

**CABINA DI TRASFORMAZIONE MT-bT DA 800kVA  
A SERVIZIO DEL LABORATORIO D2  
NELL'AMBITO DEL PROGETTO  
FLAGSHIP LINEA B "HYDROGEN ENGINE TRUCK AND  
INFRASTRUCTURE – RETRAIN"  
DEL PIANO NAZIONALE RIPRESA E RESILIENZA PNRR  
MISSIONE 4 COMPONENTE 2 INVESTIMENTO 1.4  
PROGETTO "CENTRO NAZIONALE MOBILITÀ SOSTENIBILE  
(CNMS-MOST) – SPOKE 12" [CN00000023 - CUP B43C22000440001]**

Committente:



Titolo elaborato:

RELAZIONE TECNICA

Progettazione:

Timbro e firma

TAVOLA RT.01	SCALA -
DATA 05.05.25	FORMATO A4



Viale Colli Aminei, 144  
80131 - Napoli  
cell. 349 4215688  
mail. fabiobuia@hotmail.com



REVISIONI

N.	DESCRIZIONE	Data emiss.	Redatto	Verificato	Approvato
0	PRIMA EMISSIONE	05.05.2025	F.C.	F.B.	F.B.
1					
2					
3					
4					

## INDICE

<b>1</b>	<b>Introduzione .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Dati di progetto .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Classificazione dei luoghi e provvedimenti particolari .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Analisi del carico.....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Descrizione dell'intervento .....</b>	<b>8</b>
5.1	<i>Quadri di Media Tensione .....</i>	<i>8</i>
5.2	<i>Trasformatore.....</i>	<i>12</i>
5.3	<i>UPS di cabina esistente e nuova cabina di trasformazione .....</i>	<i>13</i>
5.4	<i>Quadri di rifasamento fisso .....</i>	<i>14</i>
5.5	<i>Quadri di rifasamento automatico.....</i>	<i>15</i>
5.6	<i>Quadro generale bassa tensione .....</i>	<i>17</i>
5.7	<i>Quadri servizi ausiliari cabina esistente .....</i>	<i>18</i>
5.8	<i>Quadri servizi ausiliari cabina esistente .....</i>	<i>18</i>
5.9	<i>Interruttori automatici aperti fino a 2000A.....</i>	<i>18</i>
5.10	<i>Interruttori automatici e non automatici scatolati da 16 a 800 A.....</i>	<i>22</i>
5.11	<i>Interruttori modulari automatici da 0,5A a 125A .....</i>	<i>29</i>
5.12	<i>Interruttori magnetotermici.....</i>	<i>31</i>
5.13	<i>Interruttori differenziali.....</i>	<i>31</i>
5.14	<i>Interruttori non automatici modulari .....</i>	<i>31</i>
<b>6</b>	<b>Ventilazione trasformatore .....</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>Impianto di Terra .....</b>	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>Protezione dei circuiti di alimentazione.....</b>	<b>35</b>
8.1	<i>Riferimenti normativi.....</i>	<i>35</i>
8.2	<i>Protezione delle condutture contro le sovracorrenti.....</i>	<i>35</i>
8.3	<i>Sovraccarico.....</i>	<i>35</i>
8.4	<i>Corto circuito.....</i>	<i>35</i>
8.4.1	<i>Calcolo della corrente di corto circuito a fine linea.....</i>	<i>36</i>
<b>9</b>	<b>Cadute di tensione.....</b>	<b>38</b>
9.1	<i>Calcolo della caduta di tensione .....</i>	<i>39</i>

<b>10</b>	<b>Protezione delle persone.....</b>	<b>40</b>
10.1	<i>Effetti della corrente elettrica sul corpo umano.....</i>	40
10.2	<i>Sistema di distribuzione.....</i>	40
10.3	<i>Protezione contro i contatti diretti ed indiretti.....</i>	41
10.4	<i>Verifica .....</i>	42

## 1 Introduzione

Scopo della presente relazione tecnica è descrivere le attività di progettazione *definitiva* per la realizzazione della nuova cabina di trasformazione MT/bT da 800kVA a servizio del laboratorio D2 presso l'istituto per le Scienze e Tecnologie per l'Energia e la mobilità sostenibile (STEMS) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) sito in Via Guglielmo Marconi, 4 - Napoli nell'ambito del progetto FLAGSHIP LINEA B "HYDROGEN ENGINE TRUCK AND INFRASTRUCTURE – RETRAIN" del piano nazionale ripresa e resilienza PNRR missione 4 componente 2 investimento 1.4 progetto "centro nazionale mobilità sostenibile (CNMS-MOST) – spoke 12" [CN00000023 - CUP B43C22000440001].

La progettazione si dovrà sviluppare su un ulteriore livello *esecutivo* secondo quanto prescritto dalla guida CEI 0-2 e dal DM 37/08 (articolo 1, comma 2, lettera a e articolo 5 comma 1 e comma 2 lettera c: l'installazione degli impianti di utilizzazione dell'energia elettrica quando le utenze sono alimentate a tensione superiore a 1000 V, inclusa la parte in bassa tensione); tale progettazione *esecutiva*, onere di eventuale altro professionista secondo la specifica competenza tecnica richiesta e incaricato nell'ambito dell'appalto integrato (progettazione ed esecuzione lavori), sarà redatta sulla base del progetto *definitivo*, specificando gli impianti in ogni loro aspetto, fornendo tutti gli elementi, le indicazioni ed i particolari costruttivi per la realizzazione degli impianti stessi e integrando le eventuali prescrizioni emerse in fase di autorizzazione e condivisione con il committente

Parte integrante della presente relazione di progetto *definitivo*, sono:

- planimetria intervento nuova cabina elettrica a servizio del laboratorio d2
- planimetria intervento cabina esistente
- percorso collegamento cabina esistente con nuova cabina a servizio del laboratorio d2
- schemi quadri elettrici MT
- schemi quadri elettrici bT
- schema funzionale intervento
- tabulati di calcolo
- computo metrico estimativo
- computo metrico
- elenco prezzi unitari

Il progetto *definitivo* è stato elaborato secondo la regola dell'arte in conformità alle vigenti normative con particolare riferimento alla norma CEI 64-8.

Il progetto *esecutivo* da realizzare, integrato con eventuali modifiche avvenute nel corso dei lavori (varianti) costituiranno la documentazione finale di progetto (As-Built). Al termine di lavori, previe

verifiche previste dalla normativa vigente, comprese quelle di funzionalità dell'impianto, l'impresa installatrice dovrà rilasciare la *dichiarazione di conformità* degli impianti elettrici (articolo 7 comma 1 del DM 37/08). la documentazione finale di progetto farà parte integrante di tale dichiarazione.

## 2 Dati di progetto

### 2.1 Dati di rete

*Alimentazione da DSO (Distribution System Operator)*

Tensione di esercizio:	9kV
Frequenza:	50Hz
Distribuzione:	3F
Sistema di neutro:	compensato
Corrente di guasto a terra:	$I_F=50A$
Tempo di eliminazione del guasto a terra:	$t_F>10s$
Corrente di cortocircuito trifase massima:	$I_k=16kA$

### **3 Classificazione dei luoghi e provvedimenti particolari**

I locali oggetto di intervento sono classificati dal punto di vista elettrico come luoghi ordinari; saranno rispettate in particolare le prescrizioni contenute nella parte 5 della norma CEI 64-8 in vigore edita nell'Agosto 2021.

In accordo con le prescrizioni contenute nella sezione 527 della CEI 64-8 si utilizzeranno ad abundantiam cavi conformi al regolamento CPR con classe di reazione al fuoco Cca-s1b,d1,a1 del tipo FG16(O)M16 0,6/1kV secondo quanto indicato nella tabella CEI UNEL 35324 e/o cavi del tipo FS17 secondo quanto indicato nella tabella CEI UNEL 35716.

Per le linee in media tensione si utilizzeranno cavi conformi al regolamento CPR con classe di reazione al fuoco con classe di reazione al fuoco Cca-s1b,d1,a1 del tipo RG26H1M16 12/20kV secondo quanto indicato nella tabella CEI UNEL 35334

#### 4 Analisi del carico

Quadro: [QGBT]						
N.	DENOMINAZIONE LINEA	P [kW]	Ib [A]	cosFi	Tens. [V]	FFFN
1	DINAMO LABORATORIO D2	600	1083	0,8	400	LLLN PE
2	SALA PROVE LABORATORIO C	400	722	0,8	400	LLLN PE
3	CDZ LABORATORIO D2	200	361	0,8	400	LLLN PE
4	UTENZE LFM LABORATORIO D2	100	181	0,8	400	LLLN PE
5	QUADRO QSA	5	8	0,9	400	LLLN PE
<b>Coefficiente di contemporaneità</b>		<b>0,45</b>				

- Potenza attiva installata: 1305kW
- Potenza assorbita: 608kW

## 5 Descrizione dell'intervento

L'intervento consta nell'adeguamento del quadro di media tensione esistente e nella realizzazione di una nuova cabina di trasformazione a servizio dei carichi del laboratorio D2 e del laboratorio C. In particolare, l'intervento è diviso funzionalmente su due "lotti" funzionali:

Nel primo "lotto" è previsto:

- L'adeguamento del quadro di media tensione esistente con la sostituzione dell'attuale Dispositivo Generale con un nuovo DG e Sistema di Protezione Generale (SPG) conforme alla norma CEI 0-16
- Il collegamento dal locale DSO del Distributore Energia Elettrica con il nuovo DG con cavi (*cavo di collegamento*) del tipo RG26H1M16 12/20kV di sezione 95mmq
- Il riposizionamento e la rifunzionalizzazione dello scomparto generale esistente, dopo la relativa sostituzione con il nuovo DG che svolgerà con la funzione di protezione della linea che alimenta la nuova cabina a servizio del laboratorio D2
- La nuova canalizzazione e linea elettrica in media tensione di collegamento in media tensione tra la cabina esistente e la nuova cabina di trasformazione con cavi del tipo RG26H1M16 12/20kV di sezione 50mmq
- Il quadro servizi ausiliari di cabina, UPS di cabina conforme alla CEI 0-16 ed i relativi collegamenti di potenza e di segnale
- Il nuovo quadro di media tensione all'interno della nuova cabina a servizio del laboratorio D2
- Il nuovo trasformatore P=800kVA

Nel secondo "lotto" è previsto:

- Il nuovo quadro generale di bassa tensione ed il relativo collegamento bT con il trasformatore
- Il quadro servizi ausiliari di cabina, UPS di cabina ed i relativi collegamenti di potenza e di segnale
- I quadri di rifasamento fisso e automatico ed i relativi collegamenti di potenza e di segnale con il quadro generale di bassa tensione
- L'impianto di illuminazione, prelievo energia, estrazione aria e servizi ausiliari a completamento della nuova cabina di trasformazione

### 5.1 Quadri di Media Tensione

I nuovi quadri di media tensione saranno realizzati con apparecchiature alternative totalmente prive di gas SF<sub>6</sub>, utilizzando una tecnologia Shunt Vacuum Interruption (SVI), che combina l'isolamento dielettrico in aria pura all'interruzione di archi elettrici tramite ampole in vuoto. L'aria ha un Global

Warming Potential (GWP) pari a zero, è sostenibile per l'ambiente ed è pensata per il futuro, libera da vincoli normativi e senza ulteriori costi nei processi di smaltimento. Con un potenziale di riscaldamento globale fino a 24.300 volte superiore all'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), l'esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>) è un potente gas ad effetto serra. Per questo motivo, è oggetto dei divieti introdotti dal nuovo Regolamento (UE) 2024/573 sull'utilizzo di gas fluorurati ad effetto serra e necessita di un attento recupero a fine vita per garantirne il corretto smaltimento.

Le caratteristiche elettriche principali sono:

- protezione arco interno sui 3 lati IAC AFLR 16kA x 1s con sfogo gas dall'alto
- 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 10 kV
- Frequenza nominale 50 Hz
- N° fasi 3
- Corrente nominale delle sbarre principali 630A
- Corrente nominale max delle derivazioni 630A
- Corrente nominale ammissibile di breve durata 16kA
- Corrente nominale di picco 40kA
- Potere di interruzione degli interruttori alla tensione nominale 16kA
- Durata nominale del corto circuito 1s
- Tensione nominale degli ausiliari 230 V

Il Dispositivo Generale DG della cabina esistente sarà costituito da 3 unità funzionali:

- **Scomparto Unità arrivo semplice in cavo**
  - IAC AFLR 16kA 1s Sfogo gas dall'alto
  - Verniciatura standard colore RAL 9003 goffrato (solo fronte)
  - Derivatore capacitivo e lampade presenza tensione tipo V3 Us da 10 a 14,5 kV
  - Cella bassa tensione da 375x450mm
  - Resistenza anticondensa 50W 220V 50Hz regolata da termostato e protetta da interruttore
  - 2 lampade di segnalazione Rosso = apparecchio chiuso + verde = apparecchio aperto
  - Interruttore automatico protezione circuiti aux
  - Toroide omopolare chiuso tipo CSH 160 Diametro = 160mm CEI 0-16 rapporto 100/1
- **Scomparto Dispositivo Generale DG**

- unità interruttore + sezionatore 24kV-16kA-630A
- IAC AFLR 16kA 1s Sfogo gas dall'alto
- Durata nominale corto circuito 1 s
- Sbarre omnibus 630A
- Verniciatura standard colore RAL 9003 goffrato (solo fronte)
- N°2 TA ARM3/N1F 100/5A 2.5VA 5P30 Ith25kAx1s
- Contatti ausiliari su interruttore (2NA+2NC+1CO)
- Blocco chiave tipo tubolare su interruttore a chiave libera in posizione di aperto
- Sganciatore di chiusura e relè anti-richiusura
- Conta-manovre per comando
- Comando interruttore con motore
- Interruttore con ciclo di operazioni standard (O-3mn-CO-3mn-CO)
- Sganciatore di apertura
- Comando sezionatore manuale a manovra dipendente
- Contatti ausiliari su IMS/SEZ (5Na/Nc) e ST (2Na/Nc)
- Blocco chiave su SEZ TERRA chiave libera in posizione di aperto
- Blocco chiave su SEZ TERRA chiave libera in posizione di chiuso
- Blocco chiave su IMS/SEZ chiave libera in posizione di aperto
- Blocco chiave su SEZ chiave libera in posizione di chiuso per unità interruttore
- Cella bassa tensione
- Resistenza anticondensa 50W 220V 50Hz regolata da termostato e protetta da interruttore
- 2 lampade di segnalazione Rosso = apparecchio chiuso + verde = apparecchio aperto
- Interruttore automatico protezione circuiti aux
- Relè a microprocessore tipo "Power Logic P3U30-5ABA1BBAA" - aux 24Vcc 16DI-8DO  
24Vca/cc RS485 -CEI 0-16

- **Scomparto Unità risalita sbarre**

- 24kV-16kA-630A
- IAC AFLR 16kA 1s Sfogo gas dall'alto
- Verniciatura standard colore RAL 9003 goffrato (solo fronte)
- Senza presenza di tensione
- Cella bassa tensione da 375x450mm 1

Il Quadro di media tensione della nuova cabina sarà costituito da 2 unità funzionali:

• **Scomparto Unità arrivo semplice in cavo**

- IAC AFLR 16kA 1s Sfogo gas dall'alto
- Verniciatura standard colore RAL 9003 goffrato (solo fronte)
- Derivatore capacitivo e lampade presenza tensione tipo V3 Us da 10 a 14,5 kV
- Cella bassa tensione da 375x450mm
- Resistenza anticondensa 50W 220V 50Hz regolata da termostato e protetta da interruttore
- 2 lampade di segnalazione Rosso = apparecchio chiuso + verde = apparecchio aperto
- Interruttore automatico protezione circuiti aux
- Toroide omopolare chiuso tipo CSH 160 Diametro = 160mm CEI 0-16 rapporto 100/1

- **Scomparto Protezione Trasformatore**

- unità interruttore + sezionatore 24kV-16kA-630A
- IAC AFLR 16kA 1s Sfogo gas dall'alto
- Durata nominale corto circuito 1 s
- Sbarre omnibus 630A
- Verniciatura standard colore RAL 9003 goffrato (solo fronte)
- N°2 TA ARM3/N1F 50/5A 2.5VA 5P30 Ith25kAx1s
- Contatti ausiliari su interruttore (2NA+2NC+1CO)
- Blocco chiave tipo tubolare su interruttore a chiave libera in posizione di aperto
- Sganciatore di chiusura e relè anti-richiusura
- Conta-manovre per comando
- Comando interruttore con motore
- Interruttore con ciclo di operazioni standard (O-3mn-CO-3mn-CO)
- Sganciatore di apertura
- Comando sezionatore manuale a manovra dipendente
- Contatti ausiliari su IMS/SEZ (5Na/Nc) e ST (2Na/Nc)
- Blocco chiave su SEZ TERRA chiave libera in posizione di aperto
- Blocco chiave su SEZ TERRA chiave libera in posizione di chiuso
- Blocco chiave su IMS/SEZ chiave libera in posizione di aperto
- Blocco chiave su SEZ chiave libera in posizione di chiuso per unità interruttore
- Cella bassa tensione
- Resistenza anticondensa 50W 220V 50Hz regolata da termostato e protetta da interruttore
- 2 lampade di segnalazione Rosso = apparecchio chiuso + verde = apparecchio aperto
- Interruttore automatico protezione circuiti aux

- Relè a microprocessore tipo “Power Logic P3U30-5ABA1BBAA” - aux 24Vcc 16DI-8DO 24Vca/cc RS485

Le tarature della protezione 50, 51 e 51N sono riportate nei tabulati di calcolo e con soglie di intervento minime in linea con le minime prescritte dalla CEI 0-16. In fase di allaccio i valori di soglia andranno adeguati in funzione dei dati di rete forniti dal DSO.

## 5.2 *Trasformatore*

Il trasformatore sarà installato in box lamiera metallica zincata di spessore 15-20/10 avrà le caratteristiche di seguito indicate:

- Potenza: 800kVA
- Frequenza: 50Hz
- Tensione d'impulso di picco 1,2/50 $\mu$ s: 125kV
- Avvolgimento MT ed avvolgimento BT inglobato in resina epossidica classe F1, resistente alle variazioni climatiche C2, resistente all'inquinamento E2
- Raffreddamento in aria naturale AN
- Avvolgimento MT in bandelle di alluminio
- Avvolgimento BT in lastre di alluminio
- Classe termica degli avvolgimenti MT/BT: F/F
- Tensione di isolamento: 24kV
- Tensione primaria: 9-20kV
- Commutatore per la regolazione della tensione nominale MT 9-20kV  $\pm 2 \times 2,5\%$
- Tensione nominale BT tra le fasi 400 V, tra le fasi ed il neutro 231V a 50 Hz
- Schema di collegamento Dyn 11 con neutro accessibile
- Tensione di corto circuito 6%
- Perdite a vuoto: AA0 (<1170W)
- Perdite a carico: Ak (<8000W)
- Corrente a vuoto I<sub>0%</sub>: 1%
- Golfari di sollevamento
- Anelli di traino
- Rulli di scorrimento orientabili
- Due morsetti di terra
- Centralina termometrica digitale a 4 sonde con visualizzazione della temperatura delle tre fasi e del neutro determinazione del set point di allarme e sgancio

- Termoresistenze PT100 (una per ogni avvolgimento).

L'unità protezione trasformatore del QMT sarà collegata al trasformatore tramite tre cavi unipolari tipo RG26H1M16 12/20kV 1x50mm<sup>2</sup>

### 5.3 *UPS di cabina esistente e nuova cabina di trasformazione*

Per la continuità di servizio e l'efficienza delle protezioni dell'impianto di utente, in particolare per il corretto funzionamento del sistema di protezione generale SPG ed il comando di apertura dell'interruttore generale DG sarà previsto

- Per la cabina esistente:
  - un UPS da 1kVA doppia conversione aut. 70min (>1h in conformità all'art. 8.5.12.4 della CEI 0-16) in grado di garantire, in mancanza dell'alimentazione ordinaria di bassa tensione, il funzionamento dei servizi ausiliari essenziali. Il comando di apertura dell'interruttore generale DG avverrà con bobina a mancanza di tensione alimentata anch'essa dall'UPS
- Per la nuova cabina:
  - un UPS da 2kVA aut. 30min doppia conversione in grado di garantire, in mancanza dell'alimentazione ordinaria di bassa tensione, il funzionamento dei servizi ausiliari essenziali.

Gli UPS saranno dotati internamente di un dispositivo di interfaccia che ne assicuri il sezionamento in caso di guasto, o di funzionamento anomalo, che comporti l'erogazione di energia nella rete pubblica su ramo di bypass statico. Per il monitoraggio e la segnalazione di avaria dei servizi ausiliari l'UPS sarà equipaggiato da contatti puliti per:

- segnalazione funzionamento da rete
- segnalazione funzionamento da batteria
- segnalazione batteria in riserva
- avaria

Fuori il locale della nuova cabina sarà installato un pulsante di sgancio con lampada verde di segnalazione integrità circuito, che agirà direttamente sulle bobine di apertura degli scomparti generali dei QMT. I contatti di allarme alta temperatura trafo (80°C) delle centraline termometriche azioneranno le segnalazioni ottiche acustiche sul quadro ausiliario e fuori cabina; i contatti di scatto (120°C) agiranno direttamente sulla bobina di apertura dello scomparto protezione trafo.

Dal 2016 il Distributore addebita l'energia reattiva media mensile prelevata nelle fasce F1 e F2 che supera il 33% dell'energia attiva; con lo sfasamento aumenta, infatti, la corrente necessaria per fornire una determinata potenza attiva e aumentano con il quadrato della corrente le perdite di linea. Per compensare l'energia reattiva prelevata in eccedenza si prevederà l'installazione di quadri di rifasamento fissi e

automatici in modo da riportare il cos $\phi$  a 0,95 nel punto di connessione alla rete

Per rifasare la potenza reattiva che il trasformatore assorbe per la magnetizzazione del nucleo, costante e percentuale della corrente a vuoto del trasformatore stesso sarà installato un quadro di rifasamento fisso.

#### **5.4 Quadri di rifasamento fisso**

Il quadro di rifasamento fisso sarà installato a valle del trasformatore e rispettivamente a monte dell'interruttore generale presente sul quadro generale in modo da rifasare anche quando il trasformatore non è caricato. Con una corrente a vuoto percentuale  $I_0\%=1$  occorre una batteria di condensatori di 7,9kVAr a 400V. A causa del deterioramento precoce in presenza di armoniche e sovratensioni si utilizzeranno condensatori con tensione nominale sovradimensionata. La potenza reattiva assorbita da un condensatore alimentato da una tensione ridotta si riduce però con il quadrato del rapporto delle tensioni. Pertanto, si utilizzerà una batteria di rifasamento fisso da 20kVAr con tensione nominale a 450V a cui corrisponderà una potenza a 15,8kVA a 400V.

I quadri di rifasamento fisso saranno conformi alle IEC 61439 e IEC 61921 ed avranno caratteristiche di seguito indicate:

- Carpenteria di lamiera di acciaio verniciata con polveri epossidiche RAL 7035
- Condensatori monofase in polipropilene metallizzato, caratterizzati da elevata attitudine a poter lavorare in impianti caratterizzati da elevate correnti armoniche.
- Potenza reattiva  $Q_n$ : 20kVAr
- Tensione nominale: 450 V
- Tensione di rete (impiego): 400 V
- Frequenza nominale: 50 Hz
- Corrente nominale: 22,8A
- Corrente nominale sezionatore: 40A
- Tensione di isolamento: 690 V
- Ventilazione: Naturale
- Grado di protezione: IP30
- Servizio: Continuo
- Classe temperatura quadro: -5 +40 °C
- Alimentazione: 3F + PE
- Ingresso cavi: dall'alto
- Collegamenti interni: FS17

- Dispositivi di scarica: Previsti su ogni batteria
- Fusibili: NH-00 GL

Sarà altresì prevista l'installazione di un quadro di rifasamento automatico in grado di rifasare la potenza reattiva del carico e della reattanza degli avvolgimenti del trasformatore.

La potenza reattiva stimata necessaria per il funzionamento dell'impianto è di circa 449kVAr (essendo il cosφ generale dell'impianto pari a circa 0,8). La potenza reattiva assorbita dell'impianto, per avere un cosφ di 0,95, dovrà risultare pari a circa 197kVAr pertanto è necessaria una batteria di rifasamento di circa  $Q_c=252\text{kVAr}$

A causa del deterioramento precoce in presenza di armoniche e sovratensioni si utilizzeranno condensatori con tensione nominale sovradimensionata. La potenza reattiva assorbita da un condensatore alimentato da una tensione ridotta si riduce però con il quadrato del rapporto delle tensioni. Pertanto, si utilizzerà, un quadro di rifasamento automatico con potenza nominale  $Q_n=320\text{kVA}$  con tensione nominale a 450V pari a  $Q=252\text{kVA}$  con tensione 400V.

### **5.5 Quadri di rifasamento automatico**

Il quadro di rifasamento automatico sarà conforme alle IEC 61439 e IEC 61921 ed avrà le caratteristiche di seguito indicate:

- Carpenteria di lamiera di acciaio verniciata con polveri epossidiche RAL 7035
- Condensatori monofase in polipropilene metallizzato, caratterizzati da elevata attitudine a poter lavorare in impianti caratterizzati da elevate correnti armoniche.
- Sezionatore omnipolare con blocco
- Contattori adatti per carichi capacitivi dotati di dispositivi di limitazione della corrente di inserzione con alimentazione a 230 V, 50-60 Hz
- Potenza reattiva  $Q_n$ : 320kVAr
- Potenza batteria: 2x40 + 3x80kVAr
- Numero di gradini: 8
- Tensione nominale: 450 V
- Tensione di rete (impiego): 400 V
- Frequenza nominale: 50 Hz
- Corrente nominale: 429A
- Corrente nominale sezionatore: 800A
- Tensione di isolamento: 690 V
- Ventilazione: Naturale

- Grado di protezione: IP54
- Servizio: Continuo
- Classe temperatura quadro: -5 +40 °C
- Alimentazione: 3F + PE
- THDI MAX-C %  $\leq$  85%
- THDI%  $\leq$  27%
- Ingresso cavi: dall'alto
- Collegamenti interni: FS17
- Dispositivi di scarica: Previsti su ogni batteria
- Fusibili: NH-00 GL
- Corrente di corto circuito 50kA (condizionato da protezione a monte)
- Regolatore digitale a microprocessore con auto riconoscimento del verso e della posizione del TA, con seguente riduzione delle operazioni dell'operatore
  - o Alimentazione:
    - Tensione nominale: 220/240 V – 380/415 V
    - Frequenza: 45 ÷ 66 Hz
    - Potenza assorbita: 2.5 W – 3 VA
  - o Ingresso di corrente:
    - Corrente nominale: 5 A (1 A programmabile)
    - Autoconsumo: < 1.8 VA
  - o Uscite relè:
    - Numero di uscite relè: 5 + 1 comune
    - Tipo di contatto: NA (normalmente aperto)
    - Massima tensione di impiego: 440 VAC
    - Portata nominale: AC1 6 A – 250 V~, AC15 1.5 A - 440 V~
  - o Allarmi:
    - Sovratensione e sovracorrente
    - Sottotensione e sottocorrente
    - Massima Distorsione Armonica in corrente (THDi) e in tensione (THDv)
    - Sovratemperatura
    - Mancato rifasamento (basso cosfi)
  - o Condizioni ambientali di funzionamento:
    - Temperatura di impiego: -20 ÷ 70 °C

- Temperatura di stoccaggio:  $-30 \div 80$  °C
- Tensione di isolamento: 600 Vac
- Umidità relativa: < 80%
- Contenitore:
  - Formato: 96x96 da incasso
  - Grado di protezione: IP51 sul frontale – IP20 sui morsetti
  - Peso: 350g
- Interfaccia RS485:
  - Modbus-RTU
- Interfaccia radio frequenza:
  - Frequenza portante: 868 MHz
  - Protocollo: Modbus-RTU
- Interfaccia NFC:
  - Scambio dati con smartphone via antenna dietro al display tramite App dedicata
- Conformità alle norme:
  - IEC/EN 61010-1
  - IEC/EN 61000-6-2
  - IEC/ EN 61000-6-4

## 5.6 **Quadro generale bassa tensione**

Nella cabina sarà realizzato il quadro generale di bassa tensione QGBT in forma 2b (accessibile frontalmente), con struttura in lamiera sendzimir verniciata con polvere in poliester colore RAL9002, pannelli di chiusura in laminato a freddo, resistenza meccanica secondo norma IK10 e grado di protezione IP31. Il quadro sarà corredato di morsetti di varie sezioni, supporti, separatori, accessori di identificazione dei conduttori interni e dei circuiti, montaggio e cablaggio apparecchiature modbus, sbarra di terra, sistema sbarre in alluminio a profilo continuo corredato di relativi supporti inferiori ed intermedi, punti di giunzione realizzati in rame, conduttori di cablaggio tipo FS17.

Sarà comprensivo di ogni onere annesso e connesso per rendere il tutto perfettamente funzionante e realizzato in conformità alle norme CEI EN 61439-2 e CEI IEC/TR 63196. Al termine dei lavori l'installatore dovrà rilasciare dichiarazione di conformità del quadro elettrico alla norma CEI EN 61439-1 e CEI EN 61439-2 completa di tutti i suoi allegati obbligatori. Dovrà essere inoltre fornito il calcolo delle sovratemperature.

Il quadro conterrà montate e cablate le apparecchiature come riportato sugli schemi elettrici allegati.

### **5.7 Quadri servizi ausiliari cabina esistente**

Nella cabina esistente sarà realizzato, in carpenteria isolante e g.d.p. IP65 un quadro servizi ausiliari QAUX dal quale sarà energizzato l'UPS conforme alla CEI 0-16, che garantisce, in mancanza dell'alimentazione ordinaria, il funzionamento del Sistema di Protezione Generale (SPG); nel QAUX saranno alloggiate, montate e cablate, le apparecchiature elettriche come riportato sugli schemi elettrici allegati.

### **5.8 Quadri servizi ausiliari cabina esistente**

Nella nuova cabina sarà inoltre realizzato, in carpenteria metallica e g.d.p. IP 55, il quadro servizi ausiliari di cabina QSA. Dal QSA sarà energizzato l'UPS dei servizi di cabina, che garantisce, in mancanza dell'alimentazione ordinaria, il funzionamento delle centraline termometriche e dei servizi ausiliari essenziali del QMT e QGBT; nel QSA saranno alloggiate, montate e cablate, le apparecchiature elettriche come riportato sugli schemi elettrici allegati.

### **5.9 Interruttori automatici aperti fino a 2000A**

Gli interruttori automatici aperti fino a 2000A dovranno avere le seguenti caratteristiche elettriche fondamentali:

- L'interruttore aperto dovrà essere dotato di un'unità di controllo che offre il livello appropriato di prestazioni di protezione per adattarsi all'applicazione. Tutte le unità di controllo dovranno essere proposte nella versione che fornisce la misura in standard e le funzioni di comunicazione.
- Tensione nominale di impiego ( $U_e$ ) di 690 V, una tensione nominale di isolamento ( $U_i$ ) di 1000 V (CA 50/60 Hz) e una tensione nominale di tenuta ad impulso ( $U_{imp}$ ) di 12 kV.
- Le prestazioni in termini di potere di interruzione dell'interruttore aperto dovranno essere disponibili per la Categoria B in accordo alla norma CEI EN 60947-2. La prova dovrà essere effettuata con una prestazione di interruzione pari a quella di servizio ( $I_{cs}$ ) e al potere di interruzione estremo ( $I_{cu}$ ) fino a 85kA.
- Il potere di interruzione nominale estremo ( $I_{cu}$ ) di ogni interuttore aperto dovrà essere almeno pari al valore di corrente di cortocircuito ( $I_{sc}$ ) nel punto di installazione nel circuito elettrico.
- La gamma degli interruttori aperti dovrà offrire diversi livelli di potere di interruzione  $I_{cu}$  fino a 150kA @415V per soddisfare l'applicazione specifica.
- L'interruttore aperto dovrà essere disponibile nella versione fissa o estraibile, con la configurazione 3 poli e 4 poli. Per le versioni estraibili, un dispositivo di sicurezza dovrà garantire un'apertura anticipata per prevenire l'inserzione e l'estrazione di un interuttore chiuso.

- Il meccanismo di funzionamento dovrà essere “aperto” /“chiuso”/“aperto a molla ad accumulo di energia”. Il tempo di chiusura dovrà essere minore o uguale a 70ms, per correnti nominali < 4000 A.
- Dovrà poter essere alimentato da monte o da valle, senza ridurre le prestazioni.
- L’interruttore aperto dovrà essere testato per condizioni atmosferiche estreme, in accordo alla norma IEC 60068-2-1 (freddo secco) a – 40 °C, IEC 60068-2-2 (caldo secco) a +85 °C e IEC 60068-2-30 (caldo umido) a +55 °C con umidità relativa 95%
- L’interruttore aperto dovrà essere testato e conforme alle definizioni date dalla norma IEC 60721-3-3 sulle vibrazioni, urti e scosse durante il funzionamento con un attestato di livello di severità 3M4.
- La gamma di interruttori aperti dovrà includere interruttori-sezionatori (derivati dagli interruttori automatici) in accordo alla norma IEC 60947-3, e interruttori-sezionatori usati come interruttori automatici non protetti con un relè di protezione esterno. Per questi ultimi la capacità di interruzione dell’interruttore-sezionatore dovrà essere testata e certificata in accordo alla IEC 60947-2.
- In questo caso, le seguenti caratteristiche dovranno essere riportate sulla targa del prodotto: Icw e Icm in accordo alla IEC 60947-3 e Icu, Ics, Icw per la IEC 60947

Gli interruttori aperti dovranno essere dotati di un’unità di controllo che offre il livello appropriato di prestazioni per adattarsi all’applicazione. Le caratteristiche principali dell’unità di controllo sono le seguenti:

- Le unità di controllo non dovranno incrementare gli ingombri degli interruttori automatici.
- Le unità di controllo dovranno essere regolabili e dovranno avere la tracciabilità dei cambiamenti delle impostazioni e la regolazione fine dovrà essere disponibile senza l’utilizzo di uno strumento specifico.
- Le unità di controllo dovranno offrire come standard due possibili regolazioni per le protezioni LSIG.
- Dovrà essere possibile regolare le protezioni senza alcun alimentatore o quando l’alimentazione principale è spenta.
- L’unità di controllo elettronica dovrà essere dotata di memoria termica.
- Le seguenti funzioni di monitoraggio dovranno essere parte integrante dell’unità di controllo elettronica:
  - o LED di preallarme: per l’indicazione di carico superiore al 90 % della soglia impostata Ir
  - o LED di allarme: per l’indicazione di carico superiore al 105 % della soglia impostata Ir

- Le unità di controllo dovranno avere una porta di comunicazione/test per i controlli sul funzionamento elettronico e del meccanismo di sgancio in conformità con gli standard di mercato (USB), evitando la necessità di un ulteriore strumento specifico del produttore.
- Le unità di controllo dovranno avere la comunicazione wireless come standard per l'impostazione la lettura e la regolazione delle impostazioni di protezione, conformi agli standard di mercato (NFC, BLE) compatibili coi dispositivi digitali, evitando la necessità di un ulteriore strumento specifico del produttore.

L'unità di controllo dell'interruttore automatico dovrà poter garantire diverse tipologie di protezione:

- Protezione base (LI)
- Protezione selettiva (LSI)
- Protezione selettiva + guasto a terra (LSIG) o differenziale (LSIV)

L'unità di controllo dovrà rendere disponibili le misure (inclusa l'energia), qualunque sia il tipo di protezione (LI, LSI, LSIG, LSIV).

L'interruttore automatico dovrà avere la misura integrata in Classe 1 di energia e potenza attiva, in conformità con la definizione di PMD-DD, in accordo alla norma CEI EN 61557-12. L'unità di controllo dovrà offrire la possibilità di aggiornare le proprie funzioni di misura attraverso la modularità digitale utilizzando il PC (senza richiedere ulteriori moduli hardware dedicati). L'interruttore automatico dovrà avere le misure integrate con la misura di potenza attiva in Classe 1 per la definizione di molteplici applicazioni di misura in accordo alla norma IEC 60364-8-1, per consentire lo sviluppo di un piano di misura.

L'unità di controllo dovrà offrire la possibilità di aggiornare le proprie funzioni avanzate di protezione, misura e diagnostica attraverso la modularità digitale, utilizzando il PC (senza richiedere ulteriori moduli hardware dedicati). L'unità di controllo e la modularità dell'interruttore automatico dovranno consentire l'aggiornamento dell'unità di controllo stessa quando l'interruttore è chiuso, garantendo la continuità del servizio nei locali tecnici dell'utente, senza compromettere la protezione LSIGV durante l'aggiornamento di questi moduli.

Le unità di controllo elettroniche con capacità di misura e comunicazione dovranno offrire la funzione di assistente al funzionamento con funzionalità quali: storico degli sganci (tipo di guasto, data e ora), preallarme e sgancio dovrebbero attivare i relè d'uscita, registro degli eventi con discriminazione per famiglia di evento (protezione, misura, manutenzione...). Queste funzioni e indicatori dovranno essere disponibili sullo schermo, e allo stesso tempo, a livello locale dentro il locale tecnico con comunicazione wireless e in cavo o impostabili attraverso un PC o dispositivo digitale.

Le unità di controllo elettroniche dovranno inoltre fornire una diagnostica in tempo reale sulle

funzioni principali dell'interruttore automatico per i controlli condizionali:

- Indicatori di manutenzione sulle funzioni monitorate dall'interruttore automatico (controlli di continuità elettrica sulle bobine, tempo di chiusura dell'interruttore automatico, tempo di carica del motore elettrico, contatore chiusure e aperture dell'interruttore automatico, cronodatazione dei tempi di apertura e chiusura nel registro dello storico).
- Indicatori di manutenzione sulle funzioni monitorate dall'unità di controllo: (continuità dei sensori interni (trasformatori di corrente), disconnessione dei sensori esterni (trasformatore di corrente esterno sul neutro, sensore dispersione di terra e moduli I/O), differenziazione guasto interno (ASIC, connessione sensori, batteria interna, MITOP), guasto nella comunicazione wireless (Bluetooth [BLE] e Ethernet).

Tutti gli indicatori di manutenzione dovranno essere concentrati e disponibili per mezzo di un semplice indicatore "LED di servizio" per informare in maniera semplice e veloce l'utente sullo stato dell'interruttore automatico. Queste funzioni e indicazioni dovranno essere disponibili con la comunicazione in cavo e wireless o attraverso un PC o dispositivo digitale, includendo lo stato dell'indicatore.

L'interruttore automatico dovrà essere dotato di un'interfaccia di comunicazione che rende possibile monitorare e controllare l'unità di protezione con le informazioni sullo stato, per fornire informazioni sulla manutenzione usando un protocollo aperto come Modbus TCP/IP.

L'interfaccia di comunicazione comprende:

- Posizione ON/OFF (O/F) / indicazione di sgancio (SD) / indicazione di sgancio per guasto (SDE).
- Gestione telaio: posizione di inserito / estratto / prova

I seguenti comandi dovranno essere possibili in accordo con la norma CEI EN 60947-5-1:

- apertura / chiusura / riarmo
- Quando le unità di controllo avanzate vengono utilizzate, le seguenti informazioni dovranno essere accessibili:
  - Valori istantanei e medi, valori massimi e minimi, misura dell'energia, corrente e potenza media, qualità dell'energia.
  - Impostazioni di protezione e allarme
  - Cronodatazione dello sgancio, storico allarmi e tabelle degli eventi
  - Indicatori di manutenzione.
  - Raccolta degli ingressi digitali ed analogici e controllo dell'uscita

Tutti gli ausiliari elettrici, incluso il meccanismo di caricamento della molla del motore elettrico, dovranno essere adattabili in sito senza regolazione né la necessità di ulteriori strumenti (ad eccezione di

un cacciavite). Essi dovranno essere collocati in uno scomparto che, nelle normali condizioni di carico, non ha componenti metallici in tensione dai poli principali che sono ad esso esposti.

Bobine:

- L'interruttore dovrà essere dotato di una bobina di chiusura, una bobina di apertura e una bobina addizionale o di minima tensione
- Le bobine dovranno essere progettate per applicazioni che prevedono un servizio continuativo.
- Le bobine dovranno prevedere l'opzione che consente di diagnosticare il loro stato e cablaggio
- Tensione di alimentazione ausiliaria della bobina:
  - o CA: 24, 48, 100/130, 200/250, 277, 380/480 VCA
  - o CC: 12, 24/30, 48/60, 100/130, 200/250 VCC
- Tempo di apertura con bobina di apertura: 50ms +/- 10ms
- Tempo di chiusura con bobina di chiusura: 50ms +/- 10ms

Motore elettrico per la carica della molla

- Tensione di alimentazione ausiliaria del motore elettrico:
  - o CA: 24 48 100/130 200/250 277 380/415 400/440 VCA
  - o CC: 12 24/30 48/60 100/130 200/250 VCC
- Tempo di carica:  $\leq 3$  sec
- Frequenza di funzionamento:  $\leq 3$  cicli/min

### **5.10 Interruttori automatici e non automatici scatolati da 16 a 800 A**

Gli interruttori automatici e non automatici scatolati da 16 a 800 A dovranno avere le seguenti caratteristiche elettriche fondamentali:

- essere equipaggiati con uno sganciatore che offre il livello adeguato di prestazioni per adattarsi all'applicazione. Le versioni elettroniche dovranno fornire una protezione estremamente precisa con funzioni di misura, assistenza operativa e comunicazione.
- **NORME DI RIFERIMENTO**
  - o CEI EN 60947-1, -2 e -3: Apparecchiature a bassa tensione
  - o CEI EN 60947-2, Allegato B: Apparecchiature a bassa tensione
  - o CEI EN 60664-1: Coordinamento dell'isolamento per le apparecchiature nei sistemi a bassa tensione
  - o CEI EN 61000-4-1: Compatibilità elettromagnetica (EMC)
  - o CEI EN 61557-12: Sicurezza elettrica nei sistemi di distribuzione a bassa tensione fino a 1000 V CA e 1500 V CC
  - o CEI EN 60068-2: Prove climatiche e meccaniche fondamentali

- IEC 755: Requisiti generali per i dispositivi di protezione azionati da protezione differenziale

L'organizzazione del sito di produzione dovrà essere certificata in conformità alle norme ISO 9002 e ISO 14001.

Gli interruttori scatolati dovranno essere progettati secondo la progettazione ecocompatibile in conformità alla norma ISO 14062. In particolare, i materiali utilizzati dovranno essere privi di alogeni.

Gli interruttori scatolati dovranno essere progettati per un facile smontaggio e riciclaggio a fine vita e dovranno essere conformi alle direttive ambientali RoHS e RAEE.

Gli interruttori automatici scatolati dovranno avere le seguenti caratteristiche elettriche fondamentali:

- Tensione nominale di isolamento ( $U_i$ )  $\leq$  800 V CA
- Tenuta nominale di tenuta ad impulso ( $U_{imp}$ ) = 8 kV
- Tensione nominale di impiego ( $U_e$ )  $\leq$  690 V CA

Il potere di interruzione nominale estremo ( $I_{cu}$ ) di ciascun interruttore scatolato dovrà essere almeno uguale al valore della corrente di cortocircuito nel punto di installazione dell'impianto elettrico.

La gamma di interruttori scatolati dovrà offrire diversi livelli di potere di interruzione ( $I_{cu}$  e  $I_{cs}$ ) fino a 200 kA a 440 V CA o 100 kA a 690 V CA per adattarsi all'applicazione.

Gli interruttori scatolati dovranno essere disponibili nelle versioni fisso, rimovibile ed estraibile, 3 e 4 poli. Per le versioni rimovibile ed estraibile, un dispositivo di sicurezza dovrà garantire lo sgancio prima della connessione e disconnessione di un interruttore in posizione di chiuso.

Gli interruttori scatolati fino a 160 A dovranno essere installabili su guida DIN senza alcun accessorio aggiuntivo.

Gli interruttori scatolati dovranno essere progettati sia per l'installazione in posizione orizzontale sia verticale, senza alcun declassamento delle prestazioni. Dovrà essere possibile alimentare gli interruttori scatolati sia da monte sia da valle.

Il polo di interruzione dovrà essere realizzato con un doppio contatto rotativo per limitare notevolmente l'energia specifica passante nell'impianto elettrico.

La durata elettrica degli interruttori scatolati dovrà essere almeno uguale a 3 volte il valore minimo richiesto dalla norma CEI EN 60947-2.

Gli interruttori dovranno essere dotati di QR code per l'accesso alle caratteristiche ed alla documentazione del prodotto.

Gli interruttori scatolati dovranno comprendere un dispositivo progettato per far sganciare l'interruttore in caso di correnti di cortocircuito di valore elevato. Questo dispositivo dovrà essere indipendente dallo sganciatore magnetotermico o elettronico. L'interruzione dovrà essere eseguita in meno

di 10ms per correnti di cortocircuito superiori a 25 In.

Gli interruttori scatolati dovranno essere equipaggiati con sganciatori magnetotermici o elettronici al fine di garantire la protezione contro i sovraccarichi, cortocircuiti, guasti a terra e guasti differenziali.

Gli sganciatori dovranno essere facilmente intercambiabili.

Gli sganciatori magnetotermici (da 16 a 250 A) dovranno offrire: protezione termica regolabile, protezione magnetica fissa per correnti nominali fino a 200 A e regolabile per correnti nominali superiori a 200 A.

Gli sganciatori elettronici dovranno essere dotati di memoria termica.

Le seguenti funzioni di monitoraggio dovranno essere parte integrante degli sganciatori elettronici:

- 2 LED per l'indicazione del carico, uno acceso sopra il 90% di  $I_r$  e l'altro acceso sopra il 105% di  $I_r$
- Un connettore di test per i controlli sul funzionamento dell'elettronica e del meccanismo di sgancio mediante un dispositivo esterno.

Gli sganciatori elettronici degli interruttori scatolati dovranno essere dotati di un autotest per il controllo permanente del collegamento tra lo sganciato, i trasformatori di corrente e l'attuatore. L'autotest dovrà avere una logica positiva e dovrà essere visibile attraverso il lampeggio di un LED verde nel caso in cui l'autotest sia verificato correttamente e lo spegnimento del LED nel caso in cui l'autotest abbia esito negativo.

Gli sganciatori elettronici per applicazioni standard dovranno offrire: protezione Lungo ritardo (L) regolabile, protezione Corto ritardo (S) regolabile con temporizzazione fissa, protezione Istantanea (I) fissa e protezione differenziale (R).

La protezione differenziale dovrà essere integrata negli sganciatori elettronici, quando  $U \leq 440$  V CA, con la possibilità di regolazione della soglia  $I\Delta n$  e temporizzazione  $\Delta t$ . L'indicazione del guasto differenziale è visualizzabile sul fronte dello sganciato. In caso di necessità, dovrà essere possibile disattivare la protezione differenziale.

Gli sganciatori elettronici per protezione avanzata o con funzioni di misura e comunicazione dovranno offrire: protezione Lungo ritardo (L) regolabile in soglia e temporizzazione, protezione Corto ritardo (S) regolabile in soglia e temporizzazione, protezione Istantanea (I) regolabile.

Le seguenti protezioni aggiuntive dovranno essere disponibili in base all'applicazione dell'interruttore scatolato:

- Protezione Guasto a terra (G): regolabile fino a 16 A con possibilità di disattivazione
- Protezione differenziale (R): integrata negli sganciatori elettronici con protezioni LSI, quando  $U \leq 440$  V CA, regolabile in soglia e temporizzazione con possibilità di disattivazione.

- Questi sganciatori elettronici dovranno offrire le misure senza moduli aggiuntivi.
- Le grandezze misurate dovranno essere:
- Correnti (fasi, neutro,  $I_{\Delta n}$ , valori medi, valori massimi), tensione, potenza, energia, tasso di distorsione armonico totale in corrente e tensione.
- La precisione dell'intero sistema di misura, inclusi i TA, dovrà essere: corrente = Classe 1 in conformità alla norma CEI EN 61557-12, corrente differenziale = 10% di  $I_{\Delta n}$  (5 mA min per  $I_n =$  da 100 a 250 A, 50 mA min for  $I_n =$  da 400 a 570 A), tensione = 0,5%, potenza ed energia = Classe 2 in conformità alla norma CEI EN 61557-12.
- I trasformatori di corrente tipo Rogowski dovranno essere utilizzati per assicurare misure precise da correnti basse fino a correnti elevate.
- Le funzioni di protezione dovranno essere gestite in modo indipendente dalle funzioni di misura mediante un circuito integrato (ASIC) dedicato.
- Le misure dovranno essere visualizzate sull'interruttore stesso o su un sistema a distanza mediante la comunicazione Modbus o Ethernet. Oltre a queste soluzioni, dovrà essere possibile collegare un display locale.

Questi sganciatori elettronici dovranno offrire delle funzioni di assistenza operativa: indicazione del tipo di guasto, corrente interrotta, archivio degli eventi, allarmi e sganci, archivio dedicato per il test periodico della protezione differenziale.

L'utente dovrà essere in grado di configurare degli allarmi basati sulle misure (I,  $I_{\Delta n}$ , U, F, P, Q, S, THD,  $\cos\phi$  (Fattore di potenza), Imedia, Pmedia) o sui contatori. Gli allarmi dovranno essere cronodati e possono attivare un'uscita digitale.

Questi sganciatori elettronici dovranno fornire degli indicatori di manutenzione: contatori di funzionamento, allarmi e sganci, contatore delle ore di funzionamento, usura dei contatti e profilo di carico.

Queste funzioni ed indicatori dovranno essere disponibili su un display locale, a distanza tramite la comunicazione o un applicativo su PC.

Dovrà essere disponibile un unico software per tutti gli sganciatori elettronici per: visualizzare e configurare i parametri dello sganciatore, creare e salvare le impostazioni, impostare data e ora, visualizzare gli archivi degli allarmi e sganci.

Gli interruttori scatolati dotati di blocco Non Automatico (o interruttori di manvora-sezionatori) nella posizione di aperto dovranno soddisfare tutte le prescrizioni specificate per un sezionatore e quindi dovranno essere conformi alle norme IEC 60947-1, 2 e 3. Questi dispositivi assicurano, come interruttore, l'interruzione della corrente e, come sezionatore, l'isolamento dei circuiti. Gli interruttori di manvora sezionatori di tipo scatolato dovranno rispettare i seguenti requisiti:

- Gli interruttori di manovra-sezionatori presenteranno il sezionamento visualizzato (secondo la norma IEC 60947-3)
- Gli interruttori di manovra-sezionatori dovranno avere una tensione nominale di tenuta ad impulso di 8 kV
- Gli interruttori di manovra-sezionatori dovranno avere una tensione nominale di isolamento di 690 V CA (50/60 Hz)
- Gli interruttori di manovra-sezionatori da 50 a 630 A dovranno essere autoprotetti con uno sganciatore magnetico integrato

Gli interruttori scatolati dovranno essere equipaggiati in modo semplice di un'interfaccia di comunicazione Modbus TCP/IP o Modbus RS485.

Qualunque sia lo sganciatore, dovranno essere accessibili le seguenti informazioni: posizione aperto/chiuso, segnalazione di sganciato (es. per bobina di sgancio o per guasto elettrico). Dovranno essere possibili i seguenti comandi: apertura, chiusura e riarmo.

Quando si utilizzano sganciatori elettronici per protezione avanzata, dovranno essere accessibili le seguenti informazioni: valori istantanei, medi, minimi e massimi, misura dell'energia, corrente e potenza media, qualità dell'energia, impostazioni di protezione ed allarmi, archivi cronodati degli allarmi e sganci e tabelle degli eventi, indicatori di manutenzione.

Dovrà essere possibile utilizzare gli stessi contatti ausiliari, installabili in sito, per segnalare differenti funzioni: posizione aperto/chiuso/sganciato, guasto elettrico (incluso guasto differenziale).

In alternativa, lo stato dell'interruttore, aperto/chiuso/sganciato dovranno esser comunicati via wireless.

Dovrà essere possibile equipaggiare gli interruttori scatolati con un comando a motore per il funzionamento controllato elettricamente. Il meccanismo di comando dovrà essere del tipo ad accumulo di energia.

L'aggiunta di un comando a motore o rotativo non dovrà in alcun modo influire sulle caratteristiche dell'interruttore.

Gli interruttori automatici e non automatici scatolati da 630 A a 1600 A dovranno avere le seguenti caratteristiche elettriche fondamentali:

- **NORME DI RIFERIMENTO**
  - o CEI EN 60947-1 e -2: Apparecchiature a bassa tensione
  - o CEI EN 60947-2, Allegato B: Apparecchiature a bassa tensione
  - o CEI EN 60947-2, Allegato F: Apparecchiature a bassa tensione

- CEI EN 60664-1: Coordinamento dell'isolamento per le apparecchiature nei sistemi a bassa tensione
- CEI EN 61000-4-1: Compatibilità elettromagnetica (EMC)
- CEI EN 61557-12: Sicurezza elettrica nei sistemi di distribuzione a bassa tensione fino a 1000 V CA e 1500 V CC
- CEI EN 60068-2: Prove climatiche e meccaniche fondamentali

L'organizzazione del sito di produzione dovrà essere certificata in conformità alle norme ISO 9002 e ISO 14001.

Gli interruttori scatolati dovranno essere progettati secondo la progettazione ecocompatibile in conformità alla norma ISO 14062. In particolare, i materiali utilizzati dovranno essere privi di alogeni.

Gli interruttori scatolati dovranno essere progettati per un facile smontaggio e riciclaggio a fine vita e dovranno essere conformi alle direttive ambientali RoHS e RAEE.

Gli interruttori automatici scatolati dovranno avere le seguenti caratteristiche elettriche fondamentali:

- Tensione nominale di isolamento ( $U_i$ )  $\leq$  800 V CA
- Tenuta nominale di tenuta ad impulso ( $U_{imp}$ ) = 8 kV
- Tensione nominale di impiego ( $U_e$ )  $\leq$  690 V CA

Il potere di interruzione nominale estremo ( $I_{cu}$ ) di ciascun interruttore scatolato dovrà essere almeno uguale al valore della corrente di cortocircuito nel punto di installazione dell'impianto elettrico.

L'interruttore scatolato dovrà essere equipaggiato con un'unità di controllo che garantisce l'opportuno livello di protezione adatto all'applicazione. Tutte le unità di controllo possono essere proposte con versioni che assicurano le funzioni di misura e comunicazione.

L'interruttore scatolato dovrà essere disponibile nelle versioni fisso ed estraibile, 3 e 4 poli. Per la versione estraibile, un dispositivo presgancio di sicurezza dovrà garantire lo sgancio per evitare l'inserzione o l'estrazione con l'interruttore chiuso.

L'interruttore scatolato nella versione fissa con comando manuale può essere installato in posizione verticale, coricata od orizzontale senza declassamento delle prestazioni.

I terminali posteriori per il collegamento di potenza possono essere orientabili, ossia posizionati indifferentemente in verticale o in orizzontale.

Dovrà essere possibile alimentare l'interruttore sia da monte sia da valle, senza riduzione delle prestazioni.

Per un interruttore scatolato di una dichiarata corrente nominale, le dimensioni dovranno rimanere invariate qualunque sia il suo potere di interruzione estremo in cortocircuito.

Gli interruttori scatolati (esclusi gli interruttori limitatori) dovranno essere classificati in categoria B,

in conformità alla norma CEI EN 60947-2. Il potere di interruzione di servizio in cortocircuito (Ics) dovrà essere almeno uguale al 50% del potere di interruzione estremo di cortocircuito (Icu) e la corrente nominale di breve durata ammissibile (Icw) dovrà essere almeno di 25 kA / 0,5 s (esclusi gli interruttori limitatori).

Se richiesti, dovranno essere disponibili gli interruttori scatolati limitatori di corrente.

Le unità di controllo dovranno essere di tipo elettronico, comuni a tutta la gamma e non dovranno aumentare le dimensioni complessive dell'interruttore.

Le unità di controllo dovranno essere facilmente intercambiabili in sito ed installabili sugli interruttori senza rimuovere gli stessi dal quadro.

Le unità di controllo dovranno avere un ampio campo di regolazione al fine di coprire il massimo delle applicazioni, con la possibilità di piombare le regolazioni per impedire l'accesso non autorizzato.

Dovrà essere possibile regolare le protezioni mediante i commutatori senza alimentazione ausiliaria o quando i circuiti principali sono aperti.

Le unità di controllo dovranno essere dotate di memoria termica.

Le seguenti funzioni di controllo dovranno essere parti integranti delle unità di controllo:

- Un LED di segnalazione sovraccarico al di sopra di 105% della Ir.
- Un connettore di test previsto per i controlli sul funzionamento dell'elettronica e del meccanismo di sgancio, utilizzando un dispositivo esterno.

Le unità di controllo dovranno garantire, a seconda della versione, le seguenti protezioni: Lungo Ritardo, Corto Ritardo, Istantanea, Guasto a terra e Differenziale.

In aggiunta alle precedenti funzioni di protezione, sono previste delle unità di controllo con protezione minima/massima tensione, squilibrio di tensione, squilibrio di corrente, massima corrente, ritorno di potenza e minima/massima frequenza.

Le unità di controllo dovranno offrire la funzione di misura senza moduli aggiuntivi, per qualsiasi tipo di protezione richiesta (LI, LSI, LSIG, LSIR).

Le misure disponibili dovranno essere: corrente, corrente media e massima corrente media, tensione, potenza attiva, potenza reattiva e fattore di potenza, potenza media e massima potenza media, energia.

La precisione dell'intero sistema di misura inclusi i TA dovrà essere: corrente: 1,5% - tensione: 0,5% - potenza ed energia: 2%

I trasformatori di misura delle correnti (TA in aria tipo Rogowski) dovranno permettere una misurazione precisa delle correnti in valore efficace RMS.

Per ragioni di sicurezza, le funzioni di protezione dovranno essere gestite in modo indipendente dalle funzioni di misura e comunicazione, mediante un ASIC dedicata (Application Specific Integrated Circuit).

Le unità di controllo con capacità di misura e comunicazione dovranno offrire le seguenti funzione

di assistenza operativa: archivio degli interventi (causa dello sgancio, data e ora), allarmi ed eventi.

Le unità di controllo con capacità di misura e comunicazione dovranno offrire degli indicatori di manutenzione: contatori del numero di operazioni e sganci, contatore delle ore di funzionamento, profilo di carico.

L'utente dovrà essere in grado di attivare degli allarmi basati sulle misure. Gli allarmi dovranno essere cronodati e possono attivare dei contatti di uscita.

Dovrà essere disponibile un unico software per tutte le unità di controllo per: visualizzare e configurare i parametri, creare e salvare le impostazioni, visualizzare la curva di intervento, impostate data e ora, visualizzare gli archivi degli allarmi e sganci.

Gli interruttori scatolati dovranno essere equipaggiabili in modo semplice della comunicazione Modbus TCP/IP o Modbus RS485.

Qualunque sia l'unità di controllo, le seguenti informazioni dovranno essere accessibili: posizione aperto/chiuso e segnalazione di sgancio; i seguenti comandi dovranno essere possibili: apertura/chiusura.

Quando vengono utilizzate unità di controllo con funzioni di misura, le seguenti informazioni dovranno essere accessibili: valori istantanei e medi, valori massimi e minimi, energia, corrente media e potenza media, archivi degli allarmi e degli sganci e tabella degli eventi, indicatori di manutenzione.

Il meccanismo di comando del telecomando dovrà essere ad accumulo di energia.

L'aggiunta di un telecomando o di una manovra rotativa non dovrà modificare le caratteristiche dell'interruttore:

- Le tre posizioni stabili del meccanismo di comando (ON, OFF e TRIP)
- L'attitudine al sezionamento visualizzato con l'indicazione della posizione dei contatti (ON e OFF)

Gli interruttori scatolati dovranno essere realizzati per permettere l'installazione sul posto degli ausiliari come le bobine di apertura (a lancio di corrente e di minima tensione) ed i contatti di segnalazione:

- Gli stessi contatti di segnalazione sono utilizzabili per diverse funzioni, come: posizione di aperto/chiuso, sgancio, sgancio per guasto elettrico (compreso guasto differenziale); tutti gli ausiliari dovranno essere comuni per l'intera gamma di interruttori scatolati.
- Gli ausiliari elettrici dovranno essere separati dai circuiti di potenza.

L'installazione degli ausiliari elettrici, escluso il telecomando, non dovrà aumentare le dimensioni complessive dell'interruttore.

### **5.11 Interruttori modulari automatici da 0,5A a 125A**

Gli interruttori automatici da 0,5 A a 125 A dovranno avere le seguenti caratteristiche elettriche fondamentali:

- NORME DI RIFERIMENTO

- CEI EN 60898-1: norma per interruttori automatici per la protezione contro le sovracorrenti in impianti per uso domestico e similare
- CEI EN 61008-2-1: norma per interruttori automatici differenziali
- CEI EN 61009-1: norma per interruttori automatici differenziali con integrata la protezione contro le sovracorrenti in impianti per uso domestico e similare
- CEI EN 60947-2: norma per interruttori automatici per la protezione contro le sovracorrenti in impianti di tipo industriale
- CEI EN 60669-1 (fino a 63A) e CEI EN 60947-3 (da 40A a 125A): norme per interruttori non automatici

Le caratteristiche costruttive ed elettriche degli interruttori dovranno essere indicate nel catalogo del costruttore.

Gli interruttori modulari dovranno avere un aggancio bistabile adatto al montaggio su guida simmetrica DIN. L'aggancio alla guida DIN dovrà essere eseguito tramite clip di fissaggio sul lato superiore e inferiore della guida.

I morsetti dovranno essere dotati di un dispositivo di sicurezza isolante che evita l'introduzione di cavi a serraggio eseguito: questo dispositivo di protezione dovrà impedire la caduta accidentale di materiale conduttivo nel morsetto.

L'alimentazione dei dispositivi dovrà essere possibile sia da monte che da valle.

I dispositivi dovranno essere dotati di indicatore meccanico sul fronte che permetta di distinguere l'apertura manuale del dispositivo dall'intervento su guasto.

Per assicurare un ciclo di vita più lungo possibile, i meccanismi interni dell'interruttore dovranno essere realizzati in modo che la velocità di chiusura dei contatti sia indipendente dall'operazione dell'operatore.

Ad interruttore installato in quadro dotato di fronte, dovrà essere possibile poter dichiarare il quadro con classe d'isolamento II anche in caso di portella del quadro aperta.

Per una facile e rapida manutenzione dell'impianto, a interruttore installato in quadro con fronte montato, dovranno essere visibili i dati principali dell'interruttore:

- modello di interruttore installato
- corrente nominale del dispositivo
- Informazioni sulle protezioni
- schema elettrico
- codice dell'interruttore

### **5.12 Interruttori magnetotermici**

Gli interruttori dovranno essere in categoria A (in conformità con le prescrizioni della norma CEI EN 60947-2) con disponibilità di poteri di interruzione fino a 100kA per multipolari a 400V CA o unipolari a 230V AC secondo la norma CEI EN 60947-2 e potere di interruzione secondo CEI EN 60898-1 fino a 15000 A.

Le caratteristiche di intervento secondo CEI EN 60947-2 dovranno essere le seguenti: curva B, curva C, curva D, curva K, curva Z

### **5.13 Interruttori differenziali**

Interruttori differenziali puri

Tipo di impiego disponibili:

- Tipo AC, per assicurare l'apertura su guasto per correnti alternate sinusoidali differenziali,
- Tipo A, assicura l'apertura su guasto per correnti alternate sinusoidali differenziali e per correnti unidirezionali differenziali pulsanti
- Tipo A ad elevata immunità contro i disturbi ed elevata protezione contro gli ambienti aggressivi, per assicurare l'apertura su guasto per correnti alternate sinusoidali differenziali e per correnti unidirezionali differenziali pulsanti anche in presenza di condizioni ambientali inquinate.
- Tipo B ad elevata immunità contro i disturbi ed elevata protezione contro gli ambienti aggressivi, per assicurare l'apertura su guasto per correnti alternate sinusoidali differenziali, per correnti unidirezionali differenziali pulsanti, con componenti in multifrequenza e continue, anche in presenza di condizioni ambientali inquinate

Blocchi addizionali

I blocchi differenziali dovranno essere conformi alla normativa CEI EN 61009-1.

Tipo di impiego disponibili:

- Tipo AC, per assicurare l'apertura su guasto per correnti alternate sinusoidali differenziali,
- Tipo A, assicura l'apertura su guasto per correnti alternate sinusoidali differenziali e per correnti unidirezionali differenziali pulsanti
- Tipo A ad elevata immunità contro i disturbi e elevata protezione contro gli ambienti aggressivi, per assicurare l'apertura su guasto per correnti alternate sinusoidali differenziali e per correnti unidirezionali differenziali pulsanti anche in presenza di condizioni ambientali inquinate.

### **5.14 Interruttori non automatici modulari**

Gli interruttori non automatici modulari dovranno rispondere agli standard più elevati ed alle norme di riferimento.

Dovranno comprendere dispositivi per una corrente nominale ( $I_n$ ) da 20 a 125 A.

Gli interruttori non automatici modulari dovranno avere un aggancio bistabile adatto al montaggio su guida simmetrica DIN. I morsetti dovranno essere dotati di un dispositivo di sicurezza, che evita l'introduzione di cavi a serraggio eseguito; inoltre, l'interno dei morsetti è zigrinato in modo da assicurare una migliore tenuta. Le viti possono essere serrate con utensili dotati di parte terminale sia a taglio che a croce.

Gli interruttori non automatici dovranno poter essere alimentati indifferentemente da monte o da valle senza alterazione delle caratteristiche elettriche.

Gli interruttori dovranno poter essere associati ai seguenti ausiliari elettrici:

- Contatti di segnalazione apertura-chiusura dell'interruttore associato (240÷415 V CA)
- Contatti di segnalazione sgancio dell'interruttore associato (240÷415 V CA)
- Contatti di segnalazione aperto chiuso e sganciato integrati nello stesso dispositivo (240÷415 V CA)
- Contatti di segnalazione aperto chiuso e sganciato integrati nello stesso dispositivo (24 V CC)
- Bobine di sgancio: minima tensione, massima tensione, a lancio di corrente
- Telecomando, dovrà poter essere associato ad interruttori magnetotermici a poli protetti anche in presenza di eventuale blocco differenziale montato, essere bistabile e potere essere comandato con comando impulsivo o mantenuto
- Ausiliario di riarmo automatico: dovrà essere possibile, dopo un'apertura su guasto, eseguire un ultimo tentativo manuale di riarmo a distanza.
- Sensore di monitoraggio wireless connesso direttamente ai morsetti dell'interruttore che fornisce informazioni circa  $E_a$ , V, I Pf, P
- Display da guida DIN in cui visualizzare i dati monitorati dai sensori wireless

## 6 Ventilazione trasformatore

Per la cabina di trasformazione sarà realizzata, attivata da un termostato, la ventilazione forzata dell'ambiente. Considerando un incremento delle perdite del trasformatore del 15% per tener conto degli altri componenti elettrici, le perdite complessive da smaltire ( $P_{max}$ ) risultano:

- $P_{max} = 1,15 \times (P_{CU} + P_{FE}) = 1,15(8000 + 1170) = 10,5 \text{ kW}$

Dove  $P_{CU}$  e  $P_{FE}$  sono rispettivamente le perdite nel rame e nel ferro del trafo

Nell'ipotesi di temperatura esterna di  $30^{\circ}\text{C}$  ed interna di  $40^{\circ}\text{C}$ , la portata d'aria dell'estrattore necessaria per smaltire la potenza termica si può ricavare dalla formula:

- $Q = 346 \times P_{max} = 3633 \text{ m}^3/\text{h}$

Si sceglierà un ventilatore di portata  $Q_v = 3650 \text{ m}^3/\text{h}$ .

## 7 Impianto di Terra

Il dispersore di terra di cabina è esistente. Negli impianti in media tensione a 9kV, in assenza di comunicazione del DSO la corrente di guasto a terra  $I_f$  è assunta pari a 50A. Ne consegue che ponendo a favore della sicurezza  $I_E=0,7I_f$ , il valore della resistenza di terra  $R_E$  dovrà verificare la relazione

$$R_E \times 35 = U_E \leq U_{Tp}$$

Con  $U_E$  = tensione totale di terra

Con il tempo di intervento della protezione  $>10s$  la tensione di contatto massima ammissibile è pari a  $U_{Tp}=80V$  dedotta dalla curva di sicurezza dell'allegato B della CEI 99-3. In fase di realizzazione, il valore di resistenza dell'impianto di terra andrà verificato in funzione del valore della corrente di guasto indicato dal DSO.

Per la nuova cabina di trasformazione la rete elettrosaldata del pavimento sarà collegata al collettore di terra di cabina; a quest'ultimo convergeranno i conduttori di terra e protezione come riportato nei grafici allegati

### 7.1 Conduttori di protezione

I conduttori di protezione rigorosamente di colore giallo-verde saranno utilizzati per il collegamento a terra delle masse degli utilizzatori fissi e dei poli di terra delle prese.

Le sezioni dei conduttori di protezione non dovranno essere inferiori ai seguenti valori:

Sezione dei conduttori di fase dell'impianto $S$ [mm <sup>2</sup> ]	Sezione minima del corrispondente conduttore di protezione $S_p$ [mm <sup>2</sup> ]
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Tali valori sono utilizzabili solo in caso in cui il materiale dei conduttori di fase e di protezione sia lo stesso (in caso contrario, riferirsi alla norma CEI 64-8 Art. 543).

## 8 Protezione dei circuiti di alimentazione

### 8.1 Riferimenti normativi

CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua

### 8.2 Protezione delle condutture contro le sovracorrenti

I conduttori attivi saranno protetti tramite l'installazione di dispositivi di protezione da sovraccarichi e cortocircuiti (CEI 64-8 Sez.434 e Sez.433) aventi caratteristiche tempo/corrente in accordo con quelle specificate nelle Norme CEI relative ad interruttori automatici e da fusibili di potenza.

### 8.3 Sovraccarico

La protezione delle condutture contro il sovraccarico è assicurata quando sono soddisfatte le seguenti relazioni:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_f \leq 1,45 I_z \quad (2)$$

dove:

$I_b$  = corrente di impiego del circuito;

$I_z$  = portata in regime permanente della conduttura;

$I_n$  = corrente nominale del dispositivo di protezione (Per i dispositivi di protezione regolabili la corrente nominale  $I_n$  è la corrente di regolazione scelta);

$I_f$  = corrente che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione entro il tempo convenzionale in condizioni definite.

Per gli interruttori magnetotermici la (2) è sempre soddisfatta se è soddisfatta la (1) poiché i costruttori sono vincolati a soddisfare la condizione  $I_f \leq 1,45 I_z$ ; per i fusibili il rapporto  $I_f / I_n$  varia secondo la corrente nominale; il massimo valore del rapporto  $I_f / I_n$  vale 1.6, pertanto la condizione più gravosa da soddisfare per la protezione da sovraccarico diventa:

$$I_n \leq 0,9 I_z$$

### 8.4 Corto circuito

I dispositivi di protezione contro i cortocircuiti avranno i seguenti requisiti:

- potere di interruzione maggiore o uguale alla corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione;
- tempo di intervento inferiore a quello necessario affinché le correnti di corto circuito provochino un innalzamento di temperatura superiore a quello ammesso dai conduttori, ovvero dovrà essere rispettata la relazione:

$$I^2t \leq K^2S^2 \quad (1)$$

dove:

t = durata in secondi;

S = sezione in mm<sup>2</sup>;

I = corrente effettiva di cortocircuito in ampere, espressa in valore efficace;

K = 115 per i conduttori in rame isolati con PVC; 143 per i conduttori in rame isolati con gomma etilenpropilenica e propilene reticolato;

$I^2t$  = integrale di Joule per la durata del cortocircuito (espresso in A<sup>2</sup>s).

La formula appena descritta è valida per i cortocircuiti di durata  $\leq 5$  s e dovrà essere verificata per un cortocircuito che si produca in un punto qualsiasi della condotta protetta.

I dispositivi di protezione contro il corto circuito andranno installati nei punti del circuito ove avviene una variazione delle caratteristiche del cavo (S, K) tali da non soddisfare la disequazione suddetta eccetto nel caso in cui il tratto di condotta tra il punto di variazione appena citato e il dispositivo soddisfi contemporaneamente le seguenti condizioni:

- lunghezza tratto  $\leq 3$  m;
- realizzato in modo che la probabilità che avvenga un corto circuito sia bassissima;
- non sia disposto nelle vicinanze di materiale combustibile o in luoghi a maggior rischio in caso di incendio o di esplosione.

Dato il particolare andamento della curva dell'energia specifica passante di un interruttore è in genere, ma non sempre, sufficiente verificare la (1) soltanto per il valore massimo e quello minimo di corrente di cortocircuito che può interessare la condotta. Il valore massimo solitamente è il valore della corrente di cortocircuito trifase che si ha ad inizio linea, mentre il valore minimo è il valore della corrente di cortocircuito fase-neutro (fase-fase se il neutro non è distribuito) o fase-terra alla fine della condotta.

#### 8.4.1 Calcolo della corrente di corto circuito a fine linea

E' possibile calcolare la corrente minima di cortocircuito dalle seguenti formule approssimate:

$$I_{kmin} = (0,8 \times U_n \times k_{sec} \times k_{par}) / (1,5 \times \rho \times 2L/S) \text{ con conduttore di neutro non distribuito}$$

$$I_{kmin} = (0,8 \times U_0 \times k_{sec} \times k_{par}) / [1,5 \times \rho \times (1+m) \times L/S] \text{ con conduttore di neutro distribuito}$$

dove:

- $I_{kmin}$  è il valore minimo della corrente di corto circuito presunta in kA;
- $U_n$  è la tensione concatenata di alimentazione in V;
- $U_0$  è la tensione di fase di alimentazione in V;
- $\rho$  è la resistività a 20°C del materiale dei conduttori in  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  e vale 0.018 per il rame;
- $L$  è la lunghezza della condotta protetta in (m);

- $S$  è la sezione del conduttore in ( $\text{mm}^2$ );
- $k_{sec}$  è il fattore correttivo per tener conto della reattanza dei cavi con sezione maggiore di  $95 \text{ [mm}^2\text{]}$ :

$S \text{ [mm}^2\text{]}$	120	150	185	240	300
$k_{sec}$	0,9	0,85	0,8	0,75	0,72

- $k_{par}$  è il coefficiente correttivo per conduttori in parallelo:

$N. \text{ conduttori in parallelo}$	2	3	4	5
$k_{par}^*$	2	2,7	3	3,2

$k_{par}^* = 4(n-1)/n$  dove  $n$  è il numero di conduttori di fase in parallelo

- $m$  è il rapporto tra la resistenza del conduttore di neutro e la resistenza del conduttore di fase (nel caso siano costituiti dallo stesso materiale  $m$  è il rapporto tra la sezione del conduttore di fase e quella del conduttore di neutro).

Calcolata la corrente minima di corto circuito, occorre verificare che

$$I_{kmin} > 1,2 \times I_3$$

dove:

- $I_3$  è la corrente di intervento della protezione magnetica dell'interruttore automatico;
- 1,2 è la tolleranza sulla soglia di intervento.

## 9 Cadute di tensione

In un impianto elettrico assume un aspetto importante la valutazione della caduta di tensione dal punto di fornitura fino al punto di utilizzazione.

Un apparecchio utilizzatore alimentato con una tensione differente dal proprio valore nominale può essere soggetto ad un decadimento delle proprie prestazioni. Ad esempio:

- *motori*: la coppia motrice è proporzionale al quadrato della tensione di alimentazione quindi se diminuisce la tensione diminuisce la coppia di spunto, rendendo difficoltoso l'avviamento; diminuisce inoltre la coppia massima;
- *lampade ad incandescenza*: al diminuire della tensione si riduce sensibilmente il flusso luminoso e la colorazione della luce si avvicina al rossastro;
- *lampade a scarica*: in genere non sono molto sensibili alle piccole variazioni di tensione ma in alcuni casi forti variazioni possono provocare lo spegnimento;
- *apparecchi elettronici*: sono molto sensibili alle variazioni di tensione ed è per questo che sono dotati di dispositivi stabilizzatori;
- *dispositivi elettromeccanici*: in accordo con la normativa di riferimento, per dispositivi quali contattori, relé ausiliari, esiste una tensione minima al di sotto della quale non sono più garantite le prestazioni dell'apparecchio. Per un contattore, per esempio, la tenuta dei contatti diventa precaria al di sotto dell'85% della sua tensione nominale.

Per limitare queste problematiche le norme stabiliscono i seguenti limiti:

- IEC 60364-5-52 "Electrical installations of buildings – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems": la Clausola 525 stabilisce che in assenza di altre considerazioni si raccomanda che la caduta di tensione tra l'origine dell'impianto utilizzatore e qualunque apparecchiatura non sia superiore in pratica al 4% della tensione nominale dell'impianto. Altre considerazioni comprendono il tempo d'avviamento per i motori e per le apparecchiature con elevata corrente di spunto. Possono non essere prese in considerazione condizioni temporanee quali tensioni transitorie e variazioni di tensione dovute a funzionamento anomalo.
- IEC 60204-1 "Safety of machinery – Electrical equipment of machines- Part 1: General requirements": la Clausola 13.5 stabilisce che la caduta di tensione dal punto di fornitura al carico non dovrà superare il 5% della tensione nominale in condizioni normali di funzionamento.
- IEC 60364-7-714 "Electrical installations of buildings – Requirements for special installations or locations – External lighting installations" la Clausola 714.512 richiede che

la caduta di tensione durante il normale servizio dovrà essere compatibile con le condizioni che possono verificarsi a causa della corrente d'accensione delle lampade.

### 9.1 *Calcolo della caduta di tensione*

In una linea elettrica di impedenza  $Z$  la caduta di tensione si calcola con la seguente formula:

$$\Delta U = k \times Z \times I_b = k \times I_b \times L/n \times (r \cos\varphi + x \sin\varphi) [V]$$

dove

- $k$  è un coefficiente che vale: 2 per sistemi monofase e bifase;  $\sqrt{3}$  per i sistemi trifase;
- $I_b$  [A] è la corrente assorbita dal carico; in assenza di informazioni dovrà essere utilizzata la portata  $I_z$  della conduttura;
- $L$  [km] è la lunghezza della linea;
- $n$  è il numero di conduttori in parallelo per fase;
- $r$  [ $\Omega$ /km] è la resistenza del singolo cavo per chilometro;
- $x$  [ $\Omega$ /km] è la reattanza del singolo cavo per chilometro;
- $\cos\varphi$  è il fattore di potenza del carico.

Il valore percentuale rispetto al valore nominale  $U_n$  si calcola:

$$\Delta u\% = \Delta U / U_n \times 100$$

## 10 Protezione delle persone

### 10.1 Effetti della corrente elettrica sul corpo umano

I pericoli derivanti dal contatto di una persona con una parte in tensione sono causati dal passaggio della corrente nel corpo umano. Gli effetti del passaggio della corrente nel corpo umano sono:

- *la tetanizzazione*: si contraggono i muscoli interessati al passaggio della corrente e risulta difficile staccarsi dalla parte in tensione. Da notare che correnti molto elevate non producono solitamente la tetanizzazione perché quando il corpo entra in contatto con esse, l'eccitazione muscolare è talmente elevata che i movimenti muscolari involontari generalmente staccano il soggetto della sorgente;
- *l'arresto respiratorio*: se la corrente elettrica attraversa i muscoli che controllano il movimento dei polmoni, la contrazione involontaria di questi muscoli altera il normale funzionamento del sistema respiratorio e il soggetto può morire soffocato o subire le conseguenze di traumi dovuti all'asfissia;
- *la fibrillazione ventricolare*: è l'effetto più pericoloso ed è dovuto alla sovrapposizione delle correnti provenienti dall'esterno con quelle fisiologiche che, generando delle contrazioni scoordinate, fanno perdere il giusto ritmo al cuore. Questa anomalia può diventare un fenomeno non reversibile poiché persiste anche se lo stimolo è cessato;
- *le ustioni*: sono prodotte dal calore che si sviluppa per effetto Joule dalla corrente elettrica che fluisce attraverso il corpo.

La norma IEC 60479-1 "*Effects of current on human being and livestock*" (Effetti della corrente sul corpo umano e sugli animali domestici) fornisce una guida sugli effetti della corrente attraverso il corpo umano da utilizzare nella definizione dei requisiti per la sicurezza elettrica. La norma riporta graficamente nel piano tempo-corrente quattro zone alle quali sono stati associati gli effetti fisiologici della corrente alternata (15 – 100 Hz) che attraversa il corpo umano.

### 10.2 Sistema di distribuzione

Le modalità del guasto a terra e le conseguenze che derivano dal contatto con masse in tensione, sono legate in modo determinante allo stato del neutro e al collegamento delle masse.

Per scegliere opportunamente il dispositivo di protezione occorre quindi conoscere il sistema di distribuzione dell'impianto.

La norma IEC 60364-1 classifica i sistemi elettrici di distribuzione con due lettere. La prima lettera indica il collegamento del sistema di alimentazione rispetto a terra:

- T: collegamento diretto a terra di un punto, in corrente alternata, in genere il neutro;

- I: isolamento da terra, oppure collegamento a terra di un punto, in corrente alternata, in genere il neutro, tramite un'impedenza.

La seconda lettera indica il collegamento delle masse dell'impianto elettrico rispetto a terra:

- T: masse elettriche collegate direttamente a terra;
- N: masse elettriche collegate al punto messo a terra del sistema di alimentazione.

Eventuali lettere successive indicano la disposizione dei conduttori di neutro e di protezione:

- S: funzioni di neutro e protezione svolte da conduttori separati;
- C: funzioni di neutro e protezione svolte da un unico conduttore (conduttore PEN).

Nel sistema TN-S come quello in esame (conduttore di neutro e conduttore di protezione separati) la corrente di guasto si richiude nel nodo di alimentazione attraverso un collegamento metallico diretto senza praticamente interessare il dispersore di terra.

### **10.3 Protezione contro i contatti diretti ed indiretti**

I contatti che una persona può avere con le parti in tensione si possono dividere in due categorie:

- contatti diretti;
- contatti indiretti.

Si ha un contatto diretto quando una parte del corpo umano viene a contatto con una parte dell'impianto elettrico normalmente in tensione (conduttori nudi, morsetti, ecc.).

Un contatto si dice invece indiretto quando una parte del corpo umano viene a contatto con una massa, normalmente non in tensione, ma che accidentalmente si trova in tensione in seguito a un guasto o all'usura dell'isolamento.

Le misure di protezione contro i contatti diretti sono:

- isolamento delle parti attive mediante un isolante che possa essere rimosso solo tramite distruzione (ad es. l'isolamento del cavo);
- barriere o involucri: le parti attive dovranno trovarsi entro contenitori o dietro barriere con grado di protezione almeno IP XXB o IP2X; per superfici orizzontali il grado di protezione dovrà essere IP XXD o IP4X
- ostacoli: l'interposizione di un ostacolo tra le parti attive e l'operatore previene soltanto il contatto accidentale ma non il contatto intenzionale mediante rimozione dello stesso senza attrezzi particolari;
- distanziamento: le parti simultaneamente accessibili a tensione diversa non dovranno essere a portata di mano.

Una misura di protezione addizionale contro i contatti diretti è costituita dagli interruttori differenziali con corrente differenziale nominale d'intervento non superiore a 30mA. Occorre ricordare

che l'uso del dispositivo differenziale quale misura di protezione contro i contatti diretti non dispensa dall'applicazione di una delle misure di protezione sopra indicate.

Le misure di protezione contro i contatti indiretti sono:

- interruzione automatica dell'alimentazione: un dispositivo di protezione dovrà interrompere automaticamente l'alimentazione al circuito in un tempo tale che la tensione di contatto nelle masse non permanga per tempi superiori a quelli che comportano degli effetti fisiopatologici nel corpo umano;
- doppio isolamento o isolamento rinforzato ad es. utilizzando componenti di classe II;
- locali non conduttori: un locale di tale tipo hanno un particolare valore minimo di resistenza delle pareti e del pavimento ( $\geq 50 \text{ k}\Omega$  per  $U_n \leq 500\text{V}$ ;  $\geq 100 \text{ k}\Omega$  per  $U_n > 500\text{V}$ ) e non ci sono conduttori di protezione all'interno;
- separazione elettrica ad es. alimentando un circuito mediante un trasformatore di isolamento;
- locali in cui le masse siano collegate fra di loro ma non connesse con la terra.

Esistono infine le seguenti misure che forniscono la protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti:

- sistema a bassissima tensione di sicurezza SELV (Safety Extra Low Voltage) e PELV (Protective Extra Low Voltage);
- sistema FELV (Functional Extra Low Voltage).

La protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti è assicurata quando è soddisfatto l'articolo 411 della Norma IEC 60364-4-41; in particolare:

- la tensione nominale non dovrà superare 50 V c.a. r.m.s., valore efficace in c.a., e 120 V in c.c. non ondulata;
- l'alimentazione dovrà provenire da una sorgente SELV o PELV;
- dovranno essere soddisfatte le condizioni di installazione previste per queste tipologie di circuiti elettrici.

#### **10.4 Verifica**

La corrente di guasto in un sistema TN-S percorre l'avvolgimento secondario del trasformatore, i conduttori di fase e il conduttore di protezione.

Secondo le prescrizioni della norma IEC 60364-4 per attuare la protezione con interruzione automatica del circuito occorre soddisfare la condizione:

$$Z_s \cdot I_a \leq 230 \text{ V}$$

dove:

$Z_s$  è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto e il conduttore di protezione tra il guasto e la sorgente [ $\Omega$ ];

$I_a$  è il valore della corrente di intervento del dispositivo di protezione [A]

I tempi massimi di interruzione sono pari a 0,4s per circuiti terminali con correnti non superiori a 32A oppure entro 5s nei circuiti di distribuzione e per circuiti terminali con correnti superiori a 32A.