 0<=4 A (Ib<=In) | 6 >= 1,66 kA | | 56 < 1275 A | Verificato | 0,666<=4 % |
| 8QF2 | 4,86<=12<=25 A | 50 >= 3,19 kA | Verificato | 170,4 < 691,5 A | Verificato | 0,702<=4 % |
| 9QF2 | 4,86<=12<=25 A | 50 >= 3,19 kA | Verificato | 170,4 < 691,5 A | Verificato | 0,702<=4 % |
| 7T1 | 0,29<=0,62 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,277<=4 % |
| Conv-Prot. | 0<=0,57 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,666<=4 % |
| 7QF2 | 1,39<=2 A (Ib<=In) | 4,5 >= 0,227 kA | | 20 < 74,2 A | Verificato | 0,277<=4 % |
| 7QF3 | 2,78<=4 A (Ib<=In) | 6 >= 0,227 kA | | 40 < 74,2 A | Verificato | 0,277<=4 % |
| 15AL1 | 0<=0,57 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,666<=4 % |

## VERIFICHE ELETTRICHE IMPIANTO - SOLLEVAMENTO NODO N1 TRAVERSA BOTTARO

| Utenza | Ib<=In<=Iz | Verif. PdI | Ver. I²t | Imag<Imagmax | Contatti indiretti | CdT (Ib) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **CONTATORE PDF** | | | | | | |
| CAVO | 14,8<=20<=35 A | | | | Verificato | 0,121<=4 % |
| 6QF1 | 14,8<=20<=32 A | 10 >= 7,28 kA | Verificato | 224 < 1275 A | Verificato | 0,607<=4 % |
| **QUADRO CAMPO TT CONTROL** | | | | | | |
| 6QF1 | 14,8<=20 A (Ib<=In) | 10 >= 3,17 kA | | 224 < 1275 A | Verificato | 0,607<=4 % |
| 8QF1 | 3,76<=12 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,308<=4 % |
| 9QF1 | 3,76<=12 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,308<=4 % |
| 7QF1 | 0,29<=2 A (Ib<=In) | 6 >= 2,77 kA | | 28 < 2098 A | Verificato | 0,211<=4 % |
| 7QF5 | 7,21<=10<=17,5 A | 20 >= 1,66 kA | Verificato | 100 < 1097 A | Verificato | 0,69<=4 % |
| 15QF1 | 0<=4 A (Ib<=In) | 6 >= 1,66 kA | | 56 < 1275 A | Verificato | 0,607<=4 % |
| 8QF2 | 3,76<=12<=25 A | 50 >= 3,18 kA | Verificato | 170,4 < 691,5 A | Verificato | 0,567<=4 % |
| 9QF2 | 3,76<=12<=25 A | 50 >= 3,18 kA | Verificato | 170,4 < 691,5 A | Verificato | 0,567<=4 % |
| 7T1 | 0,29<=0,62 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,218<=4 % |
| Conv-Prot. | 0<=0,57 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,607<=4 % |
| 7QF2 | 1,39<=2 A (Ib<=In) | 4,5 >= 0,227 kA | | 20 < 74,2 A | Verificato | 0,218<=4 % |
| 7QF3 | 2,78<=4 A (Ib<=In) | 6 >= 0,227 kA | | 40 < 74,2 A | Verificato | 0,218<=4 % |
| 15AL1 | 0<=0,57 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,607<=4 % |

## VERIFICHE ELETTRICHE IMPIANTO - SOLLEVAMENTO NODO M3' VIA MAGENTA

| Utenza | Ib<=In<=Iz | Verif. PdI | Ver. I²t | Imag<Imagmax | Contatti indiretti | CdtT (Ib) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **CONTATORE PDF** | | | | | | |
| CAVO | 14,8<=20<=35 A | | | | Verificato | 0,121<=4 % |
| 6QF1 | 14,8<=20<=32 A | 10 >= 7,28 kA | Verificato | 224 < 1275 A | Verificato | 0,607<=4 % |
| **QUADRO CAMPO TT CONTROL** | | | | | | |
| 6QF1 | 14,8<=20 A (Ib<=In) | 10 >= 3,17 kA | | 224 < 1275 A | Verificato | 0,607<=4 % |
| 8QF1 | 3,76<=12 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,308<=4 % |
| 9QF1 | 3,76<=12 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,308<=4 % |
| 7QF1 | 0,29<=2 A (Ib<=In) | 6 >= 2,77 kA | | 28 < 2098 A | Verificato | 0,211<=4 % |
| 7QF5 | 7,21<=10<=17,5 A | 20 >= 1,66 kA | Verificato | 100 < 1097 A | Verificato | 0,69<=4 % |
| 15QF1 | 0<=4 A (Ib<=In) | 6 >= 1,66 kA | | 56 < 1275 A | Verificato | 0,607<=4 % |
| 8QF2 | 3,76<=12<=25 A | 50 >= 3,18 kA | Verificato | 170,4 < 691,5 A | Verificato | 0,567<=4 % |
| 9QF2 | 3,76<=12<=25 A | 50 >= 3,18 kA | Verificato | 170,4 < 691,5 A | Verificato | 0,567<=4 % |
| 7T1 | 0,29<=0,62 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,218<=4 % |
| Conv-Prot. | 0<=0,57 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,607<=4 % |
| 7QF2 | 1,39<=2 A (Ib<=In) | 4,5 >= 0,227 kA | | 20 < 74,2 A | Verificato | 0,218<=4 % |
| 7QF3 | 2,78<=4 A (Ib<=In) | 6 >= 0,227 kA | | 40 < 74,2 A | Verificato | 0,218<=4 % |
| 15AL1 | 0<=0,57 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,607<=4 % |

## VERIFICHE ELETTRICHE IMPIANTO - SOLLEVAMENTO NODO L4.1' VIA MORTELLETO/POSTIGLIONE/SCHITI

| Utenza | Ib<=In<=Iz | Verif. PdI | Ver. I²t | Imag<Imagmax | Contatti indiretti | CdtT (Ib) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **CONTATORE PDF** | | | | | | |
| CAVO | 34,9<=40<=60 A | | | | Verificato | 0,094<=4 % |
| 6QF1 | 34,9<=40<=55 A | 10 >= 8,55 kA | Verificato | 560 < 2457 A | Verificato | 0,47<=4 % |
| **QUADRO CAMPO TT CONTROL** | | | | | | |
| 6QF1 | 34,9<=40 A (Ib<=In) | 10 >= 5,58 kA | | 560 < 2457 A | Verificato | 0,47<=4 % |
| 8QF1 | 13,8<=32 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,35<=4 % |
| 9QF1 | 13,8<=32 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,35<=4 % |
| 7QF1 | 0,291<=2 A (Ib<=In) | 6 >= 4,93 kA | | 28 < 3718 A | Verificato | 0,311<=4 % |
| 7QF5 | 7,21<=10<=17,5 A | 20 >= 3,08 kA | Verificato | 100 < 1900 A | Verificato | 0,554<=4 % |
| 15QF1 | 0<=4 A (Ib<=In) | 6 >= 3,08 kA | | 56 < 2456 A | Verificato | 0,47<=4 % |
| 8QF2 | 13,8<=32<=32 A | 50 >= 5,64 kA | Verificato | 454,4 < 1174 A | Verificato | 0,96<=4 % |
| 9QF2 | 13,8<=32<=32 A | 50 >= 5,64 kA | Verificato | 454,4 < 1174 A | Verificato | 0,96<=4 % |
| 7T1 | 0,291<=0,62 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,318<=4 % |
| Conv-Prot. | 0<=0,57 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,47<=4 % |
| 7QF2 | 1,39<=2 A (Ib<=In) | 4,5 >= 0,227 kA | | 20 < 74,2 A | Verificato | 0,318<=4 % |
| 7QF3 | 2,78<=4 A (Ib<=In) | 6 >= 0,227 kA | | 40 < 74,2 A | Verificato | 0,318<=4 % |
| 15AL1 | 0<=0,57 A (Ib<=In) | | | | Verificato | 0,47<=4 % |