



Acquedotto Lucano S.p.A.

Direzione Progettazione ed Energia

FINANZIAMENTO

DGR n. 561/17 – DGR 522/19 - DGR 972/22
PO FESR BASILICATA 2014-2020 Asse Prioritario V - Azione 6B.6.3.1.

REGIONE BASILICATA



COMUNE DI CASTELLUCCIO INFERIORE

Potenziamento, efficientamento e
automazione dell'impianto di
sollevamento idrico Pietrasasso a
Castelluccio Inferiore (PZ) –
II° Stralcio Revamping ISI Pietrasasso
CUP:I75H17000040006

ELABORATO

RELAZIONE OPERE ELETTRICHE

LIVELLO DI PROGETTAZIONE

PROGETTO ESECUTIVO

DIRETTORE AREA PROGETTAZIONE ED ENERGIA
Ing. Salvatore GRAVINO

PROGETTISTA
Ing. Francesco IANTORNO - INELECTRIC SRL

COMMITTENTE



acquedottolucano

Acquedotto Lucano S.p.A.
Via P. Grippo – 85100 Potenza
Tel. 0971.392.111 – Fax. 0971.392.600
www.acquedottolucano.it

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Roberto PETRULLO

COD.

R005

DATA

SETTEMBRE 2023

SCALA GRAFICA

FILE

REV.

DATA

“

Sommario

PREMESSA.....	3
STATO ATTUALE.....	3
1.1 CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO E DESTINAZIONI D'USO.....	3
1.2 STATO ATTUALE DEGLI IMPIANTI - NOTE GENERALI.....	4
1.2.1 CARATTERISTICHE DEL SISTEMA ELETTRICO DISPERDENTE.....	4
CRITERI E FINI PROGETTUALI.....	4
2.1 SCOPO DELL'INTERVENTO.....	4
2.2 INTERVENTO SULL'IMPIANTO ELETTRICO.....	4
2.2.1 Calcolo delle correnti di impiego.....	5
2.2.2 Dimensionamento dei cavi.....	6
2.2.3 Calcolo dei guasti.....	7
2.2.4 Calcolo delle correnti minime di cortocircuito.....	9
2.2.5 Calcolo guasti bifase-neutro e bifase-terra.....	10
2.2.6 Scelta delle protezioni.....	10
2.2.7 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture.....	11
2.2.8 Verifica di selettività.....	11
2.2.9 Protezione contro i contatti indiretti.....	12
3 Riferimenti normativi.....	15
3.1 Norme di riferimento per la Bassa tensione:.....	15
3.2 Norme di riferimento per la Media tensione.....	16

PREMESSA

Il presente progetto intende illustrare in modo compiuto, gli interventi impiantistici di natura elettrica da realizzare all'interno della struttura che ospita l'impianto di sollevamento Pietrasasso in agro di Castelluccio inferiore (PZ).

L'intervento contemplato in questa sede è relativo alla sostituzione delle 4 motopompe con annesse le relative valvole ed al nuovo cablaggio delle stesse con contestuale cablaggio delle linee degli ausiliari. La partenza delle motopompe sarà gestita da dei soft start.

Le nuove motopompe, per un totale di quattro (4) avranno una potenza pari a 1200 kw. I nuovi cavi di potenza saranno della tipologia RG26H1M16-12/20 Kv conforme CPR REG.305/2011/UE e Norma EN 50575. Saranno altresì inseriti dei relè di protezione multifunzione associato a ciascun interruttore, mentre al fine di garantire una corretta selettività amperometrica sulle due dorsali di alimentazioni saranno inseriti dei relè di protezione del tipo NA30 o similari. I livelli di alimentazione a 6000V è assicurata da un parallelo di 3 trafi da 4000KVA di cui 1 non funzionante. Considerando la potenza decisamente inferiore delle nuove motopompe possiamo ridurre l'utilizzo a soli 2 trafi.

La presente relazione è stata suddivisa in due sezioni principali che fanno riferimento alle due fondamentali tipologie di interventi previsti.

I primi riguardano quell'insieme di interventi di tipo edile, finalizzati alla realizzazione dei cavedi necessari a garantire l'arrivo e la partenza ai soft start e alla circuiteria degli ausiliari.

I secondi, invece, comprendono il rifacimento della parte dell'impianto elettrico considerata nel progetto, ovvero:

- Revisione dei due trafi funzionanti ed in particolare:

- pulizia isolatori e controllo stato di conservazione
- verifica e ripristino della funzionalità del commutatore MT
- ripristino della funzionalità delle protezioni buchholz e termometro
- verifica e ripristino Sali
- prove d'isolamento e verifica rapporti di tensione a mezzo sala prove in conformità a norma CEI 14.4 e CEI EN60076
- verifica delle proprietà chimico-fisiche e dielettriche dell'olio ed eventuale trattamento
- verifica assenza di PCB nell'olio

- Revisione del trafo non funzionante ed in particolare:

- smaltimento dell'olio presente nel trafo

- Predisposizione di nuove motopompe (4) con una potenza di 1200 kW e relativo cablaggio;

- realizzazione di nuovi quadri elettrici per i soft start e per i servizi ausiliari;

- Installazione di relè di protezione.

STATO ATTUALE

1.1 CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO E DESTINAZIONI D'USO

L'intero volume di impianto si sviluppa su unico piano con un ingombro in pianta di circa 2500 metri quadrati. Si presenta con l'ossatura in pilastri e trave in calcestruzzo precompresso, mentre le tamponature sono

realizzate in cemento vibrato. All'interno è presente un carroponete al fine di agevolare tutte le operazioni di movimentazione delle motopompe e idrovalvole.

1.2 STATO ATTUALE DEGLI IMPIANTI - NOTE GENERALI

Dai rilievi e sopralluoghi effettuati all'interno dell'edificio, sono stati visionati impianti alquanto obsoleti, in modo particolare agli impianti ausiliari e al gruppo elettrogeno. Quest'ultimi sono riconducibili come periodo di installazione, ai primi anni ottanta; le opere risultano nel complesso compromesse nell'efficienza.

1.2.1 CARATTERISTICHE DEL SISTEMA ELETTRICO DISPERDENTE

Dispersori: Rete generale di terra composta da 8 spandenti in acciaio zincato 50*50*5, l.=1,5 metri collegata con corda in rame nudo 50 mmq in parallelo;

Conduttori di terra: corda in rame nudo 50 mmq;

Conduttori di protezione: corda in rame rivestita G/V di sezione pari a quella di fase;

Conduttori equipotenziali: corda in rame rivestita G/V di sezioni varie;

Connessioni: bulloni, morsetti e capicorda

CRITERI E FINI PROGETTUALI

2.1 SCOPO DELL'INTERVENTO

Questa progettazione, in considerazione degli importi disponibili, si pone per obiettivo, il raggiungimento dei seguenti risultati:

- Riduzione importante del consumo di energia elettrica;
- Riduzione della corrente di corto circuito;
- Maggiore affidabilità di servizio;

In sede di calcolo inoltre, per il dimensionamento degli impianti sopra indicati, sono stati considerati validi i seguenti parametri caratteristici dell'energia resa disponibile:

- Tensione in consegna: trifase 20 kV 50Hz;
- Potenza disponibile: 2550 kW;
- Guasto monofase a terra su lato MT: 263.3A;
- Tensioni di utilizzo: 6000 V;
- Stato del neutro rispetto le masse: TN-S;
- tempo di intervento delle protezioni lato MT: 0.69 s (cautelativo).

2.2 INTERVENTO SULL'IMPIANTO ELETTRICO

Attualmente la distribuzione di energia elettrica relativamente ai carichi è di tipo radiale simmetrico alimentando, ben tre trasformatori di potenza pari a 4MVA con una tensione sul primario di 20000 V. Il secondario del trasformatore alimenta i carichi ad una tensione di 6000 V.

Attualmente solo due dei tre trasformatori sono in esercizio, mentre il terzo è non funzionante; in questa condizione i due trasformatori riescono a gestire la richiesta energetica degli utilizzatori.

Ogni utenza è protetta da:

interruttore tripolare in esecuzione estraibile con sganciatore di apertura o da interruttore tripolare con sganciatore di apertura e sezionatore tripolare installato a monte dell'interruttore, con potere di interruzione al c.c. pari a 24 kA, con corrente e tensione nominale rispettivamente di 1250 A e 7,2 kV; Il tempo di apertura dell'interruttore, inteso come somma del tempo di intervento della protezione, egli eventuali ausiliari, e dell'interruttore stesso, risulta essere pari a 120 ms.

Il Sistema di protezione associato al Dispositivo Generale (Sistema di Protezione Generale, SPG) è composto da:

- Trasduttore/trasformatore di corrente o amperometrici TA o toroidali TAT (con le relative connessioni al relè di protezione;
- Trasduttori/trasformatore di corrente omopolare residua TO
- Relè di protezione con relativa alimentazione;
- circuiti di apertura dell'interruttore.
- sistema di batteria tampone (UPS).

Saranno installati nuovi relè di protezione multifunzione per motori, mentre a protezione del controllo delle due linee di alimentazione saranno installati dei relè di protezione per sovrintensità.

Al fine di garantire un allungamento del tempo di vita del motore, ovvero ridurre al minimo l'introduzione di armoniche, ridurre la coppia e la corrente all'avviamento, sono stati previsti per ogni motopompa l'introduzione di un soft start.

Saranno realizzati i nuovi quadri elettrici per la gestione degli ausiliari. Sia per gli ausiliari che per la linea di potenza delle motopompe saranno realizzati dei nuovi cavedi la cui geometria è confrontabile con i cavedi esistenti.

Il cablaggio dei cavi di potenza sarà affidato alla serie RG26H1M16-12/20 KV conforme CPR REG.305/2011/UE e Norma EN 50575, Siamo in presenza di cavi unipolari isolati in gomma HEPR di qualità G26, a spessore ridotto, con temperatura massima di esercizio di 105°C. Un'elevata temperatura di esercizio ne consente l'impiego con un sovraccarico del 10% circa in esercizio continuo e/o maggiori margini in situazioni critiche rispetto ai cavi tradizionali.

Relativamente al cablaggio degli ausiliari sarà utilizzata la tipologia di cavo FG16OR16 unitamente a dei cavi multifunzione(segnale+ potenza).

2.2.1 Calcolo delle correnti di impiego

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

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

nella quale:

- $k_{ca} = 1$ sistema monofase o bifase, due conduttori attivi;
- $k_{ca} = 1.73$ sistema trifase, tre conduttori attivi.

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

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

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

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

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

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

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

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

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

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

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

2.2.2 Dimensionamento dei cavi

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

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

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

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

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

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

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

- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR);
- IEC 60364-5-52 (Mineral);

- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026;
- CEI 20-91 (HEPR).

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

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

Esse oltre a riportare la corrente ammissibile I_z in funzione del tipo di isolamento del cavo, del tipo di posa e del numero di conduttori attivi, riportano anche la metodologia di valutazione dei coefficienti di declassamento.

La portata minima del cavo viene calcolata come:

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

dove il coefficiente k ha lo scopo di declassare il cavo e tiene conto dei seguenti fattori:

- tipo di materiale conduttore;
- tipo di isolamento del cavo;
- numero di conduttori in prossimità compresi eventuali paralleli;
- eventuale declassamento deciso dall'utente.

La sezione viene scelta in modo che la sua portata (moltiplicata per il coefficiente k) sia superiore alla $I_{z\min}$. Gli eventuali paralleli vengono calcolati nell'ipotesi che abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza e tipo di posa (vedi norma 64.8 par. 433.3), considerando la portata minima come risultante della somma delle singole portate (declassate per il numero di paralleli dal coefficiente di declassamento per prossimità).

La condizione b) non necessita di verifica in quanto gli interruttori che rispondono alla norma CEI 23.3 hanno un rapporto tra corrente convenzionale di funzionamento I_f e corrente nominale I_n minore di 1.45 ed è costante per tutte le tarature inferiori a 125 A. Per le apparecchiature industriali, invece, le norme CEI 17.5 e IEC 947 stabiliscono che tale rapporto può variare in base alla corrente nominale, ma deve comunque rimanere minore o uguale a 1.45.

Risulta pertanto che, in base a tali normative, la condizione b) sarà sempre verificata.

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

La scelta del cavo, sia in funzione della corrente di impiego che della caduta di tensione, è **ricaduta su una sezione unipolare pari a 70mmq, che produce una caduta di tensione pari al 0.03%.**

2.2.3 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 dell'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 nella norma CEI EN 60909-0. Sono previste le seguenti condizioni generali:

- guasti con contributo della fornitura e dei generatori in regime di guasto subtransitorio. Eventuale gestione della attenuazione della corrente per il guasto trifase 'vicino' alla sorgente.
- tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione Cmax ;
- impedenza di guasto minima della rete, calcolata alla temperatura di 20°C.

La resistenza diretta, del conduttore di fase e di quello di protezione, viene riportata a 20 °C, partendo dalla resistenza data dalle tabelle UNEL 35023-2012 che può essere riferita a 70 o 90 °C a seconda dell'isolante, per cui esprimendola in mΩ risulta:

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

dove

- T è 50 o 70 °C e $\alpha = 0.004$ a 20 °C.

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

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

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

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

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

La reattanza è invece:

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

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

Per quanto riguarda i parametri alla sequenza omopolare, occorre distinguere tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ottengono da quelli diretti tramite le:

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

Per il conduttore di protezione, invece si ottiene:

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

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

$$\begin{aligned} R_{0bPE} &= R_{db} + 3 \cdot R_{dbPE} \\ X_{0bPE} &= X_{db} + 3 \cdot (X_{b-ring} - X_{db}) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_d &= R_{dc} + R_{d-up} & R_{0N} &= R_{0cN} + R_{0N-up} & R_{0PE} &= R_{0cPE} + R_{0PE-up} \\ X_d &= X_{dc} + X_{d-up} & X_{0N} &= X_{0cN} + X_{0N-up} & X_{0PE} &= X_{0cPE} + X_{0PE-up} \end{aligned}$$

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 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 $I_{k \max}$, fase neutro $I_{k1N \max}$, fase terra $I_{k1PE \max}$ e bifase $I_{k2 \max}$ espresse in kA:

$$I_{k \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \min}} \quad I_{k1N \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1N \min}} \quad I_{k1PE \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE \min}} \quad I_{k2 \max} = \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k \min}}$$

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

$$I_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k \max} \quad I_{p1N} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1N \max} \quad I_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max}$$

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

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, I_p può essere calcolato applicando il metodo semplificato della norma riportato al paragrafo 6.2.5 Neglecting short-circuit current 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.

2.2.4 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 C_{min} , che può essere 0.95 se $C_{max} = 1.05$, oppure 0.90 se $C_{max} = 1.10$ (Tab. 1 della norma CEI EN 60909-0); in media e alta tensione il fattore C_{min} è pari a 1;

Per la temperatura dei conduttori si può scegliere tra:

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

Le temperature sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

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

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

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

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

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

$$I_{k \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \max}} \quad I_{k1N \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1N \max}} \quad I_{k1PE \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE \max}} \quad I_{k2 \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{2 \cdot Z_{k \max}}$$

2.2.5 Calcolo guasti bifase-neutro e bifase-terra

Riportiamo le formule utilizzate per il calcolo dei guasti. Chiamiamo con Z_d la impedenza diretta della rete, con Z_i l'impedenza inversa, e con Z_0 l'impedenza omopolare. Nelle formule riportate in seguito, Z_0 corrisponde all'impedenza omopolare fase-neutro o fase-terra.

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

E la corrente di picco sarà:

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

2.5.6 Scelta delle protezioni

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

- corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- numero poli;
- tipo di protezione;
- tensione di impiego, pari alla tensione nominale dell'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 ($I_{mag \max}$).

2.2.7 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

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

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

La prima condizione viene considerata in fase di scelta delle protezioni. La seconda invece può essere tradotta nella relazione:

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

ossia in caso di guasto l'energia specifica sopportabile dal cavo deve essere maggiore o uguale a quella lasciata passare dalla protezione.

La norma CEI al par. 533.3 "Scelta dei dispositivi di protezioni contro i cortocircuiti" prevede pertanto un confronto tra le correnti di guasto minima (a fondo linea) e massima (inizio linea) con i punti di intersezione tra le curve. Le condizioni sono pertanto:

a) Le intersezioni sono due:

- $I_{ccmin} \geq I_{inters\ min}$ (quest'ultima riportata nella norma come I_a);
- $I_{ccmax} \leq I_{inters\ max}$ (quest'ultima riportata nella norma come I_b).

b) L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:

- $I_{ccmin} \geq I_{inters\ min}$.

c) L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:

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

Sono pertanto verificate le relazioni in corrispondenza del guasto, calcolato, minimo e massimo. 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 $K^2 S^2$ e la I_z 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.

Nel nostro caso la verifica ha prodotto i seguenti risultati:

I_{ccmax} fondo linea =12.33 KA;

I_{ccmin} fondo linea =9.13 KA;

2.2.8 Verifica di selettività

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

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

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

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

2.2.9 Protezione contro i contatti indiretti

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

U_0 è la tensione nominale verso terra;

Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, ed in Ampère corrisponde alla variabile $Z_{k1(ft)}$ max ;

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

La verifica da effettuare sarà:

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

Dove la c.i. è una variabile di Ampère (Corrente contatti indiretti I_a) utilizzata per il confronto con i valori di sgancio delle protezioni. la c.i. normalmente è pari alla corrente di guasto a terra $I_{k1(ft)}$ min calcolata dal programma.

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 terra del sistema. la c.i. assume il valore di 150V se quest'ultima è maggiore della $I_{k1}(ft) \min$, 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 la 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 franco su 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 ; I_{dn} è la corrente nominale differenziale; U_L è la tensione limite convenzionale (normalmente 50 V).

La relazione che dovrà essere verificata sarà:

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

Per completezza, quando il programma possiede tutti gli elementi per calcolare la corrente di circolazione di un guasto a terra, ossia la $I_{k1}(ft) \min$, allora la 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 collegate a 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:

RE è la resistenza del dispersore, al quale il programma aggiunge anche l'impedenza dei cavi di protezione che collegano la massa protetta, calcolando la variabile ZE ; 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.

La relazione che dovrà essere verificata sarà:

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

dove VT 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 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 della 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.

Ia c.i. normalmente è pari alla corrente di guasto a terra Ik(IT) min calcolata dal programma. Esso calcola anche la corrente:

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

dove ZE è l'impedenza che collega la massa del dispositivo al punto di messa a terra del sistema. Ia c.i. assume il valore di I50V se quest'ultima è maggiore della Ik(IT) min , in pratica si accettano correnti di sgancio superiori fino al valore che portano le masse alla tensione limite convenzionale, quindi:

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

Potenza, Settembre 2023

Il Progettista

Ing. IANTORNO Francesco
INELECTRIC SRL

3 Riferimenti normativi

3.1 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 nei sistemi 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 in impianti fotovoltaici.
- CEI EN 60898-1 (CEI 23-3/1 Ia Ed.) 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e simili.
- CEI EN 60898-2 (CEI 23-3/2) 2007: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e simili Parte 2: Interruttori per funzionamento in corrente alternata e in corrente continua.
- CEI 64-8 VIIa Ed. 2012: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52 IIIa Ed. 2009: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: 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 corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI EN 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 assiemate di 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;

3.2 Norme di riferimento per la Media tensione

- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 99-2 (CEI EN 61936-1) 2011: Impianti con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI-UNEL 35027 IIa Ed. 2009: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV 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 tensione Parte 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.