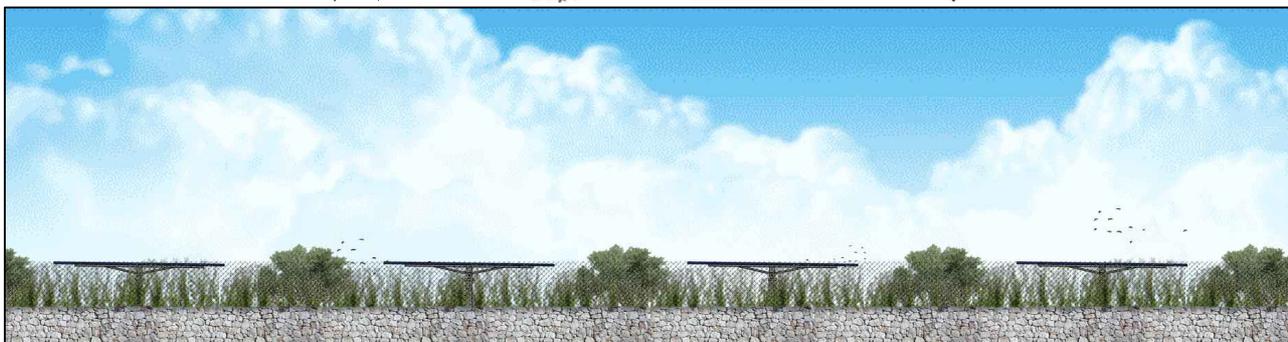


REGIONE PUGLIA

Comuni di Caprarica di Lecce, San Donato di Lecce,
Soletto e Galatina (LE)



Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto agrivoltaico di potenza nominale pari a 51,97 MW e delle opere connesse ed infrastrutture necessarie alla connessione alla RTN
STMG: 202200717 - Denominazione impianto Caprarica 1

Committente:

Caprarica SPV s.r.l.
Piazza Antonio Salvati n.1, 00152 Roma

Responsabile della progettazione:

Ing. Luigi Rutigliano
Ordine degli Ingegneri di Barletta Andria Trani Sez.A-1246
Studio Ing.Rutigliano Luigi via Vivaldi n. 38 76131 Barletta (BT)



Elaborato: **Prog_26**
Codice progetto: **7KWBSM5**

RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA DI DIMENSIONAMENTO LINEE ELETTRICHE INTERRATE IN CAVO IN AT-36 KV DI CONNESSIONE TRA I LOTTI ED IL QUADRO DI "RACCOLTA" DELL'IMPIANTO "CAPRARICA (LE)". CONNESSIONE TRA IL QUADRO AT DI RACCOLTA ED IL QUADRO AT - SEZIONE 36 KV DELLA STAZIONE ELETTRICA AAT-AT (380-150-36 KV) DI RTN DI "GALATINA-LE "

Data: Maggio 2023

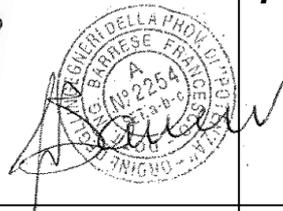
Scala:

Progetto Preliminare
 Definitivo
 As Built

Professionisti:

Ing. Francesco Barrese
Ordine degli Ingegneri di PZ n 2254

Ing. Mauro Ranauro
Ordine degli Ingegneri di PZ n 3486



Caprarica SPV s.r.l.
Piazza Antonio Salvati n.1
00152- Roma
P.Iva 16412011005

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Approvato	Autorizzato

1. PREMESSA

La Società **CAPRARICA SPV S.R.L.** con sede legale in Via Aurelia,1100 00166 ROMA, nell'ambito delle proprie iniziative di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica, ha attivato una iniziativa per la realizzazione e messa in esercizio di una **centrale di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica di potenza nominale $P = 51,9897$ MWp (lato DC) e $P = 50,32$ MW in immissione (lato AC)**

L'impianto di produzione è previsto su aree agricole del comune di Caprarica di Lecce, Sternatia (LE), come di seguito descritte e come rappresentato negli Elaborati di Progetto.

L'impianto è denominato **CAPRARICA**

La seguente **Relazione Tecnica** è da intendersi **definitiva**, in ossequio alla vigente norma CEI 0 -2 (Guida per la definizione della documentazione tecnica di progetto degli impianti elettrici); ha lo scopo, quindi, di descrivere in modo esaustivo, i calcoli di dimensionamento delle linee elettriche interrate, necessarie alla connessione dell'impianto alla Rete a 36 KV di **RTN**.

La Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) emessa da TERNA, Codice di Pratica N° 202200717, con protocollo P20220064358 del 25 – 07 – 2022, prevede che la Centrale di produzione venga collegata in antenna ad un livello di tensione di esercizio $V_e = 36$ KV, su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/150 KV di Galatina (Le).

In ossequio dell'art. 21 dell'Allegato "A" della Delibera "Arg/elt/99/08" di ARERA, la linea in cavo di collegamento tra il Quadro di Raccolta della Centrale Fotovoltaica alla citata SE-380/150/36 KV, costituisce "**impianto di utenza per la connessione**", mentre lo stallo di arrivo del produttore a 36 KV nella SE, costituisce "**l'impianto di rete per la connessione**"

2. INTRODUZIONE

La seguente Relazione Tecnica Specialistica ha lo scopo di fornire le descrizioni tecniche, le scelte e i calcoli degli impianti elettrici, in alta tensione (AT – 36 kV) necessari alla connessione dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica di potenza $P = 50,32$ MW in immissione.

L'intero generatore fotovoltaico si sviluppa in sei aree distinte, tutte nel Comune di Caprarica di Lecce, così individuate:

Lotto N°1

Coordinate baricentro: Lat. 40° 15' 36,63" N ; Lon. 18° 13' 50,08" E

Potenza $P_{DC} = 19,33$ MWp

Potenza $P_{AC} = 18,90$ MW

In tale lotto è previsto anche il **Quadro di Raccolta**, che raccoglie, appunto, la potenza generata dai generatori degli altri lotti.

Le coordinate del punto ove è stato previsto il Quadro di Raccolta, sono:

Lat. 40° 15' 29,35" N; Lon. 18° 14' 06,12" E

Da tale quadro parte la linea in cavo per la connessione dell'intera potenza generata verso la SE-380/150/36 KV di RTN di Galatina (Le).

La distanza tra il Quadro di Raccolta 36 KV e lo stallo a 36 KV nella SE è $L = 18,86$ Km

Lotto N°2

Coordinate baricentro: Lat. 40° 14' 58,85" N; Lon. 18° 15' 21,73" E

Potenza $P_{DC} = 6,48$ MWp

Potenza $P_{AC} = 6,30$ MW

La distanza tra il Quadro terminale del Lotto N°2 e Quadro di Raccolta 36 KV è $L = 2100$ mt

Lotto N°3 - A

Coordinate baricentro: Lat. 40° 15' 17,38" N; Lon. 18° 15' 20,89" E

Potenza $P_{DC} = 9,16$ MWp

Potenza $P_{AC} = 8,80$ MW

La distanza tra il Quadro terminale del Lotto N°3-A e Quadro di Raccolta 36 KV è $L = 2887$ mt

Lotto N°3 - B

Coordinate baricentro: Lat. 40° 15' 03,93" N; Lon. 18° 15' 10,30" E

Potenza $P_{DC} = 4,21$ MWp

Potenza $P_{AC} = 4,00$ MW

La distanza tra il Quadro terminale del Lotto N°3-B e Quadro di Raccolta 36 KV è $L = 2787$ mt

Lotto N°4

Coordinate baricentro: Lat. 40° 15' 10,28" N; Lon. 18° 15' 44,95" E

Potenza $P_{DC} = 5,66$ MWp

Potenza $P_{AC} = 5,00$ MW

La distanza tra il Quadro terminale del Lotto N°4 e Quadro di Raccolta 36 KV è $L = 3760$ mt

Lotto N°5

Coordinate baricentro: Lat. 40° 15' 24,37" N; Lon. 18° 15' 46,59" E

Potenza $P_{DC} = 7,14$ MWp

Potenza $P_{AC} = 6,30$ MW

La distanza tra il Quadro terminale del Lotto N°5 e Quadro di Raccolta 36 KV è $L = 4053$ mt

3. DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE INTERRATE

Sarà effettuato il dimensionamento delle linee interrato interne a ciascuno dei lotti, fino al Quadro di Raccolta ed il dimensionamento della linea interrato compresa tra il Quadro di Raccolta con la sezione a 36 KV della SE 380-150-36 KV di Galatina.

3.1 DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE INTERRATE INTERNE AI LOTTI

Per ciascuna linea il dimensionamento comprenderà i seguenti calcoli e verifiche:

- Calcolo della portata reale I_z di corrente.
- Calcolo della caduta di tensione, parziale e totale, assoluta e percentuale.
- Verifica della tenuta alle correnti di corto circuito.
- Energia dissipata in perdite per la trasmissione.

Per comodità di calcolo si inizia dal Lotto N°5

3.1.1 DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA INTERRATA DI COLLEGAMENTO DEL LOTTO N°5

Dati di partenza

Nel Lotto N°5 sono previsti N°2 cabine di trasformazioni adiacenti, cadauna attrezzata con N°2 trasformatori di potenza unitaria $P=3.150$ KVA; poiché gli stessi sono corredati di ventilatori assiali, lato MT e lato BT, la potenza emungibile può essere superiore del 20% rispetto a quella nominale. Il dimensionamento sarà, quindi, effettuato con il valore di potenza aumentato (indice di sicurezza)

I dati di partenza del dimensionamento sono:

- Potenza di riferimento $P= 6,3$ MW
- Potenza di dimensionamento $P= 7,56$ MW
- Tensione di esercizio $V= 36$ KV
- Frequenza. $F= 50$ Hz
- Corrente di impiego $I_b= 121$ A
- Lunghezza della linea. $L= 4,053$

A. Calcolo della portata reale di corrente

Il calcolo della portata reale I_{zr} di corrente è stata effettuato in ossequio alle raccomandazioni della norma CEI – UNEL 35027 “CAVI DI ENERGIA PER TENSIONI NOMINALI U DA 1 kV A 30 kV – PORTATE DI CORRENTE IN REGIME PERMANENTE -POSA IN ARIA ED INTERRATA”. Revisione Anno 2009-04

Nota: L'utilizzo della succitata norma è stato quello di avere un riferimento procedurale, in quanto la stessa fa riferimento a cavi (tripolari o unipolari) di sezione massima di 300 mmq con un livello massimo di tensione di esercizio di 30 KV.

La portata reale I_{zr} di un cavo, in una determinata condizione di installazione, si ricava con la relazione:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, ed è il prodotto di più coefficienti

La portata di corrente si riferisce a cavi funzionanti in sistemi trifasi equilibrati con frequenza di 50 Hz.

La portata di corrente teorica I_0 indicata nella norma è stata calcolata considerando un funzionamento in regime permanente con un fattore di carico del 100%; secondo la norma in alcune condizioni di funzionamento il carico risulta essere variabile o intermittente per cui le portate di corrente possono essere più elevate; tale condizione è tipica degli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica.

Si è considerato, come più avanti descritto, un incremento del 15%, come raccomandato.

Inoltre la norma CEI – UNEL – 35027 considera esclusivamente cavi con conduttori in rame; i cavi ipotizzati sono con conduttori in alluminio, per cui secondo le indicazioni della norma stessa per ottenere le portate teoriche, si dovrà fare riferimento ai valori con conduttori in rame, applicando un coefficiente di riduzione pari a 0,78, oppure considerare la portata teorica fornita dal costruttore preso a riferimento

Condizioni di posa

Le condizioni di posa delle linee in cavo oggetto del dimensionamento, sono:

- Cavi tripolari, ad elica visibile, posati entro cavidotti in PVC serie pesante, interrati, diametro 160 mm ; percorsi perimetrali alle aree, in modo da non creare interferenze all'interno delle aree stesse di transito.

In ossequio alla norma CEI – EN – 35027 la condizione di posa prevista è:

- Riferimento D1: Cavo tripolare posato in piano orizzontale entro cavidotto

Coesistenza tra cavi di energia e gasdotti

La coesistenza tra cavi di energia e gasdotti è regolamentata dal DM del 24-11-1984, modificato dal DM del 16-04-2008- " Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione e l'accumulo e l'utilizzo del gas naturale con una densità non superiore a 0,8 ". In caso di incroci, tra cavi di energia e tubazioni convoglianti gas naturali, le condizioni di posa ed i provvedimenti da adottare si dovranno definire con gli enti proprietari o concessionari. Da un primo controllo effettuato, lungo il percorso previsto non sono presenti gasdotti.

Attraversamenti di strade statali e provinciali

In corrispondenza degli attraversamenti delle linee in cavo, su strade statali e su strade provinciali, la linea in cavo deve essere disposta entro tubazioni, la cui profondità di posa non sarà minore di 1 mt; la distanza è calcolata dall'estradosso superiore della tubazione. Il percorso previsto non contempla percorsi o attraversamenti su strade statali o provinciali.

Coesistenza tra i cavi di energia ed i cavi di telecomunicazione

Circa gli incroci dei cavi di energia con quelli di comunicazione, quando uno dei cavi è protetto da una tubazione (o similari) non è necessario osservare alcuna precauzione. Nel caso di parallelismi, invece, la distanza minima, in proiezione su di un piano orizzontale, non sarà inferiore a 0,30 mt. Da un primo controllo effettuato, nel percorso previsto non sono presenti cavi di telecomunicazione.

Tipologia di cavo previsto

I cavi tripolari ad elica visibile previsti sono del tipo ARE4H5EX caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- Tensioni nominali 20,8/36 kV
- Tensione massima 42 KV
- Norma di riferimento HD 620 – IEC 60840
- Temperatura massima del conduttore 90° C
- Temperatura massima in corto circuito 250° C
- Temperatura massima dello schermo in corto circuito 150 °C
- Anima in conduttore a corda rotonda compatta di alluminio, classe 2 in ossequio alla norma IEC 60228
- Semiconduttori interno/esterno in mescola estrusa
- Isolante in mescola di elastomero termoplastico (qualità HLPE)
- Rivestimento protettivo in nastro semiconduttore igro-espandente
- Schermatura in nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale.
- Guaina esterna in polietilene di colore rosso (qualità DMP 2)
- Posa: entro cunicoli; tubazioni interrato; interrato; in aria libera; interrato con protezione meccanica.

Portata teorica Izo

Non potendo utilizzare le tabelle della norma per i limiti di tensione, come portata teorica si è considerata quella fornita dal costruttore.

La portata indicata è riferita alle seguenti condizioni :

- Temperatura massima del conduttore 90° C
- Temperatura del terreno 20° C
- Profondità di posa (0,8 – 1,00) mt
- Resistività termica del terreno 1,0 °C • m/W
- Posa su piano orizzontale

- Sezione scelta per il dimensionamento. $S=185 \text{ mmq}$
- Formazione $(3 \times 1 \times 185) \text{ mmq}$

La portata teorica per il singolo cavo unipolare fornita dal produttore è : **$I_{z0} = 321 \text{ A}$**

Considerando l'incremento del 15%, in virtù della corrente intermittente, la portata teorica del cavo, diventa **$I_{z0} = 369 \text{ A}$**

Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche del cavo scelto, di sezione $S=3 \times 1 \times 185 \text{ mmq}$, sono :

- Resistenza apparente dei cavi, per posa interrata, configurazione a trifoglio, alla temperatura di $90 \text{ }^\circ\text{C}$, tensione 20,8/36 KV
 $R=0,211 \text{ ohm/km}$
- Reattanza di fase dei cavi, a 50 Hz, per posa interrata, configurazione in piano, tensione 20,8/36 KV
 $X=0,115 \text{ ohm/km}$.

Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche dei conduttori unipolari, di sezione $S=3 \times 185 \text{ mmq}$, sono:

- Diametro conduttore. $D_c=16,0 \text{ mm}$
- Diametro sull'isolante $D_i=32,6 \text{ mm}$
- Diametro esterno $D_e=87,8 \text{ mm}$
- Raggio minimo di curvatura $R_m=600 \text{ mm}$
- Peso $P=4,350 \text{ Kg/mt}$

Calcolo della portata reale

La portata reale I_{zr} della configurazione scelta di cavi, nelle condizioni reali, è data da:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, che è il prodotto di più coefficienti

Il coefficiente totale di correzione k è :

$$K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d, \text{ ove:}$$

- K_{tt} : coefficiente di correzione per la temperatura del terreno diversa da 20° C . Tabella 18 della Norma.
Alla profondità di posa del cavo si è prevista, molto verosimilmente, una temperatura di 20° C , $K_{tt} = 1$.

- K_p : coefficiente di correzione per valori di profondità di posa diversi da 0,8 mt. Tabella 20 della Norma.
La profondità di posa considerata assume che le caratteristiche del suolo siano omogenee e che non vi sia essiccazione del terreno nella regione circoscritta ai cavi.

Si è ipotizzata una profondità di posa, in alcune condizioni, di 1 mt;
quindi $K_p = 0,98$.

- K_r = coefficiente di correzione per valori di resistività termica diversi da $1,5 \text{ k} \cdot \text{m/W}$. Tabella 22 della Norma.
È stata considerata una resistività termica di $1 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{m/W}$, quindi $K_r = 1,18$
- K_d = coefficiente di spaziatura tra cavi presenti nello stesso scavo;
è previsto un solo cavo, quindi $K_d = 1$.

Quindi $K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d = 1 \cdot 0,98 \cdot 1,18 \cdot 1 = 1,156$

La **portata reale** della linea in cavo prevista, in virtù delle riduzioni ed incrementi indicati, diventa:

$$I_{zr} = 369 \times 1,156 = 426 \text{ A}$$

$$I_{zr} = 426 \text{ A}$$

Verifica della congruità della portata di corrente dei cavi previsti

La corrente di impiego massima I_b in transito sulla linea è $I_b = 121 \text{ A}$

La portata reale della linea, per quanto esposto è $I_{zr} = 426 \text{ A}$

Essendo $I_{zr} > I_b$; $426 > 121 \text{ A}$

Quindi circa la portata I_{zr} , la sezione prevista $S = (3 \times 1 \times 185 \text{ mm}^2)$ è congrua.

B. Calcolo della caduta di tensione

La caduta di tensione calcolata è da intendersi “parziale” cioè relativa alla tratta quadro terminale del Lotto N°5 fino al Quadro di Raccolta ubicato nel Lotto N°1

Nel caso di corrente alternata la caduta di tensione è calcolata con la relazione

$$\Delta V = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos \phi_i + X \cdot \sin \phi_i) \text{ ove:}$$

$K = 1,73$ per linee trifasi

I = corrente di impiego; $I_b = 121 \text{ A}$

L = lunghezza della linea $L = 4,053 \text{ Km}$

R = resistenza della linea alla temperatura massima di servizio (ohm/km)

X = reattanza di fase della linea (ohm/km)

$\cos \phi_i$ = fattore di potenza, posto pari a 0,95

I valori della resistenza R e della reattanza X, forniti dal costruttore, valgono:

Resistenza R

- $S = 185 \text{ mmq}$ $R = 0,211 \text{ ohm/km}$

Reattanza X

- $S = 185 \text{ mmq}$ $X = 0,115 \text{ ohm/km}$

Si è imposto un valore limite parziale ΔV_p massimo dell'1% per i collegamenti di media tensione in esame; si è imposto un valore limite ΔV_t totale, fino alla SE di Galatina, pari al 4 %; quindi :

$$\Delta V_p = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos\phi + X \cdot \sin\phi) = 1,73 \cdot 121 \cdot 4,053 \cdot (0,211 \cdot 0,95 + 0,115 \cdot 0,31) = 200 \text{ Volt}$$

Quindi il valore assoluto della caduta di tensione parziale è $\Delta V_p = 200 \text{ Volt}$

$$\text{Il valore percentuale della caduta di tensione } \Delta V_p\% = \Delta V_p / V \times 100 = 200 / 36.000 \times 100 = 0,56 \%$$

Verifica della congruità della caduta di tensione

Dai calcoli si è ottenuta una caduta di tensione parziale assoluta $\Delta V_p = 200 \text{ Volt}$ e una caduta di tensione percentuale $\Delta V_p\% = 0,56 \%$

$$\Delta V_p\% = 0,56 \% < 1 \%$$

Quindi circa la caduta di tensione percentuale, la sezione prevista $S = (3 \times 185 \text{ mmq})$ è congrua.

C. Energia dissipata in perdite per la trasmissione

Per ogni ora di funzionamento, a pieno carico, si verifica una perdita di potenza per effetto Joule, pari a $P = R I^2 = 0,211 \times 4,053 \times 121^2 = 12,5 \text{ KW}$.

Supponendo un numero di ore annuo di funzionamento pari a 1200 ore, ne consegue una perdita di energia pari a **$E_a = 15,00 \text{ MWh}$**

D. Verifica della tenuta alle correnti di corto circuito

Come si evince da schemi tipici elaborati da TERNA la stazione elettrica 150/36 kV potrebbe prevedere N°1 trasformatore di caratteristiche:

- Potenza nominale $P = 250 \text{ MVA (ONAN-ONAF)}$
- Tensione primaria $V_1 = 150 \text{ kV } \pm 12 \cdot 1,25\%$
- Tensione secondaria $V_2 = 36,6 \text{ kV}$
- Tensione di corto circuito $V_{cc} = 10\%$
- Corrente nominale secondaria $I_2 = 4014 \text{ A}$

Considerando la potenza della rete a 150 KV, di potenza infinita rispetto a quella del trasformatore, la corrente di corto circuito lato 36 KV, quando sarà presente un solo trasformatore, sarà di $I_{cc}=9,60$ KA; con la condizione del funzionamento in parallelo (condizione normale) si determinerà una corrente di corto circuito presunta pari a $I_{cc}=19,20$ KA.

$$I_{cc} = \frac{I_2 \cdot 100}{V_{cc}} = \frac{4014 \cdot 100}{10} = 40,14 \text{ KA}$$

N.B. Comunque un calcolo preciso della corrente di corto circuito presunta sarà possibile a seguito dei valori che TERNA comunicherà con la realizzazione della sezione 150/36 KV

Deve essere soddisfatta la relazione.

$$I^2 t \leq k^2 S^2$$

In pratica l'energia specifica lasciata fluire dall'interruttore MT del quadro, in caso di corto circuito, è inferiore a quella sopportabile dal cavo.

I = corrente di corto circuito presunta = 40,14 kA

t = tempo di interruzione della corrente di corto circuito; considerando un ritardo intenzionale di intervento della funzione di protezione ANSI 50, pari a 30 msec, ed un tempo di 70 msec, affinché l'interruttore intervenga dal momento del consenso del relè, si ha che $t = 100$ msec.

K = costante dipendente dalla natura dell'isolante; nel caso in esame $k = 143$

S = sezione della linea MT, $S = (3 \times 1 \times 185 \text{ mmq.})$

Quindi $I^2 t \leq k^2 S^2$

$$1,6 \times 10^8 < 6,99 \times 10^8$$

La sezione scelta è congrua anche nei confronti della tenuta alle correnti di corto circuito.

CONCLUSIONI

La linea AT-36 KV, costituita da cavo tripolare ad elica visibile, tipo ARE4H5EX in formazione (3 x 1 x 185) mmq è idonea per la connessione tra il Quadro Terminale AT-36 KV del Lotto N°5 con il Quadro di Raccolta del Produttore

Le linee saranno corredate dei necessari giunti e terminali di tipo idoneo con tipologia di cavo previsto.

3.1.2 DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA INTERRATA DI COLLEGAMENTO DEL LOTTO N°4

Dati di partenza

Nel Lotto N°4 sono previsti N°2 cabine di trasformazione poco distanti, cadauna attrezzata con N°1 trasformatori di potenza unitaria $P=2.500$ KVA; poiché gli stessi sono corredati di ventilatori assiali, lato MT e lato BT, la potenza emungibile può essere superiore del 20% rispetto a quella nominale. Il dimensionamento sarà, quindi, effettuato con il valore di potenza aumentato (indice di sicurezza)

I dati di partenza del dimensionamento sono :

- Potenza di riferimento $P= 5,00$ MW
- Potenza di dimensionamento $P= 6,00$ MW
- Tensione di esercizio $V= 36$ KV
- Frequenza. $F= 50$ Hz
- Corrente di impiego $I_b= 97$ A
- Lunghezza della linea. $L= 3,760$ km

A. Calcolo della portata reale di corrente

Il calcolo della portata reale I_{zr} di corrente è stata effettuato in ossequio alle raccomandazioni della norma CEI – UNEL 35027 “CAVI DI ENERGIA PER TENSIONI NOMINALI U DA 1 kV A 30 kV – PORTATE DI CORRENTE IN REGIME PERMANENTE -POSA IN ARIA ED INTERRATA”. Revisione Anno 2009-04

Nota: L'utilizzo della succitata norma è stato quello di avere un riferimento procedurale, in quanto la stessa fa riferimento a cavi (tripolari o unipolari) di sezione massima di 300 mmq con un livello massimo di tensione di esercizio di 30 KV.

La portata reale I_{zr} di un cavo, in una determinata condizione di installazione, si ricava con la relazione:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, ed è il prodotto di più coefficienti

La portata di corrente si riferisce a cavi funzionanti in sistemi trifasi equilibrati con frequenza di 50 Hz.

La portata di corrente teorica I_0 indicata nella norma è stata calcolata considerando un funzionamento in regime permanente con un fattore di carico del 100%; secondo la norma in alcune condizioni di funzionamento il carico risulta essere variabile o intermittente per cui le portate di corrente possono essere più elevate; tale condizione è tipica degli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica.

Si è considerato, come più avanti descritto, un incremento del 15%, come raccomandato.

Inoltre la norma CEI – UNEL – 35027 considera esclusivamente cavi con conduttori in rame; i cavi ipotizzati sono con conduttori in alluminio, per cui secondo le indicazioni

della norma stessa per ottenere le portate teoriche, si dovrà fare riferimento ai valori con conduttori in rame, applicando un coefficiente di riduzione pari a 0,78, oppure considerare la portata teorica fornita dal costruttore preso a riferimento

Condizioni di posa

Le condizioni di posa delle linea in cavo oggetto del dimensionamento, sono:

- Cavi tripolari, ad elica visibile, posati entro cavidotti in PVC serie pesante, interrati, diametro 160 mm ; percorsi perimetrali alle aree, in modo danon creare interferenze all'interno delle aree stesse di transito.

In ossequio alla norma CEI – EN – 35027 la condizione di posa prevista è:

- Riferimento D1: Cavo tripolare posato in piano orizzontale entro cavidotto

Coesistenza tra cavi di energia e gasdotti

La coesistenza tra cavi di energia e gasdotti è regolamentata dal DM del 24-11-1984, modificato dal DM del 16-04-2008- " Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione e l'accumulo e l'utilizzo del gas naturale con una densità non superiore a 0,8 ". In caso di incroci, tra cavi di energia e tubazioni convoglianti gas naturali, le condizioni di posa ed i provvedimenti da adottare si dovranno definire con gli enti proprietari o concessionari. Da un primo controllo effettuato, lungo il percorso previsto non sono presenti gasdotti.

Attraversamenti di strade statali e provinciali

In corrispondenza degli attraversamenti delle linee in cavo, su strade statali e su strade provinciali, la linea in cavo deve essere disposta entro tubazioni, la cui profondità di posa non sarà minore di 1 mt; la distanza è calcolata dall'estradosso superiore della tubazione. Il percorso previsto non contempla percorsi o attraversamenti su strade statali o provinciali.

Coesistenza tra i cavi di energia ed i cavi di telecomunicazione

Circa gli incroci dei cavi di energia con quelli di comunicazione, quando uno dei cavi è protetto da una tubazione (o similari) non è necessario osservare alcuna precauzione. Nel caso di parallelismi, invece, la distanza minima, in proiezione su di un piano orizzontale, non sarà inferiore a 0,30 mt. Da un primo controllo effettuato, nel percorso previsto non sono presenti cavi di telecomunicazione.

Tipologia di cavo previsto

I cavi tripolari ad elica visibile previsti sono del tipo ARE4H5EX caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- | | |
|---|--------------------|
| • Tensioni nominali | 20,8/36 kV |
| • Tensione massima | 42 KV |
| • Norma di riferimento | HD 620 – IEC 60840 |
| • Temperatura massima del conduttore | 90° C |
| • Temperatura massima in corto circuito | 250° |

- Temperatura massima dello schermo
in corto circuito 150 °C
- Anima in conduttore a corda rotonda compatta di alluminio,
classe 2 in ossequio alla norma IEC 60228
- Semiconduttori interno/esterno in mescola estrusa
- Isolante in mescola di elastomero termoplastico (qualità HLPE)
- Rivestimento protettivo in nastro semiconduttore igro-espandente
- Schermatura in nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale.
- Guaina esterna in polietilene di colore rosso (qualità DMP 2)
- Posa: entro cunicoli; tubazioni interrate; interrato; in aria libera; interrato con protezione meccanica.

Portata teorica Izo

Non potendo utilizzare le tabelle della norma per i limiti di tensione, come portata teorica si è considerata quella fornita dal costruttore.

La portata indicata è riferita alle seguenti condizioni:

- Temperatura massima del conduttore 90° C
- Temperatura del terreno 20° C
- Profondità di posa (0,8 – 1,00) mt
- Resistività termica del terreno 1,0 °C • m/W
- Posa su piano orizzontale
- Sezione scelta per il dimensionamento. S=185 mmq
- Formazione (3 x 1 x 185) mmq

La portata teorica per il singolo cavo unipolare fornita dal produttore è : **Izo= 321 A**

Considerando l'incremento del 15%, in virtù della corrente intermittente, la portata teorica del cavo , diventa **Izo= 369 A**

Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche del cavo scelto, di sezione S=3x1x185 mmq, sono:

- Resistenza apparente dei cavi, per posa interrata, configurazione a trifoglio, alla temperatura di 90 °C, tensione 20,8/36 KV
R=0,211 ohm/km
- Reattanza di fase dei cavi, a 50 Hz, per posa interrata, configurazione in piano, tensione 20,8/36 KV
X=0,115 ohm/km.

Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche dei conduttori unipolari, di sezione $S=3 \times 185 \text{ mm}^2$, sono:

- Diametro conduttore. $D_c=16,0 \text{ mm}$
- Diametro sull'isolante $D_i=32,6 \text{ mm}$
- Diametro esterno $D_e=87,8 \text{ mm}$
- Raggio minimo di curvatura $R_m=600 \text{ mm}$
- Peso $P=4,350 \text{ Kg/mt}$

Calcolo della portata reale

La portata reale I_{zr} della configurazione scelta di cavi, nelle condizioni reali, è data da:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, che è il prodotto di più coefficienti

Il coefficiente totale di correzione k è :

$$K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d, \text{ ove:}$$

- K_{tt} : coefficiente di correzione per la temperatura del terreno diversa da 20° C .
Tabella 18 della Norma.
Alla profondità di posa del cavo si è prevista, molto verosimilmente, una temperatura di 20° C , $K_{tt} = 1$.
- K_p : coefficiente di correzione per valori di profondità di posa diversi da $0,8 \text{ mt}$.
Tabella 20 della Norma.
La profondità di posa considerata assume che le caratteristiche del suolo siano omogenee e che non vi sia essiccazione del terreno nella regione circoscritta ai cavi.

Si è ipotizzata una profondità di posa, in alcune condizioni, di 1 mt ;
quindi $K_p = 0,98$.

- K_r = coefficiente di correzione per valori di resistività termica diversi da $1,5 \text{ k} \cdot \text{m/W}$. Tabella 22 della Norma.
È stata considerata una resistività termica di $1^\circ \text{ C} \cdot \text{m/W}$, quindi $K_r = 1,18$
- K_d = coefficiente di spaziatura tra cavi presenti nello stesso scavo;
è previsto un solo cavo, quindi $K_d = 1$.

$$\text{Quindi } K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d = 1 \cdot 0,98 \cdot 1,18 \cdot 1 = 1,156$$

La **portata reale** della linea in cavo prevista, in virtù delle riduzioni ed incrementi indicati, diventa:

$$I_{zr} = 369 \times 1,156 = 426 \text{ A}$$

$$I_{zr} = 426 \text{ A}$$

Verifica della congruità della portata di corrente dei cavi previsti

La corrente di impiego massima I_b in transito sulla linea è $I_b = 97 \text{ A}$

La portata reale della linea, per quanto esposto è $I_{zr} = 426 \text{ A}$

Essendo $I_{zr} > I_b$; $426 > 97 \text{ A}$

Quindi circa la portata I_{zr} , la sezione prevista $S = (3 \times 185 \text{ mm}^2)$ è congrua.

B. Calcolo della caduta di tensione

La caduta di tensione calcolata è da intendersi “parziale” cioè relativa alla tratta quadro terminale del Lotto N°4 fino al Quadro di Raccolta ubicato nel Lotto N°1

Nel caso di corrente alternata la caduta di tensione è calcolata con la relazione

$$\Delta V = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \text{ ove:}$$

$K = 1,73$ per linee trifasi

$I =$ corrente di impiego; $I_b = 97 \text{ A}$

$L =$ lunghezza della linea $L = 3,760 \text{ Km}$

$R =$ resistenza della linea alla temperatura massima di servizio (ohm/km)

$X =$ reattanza di fase della linea (ohm/km)

$\cos \phi =$ fattore di potenza, posto pari a 0,95

I valori della resistenza R e della reattanza X , forniti dal costruttore, valgono:

Resistenza R

- $S = 185 \text{ mm}^2$ $R = 0,211 \text{ ohm/km}$

Reattanza X

- $S = 185 \text{ mm}^2$ $X = 0,115 \text{ ohm/km}$

Si è imposto un valore limite parziale ΔV_p massimo dell'1% per i collegamenti di media tensione in esame; si è imposto un valore limite ΔV_t totale, fino alla SE di Galatina, pari al 4 %; quindi :

$$\Delta V_p = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos \phi + X \sin \phi) = 1,73 \cdot 97 \cdot 3,760 \cdot (0,211 \cdot 0,95 + 0,115 \cdot 0,31) = 149 \text{ Volt}$$

Quindi il valore assoluto della caduta di tensione parziale è $\Delta V_p = 149$ Volt

Il valore percentuale della caduta di tensione $\Delta V_p\% = \Delta V_p / V \times 100 =$

$$149 / 36.000 \times 100 = 0,42 \%$$

Verifica della congruità della caduta di tensione

Dai calcoli si è ottenuta una caduta di tensione parziale assoluta $\Delta V_p = 149$ Volte una caduta di tensione percentuale $\Delta V_p\% = 0,42 \%$

$$\Delta V_p\% = 0,42 \% < 1 \%$$

Quindi circa la caduta di tensione percentuale, la sezione prevista $S = (3 \times 185 \text{ mm}^2)$ è congrua.

C. Energia dissipata in perdite per la trasmissione

Per ogni ora di funzionamento, a pieno carico, si verifica una perdita di potenza per effetto Joule, pari a $P = RI^2 = 0,211 \times 3,760 \times 97^2 = 7,5$ KW.

Supponendo un numero di ore annuo di funzionamento pari a 1200 ore, ne consegue una perdita di energia pari a **Ea=9,00 MWh**

D. Verifica della tenuta alle correnti di corto circuito

Come si evince da schemi tipici elaborati da TERNA la stazione elettrica 150/36 kV potrebbe prevedere N°1 trasformatore di caratteristiche:

- Potenza nominale $P = 250$ MVA (ONAN-ONAF)
- Tensione primaria $V_1 = 150$ kV $\pm 12 \cdot 1,25\%$
- Tensione secondaria $V_2 = 36,6$ kV
- Tensione di corto circuito $V_{cc} = 10\%$
- Corrente nominale secondaria $I_2 = 4014$ A

Considerando la potenza della rete a 150 KV, di potenza infinita rispetto a quella del trasformatore, la corrente di corto circuito lato 36 KV, quando sarà presente un solo trasformatore, sarà di $I_{cc} = 9,60$ KA; con la condizione del funzionamento in parallelo (condizione normale) si determinerà una corrente di corto circuito presunta pari a $I_{cc} = 19,20$ KA.

$$I_{cc} = \frac{I_2 \cdot 100}{V_{cc}} = \frac{4014 \cdot 100}{10} = 40,14 \text{ KA}$$

N.B. Comunque un calcolo preciso della corrente di corto circuito presunta sarà possibile a seguito dei valori che TERNA comunicherà con la realizzazione della sezione 150/36 KV

Deve essere soddisfatta la relazione.

$$I^2 t \leq k^2 S^2$$

In pratica l'energia specifica lasciata fluire dall'interruttore MT del quadro, in caso di corto circuito, è inferiore a quella sopportabile dal cavo.

I = corrente di corto circuito presunta = 40,14 kA

t = tempo di interruzione della corrente di corto circuito; considerando un ritardo intenzionale di intervento della funzione di protezione ANSI 50, pari a 30 msec, ed un tempo di 70 msec, affinché l'interruttore intervenga dal momento del consenso del relè, si ha che $t = 100$ msec.

K = costante dipendente dalla natura dell'isolante; nel caso in esame $k = 143$

S = sezione della linea MT, $S = (3 \times 1 \times 185 \text{ mmq.})$

Quindi $I^2 t \leq k^2 S^2$

$1,6 \times 10^8 < 6,99 \times 10^8$

La sezione scelta è congrua anche nei confronti della tenuta alle correnti di corto circuito.

CONCLUSIONI

La linea AT-36 KV, costituita da cavo tripolare ad elica visibile, tipo ARE4H5EX in formazione (3 x 1 x 185) mmq è idonea per la connessione tra il Quadro Terminale AT-36 KV del Lotto N°4 con il Quadro di Raccolta del Produttore

Le linee saranno corredate dei necessari giunti e terminali di tipo idoneo con tipologia di cavo previsto.

3.1.3 DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA INTERRATA DI COLLEGAMENTO DEL LOTTO N°3-B

Dati di partenza

Nel Lotto N°3-B sono previsti N°2 cabine di trasformazione adiacenti, di spalla, cadauna attrezzata con N°1 trasformatore di potenza unitaria $P=2.000$ KVA; poiché gli stessi sono corredati di ventilatori assiali, lato MT e lato BT, la potenza emungibile può essere superiore del 20% rispetto a quella nominale. Il dimensionamento sarà, quindi, effettuato con il valore di potenza aumentato (indice di sicurezza)

I dati di partenza del dimensionamento sono:

- Potenza di riferimento $P= 4,00$ MW
- Potenza di dimensionamento $P= 4,80$ MW
- Tensione di esercizio $V= 36$ KV
- Frequenza. $F= 50$ Hz
- Corrente di impiego $I_b= 77$ A
- Lunghezza della linea. $L= 2,787$ km

A. Calcolo della portata reale di corrente

Il calcolo della portata reale I_{zr} di corrente è stata effettuato in ossequio alle raccomandazioni della norma CEI – UNEL 35027 “CAVI DI ENERGIA PER TENSIONI NOMINALI U DA 1 kV A 30 kV – PORTATE DI CORRENTE IN REGIME PERMANENTE -POSA IN ARIA ED INTERRATA”. Revisione Anno 2009-04

Nota: L'utilizzo della succitata norma è stato quello di avere un riferimento procedurale, in quanto la stessa fa riferimento a cavi (tripolari o unipolari) di sezione massima di 300 mmq con un livello massimo di tensione di esercizio di 30 KV.

La portata reale I_{zr} di un cavo, in una determinata condizione di installazione, si ricava con la relazione:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, ed è il prodotto di più coefficienti

La portata di corrente si riferisce a cavi funzionanti in sistemi trifasi equilibrati con frequenza di 50 Hz.

La portata di corrente teorica I_0 indicata nella norma è stata calcolata considerando un funzionamento in regime permanente con un fattore di carico del 100%; secondo la norma in alcune condizioni di funzionamento il carico risulta essere variabile o intermittente per cui le portate di corrente possono essere più elevate; tale condizione è tipica degli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica.

Si è considerato, come più avanti descritto, un incremento del 15%, come raccomandato.

Inoltre la norma CEI – UNEL – 35027 considera esclusivamente cavi con conduttori in

rame; i cavi ipotizzati sono con conduttori in alluminio, per cui secondo le indicazioni della norma stessa per ottenere le portate teoriche, si dovrà fare riferimento ai valori con conduttori in rame, applicando un coefficiente di riduzione pari a 0,78, oppure considerare la portata teorica fornita dal costruttore preso a riferimento

Condizioni di posa

Le condizioni di posa delle linee in cavo oggetto del dimensionamento, sono:

- Cavi tripolari, ad elica visibile, posati entro cavidotti in PVC serie pesante, interrati, diametro 160 mm; percorsi perimetrali alle aree, in modo da non creare interferenze all'interno delle aree stesse di transito.

In ossequio alla norma CEI – EN – 35027 la condizione di posa prevista è:

- Riferimento D1: Cavo tripolare posato in piano orizzontale entro cavidotto

Coesistenza tra cavi di energia e gasdotti

La coesistenza tra cavi di energia e gasdotti è regolamentata dal DM del 24-11-1984, modificato dal DM del 16-04-2008- " Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione e l'accumulo e l'utilizzo del gas naturale con una densità non superiore a 0,8 ". In caso di incroci, tra cavi di energia e tubazioni convoglianti gas naturali, le condizioni di posa ed i provvedimenti da adottare si dovranno definire con gli enti proprietari o concessionari. Da un primo controllo effettuato, lungo il percorso previsto non sono presenti gasdotti.

Attraversamenti di strade statali e provinciali

In corrispondenza degli attraversamenti delle linee in cavo, su strade statali e su strade provinciali, la linea in cavo deve essere disposta entro tubazioni, la cui profondità di posa non sarà minore di 1 mt; la distanza è calcolata dall'estradosso superiore della tubazione. Il percorso previsto non contempla percorsi o attraversamenti su strade statali o provinciali.

Coesistenza tra i cavi di energia ed i cavi di telecomunicazione

Circa gli incroci dei cavi di energia con quelli di comunicazione, quando uno dei cavi è protetto da una tubazione (o similari) non è necessario osservare alcuna precauzione. Nel caso di parallelismi, invece, la distanza minima, in proiezione su di un piano orizzontale, non sarà inferiore a 0,30 mt. Da un primo controllo effettuato, nel percorso previsto non sono presenti cavi di telecomunicazione.

Tipologia di cavo previsto

I cavi tripolari ad elica visibile previsti sono del tipo ARE4H5EX caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- | | |
|---|--------------------|
| • Tensioni nominali | 20,8/36 kV |
| • Tensione massima | 42 KV |
| • Norma di riferimento | HD 620 – IEC 60840 |
| • Temperatura massima del conduttore | 90° C |
| • Temperatura massima in corto circuito | 250° C |

- Temperatura massima dello schermo
in corto circuito 150 °C
- Anima in conduttore a corda rotonda compatta di alluminio,
classe 2 in ossequio alla norma IEC 60228
- Semiconduttori interno/esterno in mescola estrusa
- Isolante in mescola di elastomero termoplastico (qualità HLPE)
- Rivestimento protettivo in nastro semiconduttore igro-espandente
- Schermatura in nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale.
- Guaina esterna in polietilene di colore rosso (qualità DMP 2)
- Posa: entro cunicoli; tubazioni interrate; interrato; in aria libera; interrato con protezione meccanica.

Portata teorica Izo

Non potendo utilizzare le tabelle della norma per i limiti di tensione, come portata teorica si è considerata quella fornita dal costruttore.

La portata indicata è riferita alle seguenti condizioni:

- Temperatura massima del conduttore 90° C
- Temperatura del terreno 20° C
- Profondità di posa (0,8 – 1,00) mt
- Resistività termica del terreno 1,0 °C • m/W
- Posa su piano orizzontale
- Sezione scelta per il dimensionamento. S=185 mmq
- Formazione (3 x 1 x 185) mmq

La portata teorica per il singolo cavo unipolare fornita dal produttore è: **Izo= 321 A**

Considerando l'incremento del 15%, in virtù della corrente intermittente, la portata teorica del cavo , diventa **Izo= 369 A**

Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche del cavo scelto, di sezione S=3x1x185 mmq, sono:

- Resistenza apparente dei cavi, per posa interrata, configurazione a trifoglio, alla temperatura di 90 °C, tensione 20,8/36 KV
R=0,211 ohm/km
- Reattanza di fase dei cavi, a 50 Hz, per posa interrata, configurazione in piano, tensione 20,8/36 KV
X=0,115 ohm/km.

Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche dei conduttori unipolari, di sezione $S=3 \times 185 \text{ mm}^2$, sono:

- Diametro conduttore. $D_c=16,0 \text{ mm}$
- Diametro sull'isolante $D_i=32,6 \text{ mm}$
- Diametro esterno $D_e=87,8 \text{ mm}$
- Raggio minimo di curvatura $R_m=600 \text{ mm}$
- Peso $P=4,350 \text{ Kg/mt}$

Calcolo della portata reale

La portata reale I_{zr} della configurazione scelta di cavi, nelle condizioni reali, è data da:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, che è il prodotto di più coefficienti

Il coefficiente totale di correzione k è:

$$K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d, \text{ ove:}$$

- K_{tt} : coefficiente di correzione per la temperatura del terreno diversa da 20° C .
Tabella 18 della Norma.
Alla profondità di posa del cavo si è prevista, molto verosimilmente, una temperatura di 20° C , $K_{tt} = 1$.
- K_p : coefficiente di correzione per valori di profondità di posa diversi da $0,8 \text{ mt}$.
Tabella 20 della Norma.
La profondità di posa considerata assume che le caratteristiche del suolo siano omogenee e che non vi sia essiccazione del terreno nella regione circoscritta ai cavi.

Si è ipotizzata una profondità di posa, in alcune condizioni, di 1 mt ;
quindi $K_p = 0,98$.

- K_r = coefficiente di correzione per valori di resistività termica diversi da $1,5 \text{ k} \cdot \text{m/W}$. Tabella 22 della Norma.
È stata considerata una resistività termica di $1^\circ \text{ C} \cdot \text{m/W}$, quindi $K_r = 1,18$
- K_d = coefficiente di spaziatura tra cavi presenti nello stesso scavo;
è previsto un solo cavo, quindi $K_d = 1$.

$$\text{Quindi } K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d = 1 \cdot 0,98 \cdot 1,18 \cdot 1 = 1,156$$

La **portata reale** della linea in cavo prevista, in virtù delle riduzioni ed incrementi indicati, diventa:

$$I_{zr} = 369 \times 1,156 = 426 \text{ A}$$

$$I_{zr} = 426 \text{ A}$$

Verifica della congruità della portata di corrente dei cavi previsti

La corrente di impiego massima I_b in transito sulla linea è $I_b = 77 \text{ A}$

La portata reale della linea, per quanto esposto è $I_{zr} = 426 \text{ A}$

Essendo $I_{zr} > I_b$; $426 > 77 \text{ A}$

Quindi circa la portata I_{zr} , la sezione prevista $S = (3 \times 185 \text{ mm}^2)$ è congrua.

B. Calcolo della caduta di tensione

La caduta di tensione calcolata è da intendersi “parziale” cioè relativa alla tratta quadro terminale del Lotto N°3-B fino al Quadro di Raccolta ubicato nel Lotto N°1

Nel caso di corrente alternata la caduta di tensione è calcolata con la relazione

$$\Delta V = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \text{ ove:}$$

$K = 1,73$ per linee trifasi

$I =$ corrente di impiego; $I_b = 77 \text{ A}$

$L =$ lunghezza della linea $L = 2,787 \text{ Km}$

$R =$ resistenza della linea alla temperatura massima di servizio (ohm/km)

$X =$ reattanza di fase della linea (ohm/km)

$\cos \phi =$ fattore di potenza, posto pari a 0,95

I valori della resistenza R e della reattanza X , forniti dal costruttore, valgono :

Resistenza R

- $S = 185 \text{ mm}^2$ $R = 0,211 \text{ ohm/km}$

Reattanza X

- $S = 185 \text{ mm}^2$ $X = 0,115 \text{ ohm/km}$

Si è imposto un valore limite parziale ΔV_p massimo dell'1% per i collegamenti di media tensione in esame; si è imposto un valore limite ΔV_t totale, fino alla SE di Galatina, pari al 4 %; quindi :

$$\Delta V_p = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos\phi + X \sin\phi) = 1,73 \cdot 77 \cdot 2,787 \cdot (0,211 \cdot 0,95 + 0,115 \cdot 0,31) = 88 \text{ Volt}$$

Quindi il valore assoluto della caduta di tensione parziale è $\Delta V_p = 88$ Volt

$$\text{Il valore percentuale della caduta di tensione } \Delta V_p\% = \Delta V_p / V \times 100 = 88 / 36.000 \times 100 = 0,25 \%$$

Verifica della congruità della caduta di tensione

Dai calcoli si è ottenuta una caduta di tensione parziale assoluta $\Delta V_p = 88$ Volt ed una caduta di tensione percentuale $\Delta V_p\% = 0,25 \%$

$$\Delta V_p\% = 0,25 \% < 1 \%$$

Quindi circa la caduta di tensione percentuale, la sezione prevista $S = (3 \times 1 \times 185 \text{ mm}^2)$ è congrua.

C. Energia dissipata in perdite per la trasmissione

Per ogni ora di funzionamento, a pieno carico, si verifica una perdita di potenza per effetto Joule, pari a $P = RI^2 = 0,211 \times 2,787 \times 77^2 = 3,5 \text{ KW}$.

Supponendo un numero di ore annuo di funzionamento pari a 1200 ore, ne consegue una perdita di energia pari a **Ea=4,20 MWh**

D. Verifica della tenuta alle correnti di corto circuito

Come si evince da schemi tipici elaborati da TERNA la stazione elettrica 150/36 kV potrebbe prevedere N°1 trasformatore di caratteristiche:

- Potenza nominale $P = 250 \text{ MVA (ONAN-ONAF)}$
- Tensione primaria $V_1 = 150 \text{ kV } \pm 12 \cdot 1,25\%$
- Tensione secondaria $V_2 = 36,6 \text{ kV}$
- Tensione di corto circuito $V_{cc} = 10\%$
- Corrente nominale secondaria $I_2 = 4014 \text{ A}$

Considerando la potenza della rete a 150 KV, di potenza infinita rispetto a quella del trasformatore, la corrente di corto circuito lato 36 KV, quando sarà presente un solo trasformatore, sarà di $I_{cc} = 9,60 \text{ KA}$; con la condizione del funzionamento in parallelo (condizione normale) si determinerà una corrente di corto circuito presunta pari a $I_{cc} = 19,20 \text{ KA}$.

$$I_{cc} = \frac{I_2 \cdot 100}{V_{cc}} = \frac{4014 \cdot 100}{10} = 40,14 \text{ KA}$$

N.B. Comunque un calcolo preciso della corrente di corto circuito presunta sarà possibile a seguito dei valori che TERNA comunicherà con la realizzazione della sezione 150/36 KV

Deve essere soddisfatta la relazione.

$$I^2t \leq k^2 S^2$$

In pratica l'energia specifica lasciata fluire dall'interruttore MT del quadro, in caso di corto circuito, è inferiore a quella sopportabile dal cavo.

I = corrente di corto circuito presunta = 40,14 kA

t = tempo di interruzione della corrente di corto circuito; considerando un ritardo intenzionale di intervento della funzione di protezione ANSI 50, pari a 30 msec, ed un tempo di 70 msec, affinché l'interruttore intervenga dal momento del consenso del relè, si ha che t = 100 msec.

K = costante dipendente dalla natura dell'isolante; nel caso in esame k = 143

S = sezione della linea MT, S = (3x1x185 mmq.)

Quindi $I^2t \leq k^2 S^2$

$$1,6 \times 10^8 < 6,99 \times 10^8$$

La sezione scelta è congrua anche nei confronti della tenuta alle correnti di corto circuito.

CONCLUSIONI

La linea AT-36 KV, costituita da cavo tripolare ad elica visibile, tipo ARE4H5EX in formazione (3 x 1 x 185) mmq è idonea per la connessione tra il Quadro Terminale AT-36 KV del Lotto N°3-B con il Quadro di Raccolta del Produttore

Le linee saranno corredate dei necessari giunti e terminali di tipo idoneo con tipologia di cavo previsto.

3.1.4 DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA INTERRATA DI COLLEGAMENTO DEL LOTTO N°3-A

Dati di partenza

Nel Lotto N°3-A sono previsti N°3 cabine di trasformazione di cui N°2 adiacenti, ed una più distante; N°2 sono attrezzate, cadauna, con N°1 trasformatore di potenza unitaria $P=3.150$ KVA e N°1 attrezzata con un trasformatore di potenza $P=2.500$ KVA. Poiché i trasformatori sono corredati di ventilatori assiali, lato MT e lato BT, la potenza emungibile può essere superiore del 20% rispetto a quella nominale.

Il dimensionamento sarà, quindi, effettuato con il valore di potenza aumentato (indice di sicurezza)

I dati di partenza del dimensionamento sono:

- Potenza di riferimento $P= 8,80$ MW
- Potenza di dimensionamento $P= 10,560$ MW
- Tensione di esercizio $V= 36$ KV
- Frequenza. $F= 50$ Hz
- Corrente di impiego $I_b= 170$ A
- Lunghezza della linea. $L= 2,887$ km

A. Calcolo della portata reale di corrente

Il calcolo della portata reale I_{zr} di corrente è stata effettuato in ossequio alle raccomandazioni della norma CEI – UNEL 35027 “CAVI DI ENERGIA PER TENSIONI NOMINALI U DA 1 kV A 30 kV – PORTATE DI CORRENTE IN REGIME PERMANENTE -POSA IN ARIA ED INTERRATA”. Revisione Anno 2009-04

Nota: L'utilizzo della succitata norma è stato quello di avere un riferimento procedurale, in quanto la stessa fa riferimento a cavi (tripolari o unipolari) di sezione massima di 300 mmq con un livello massimo di tensione di esercizio di 30 KV.

La portata reale I_{zr} di un cavo, in una determinata condizione di installazione, si ricava con la relazione:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, ed è il prodotto di più coefficienti

La portata di corrente si riferisce a cavi funzionanti in sistemi trifasi equilibrati con frequenza di 50 Hz.

La portata di corrente teorica I_0 indicata nella norma è stata calcolata considerando un funzionamento in regime permanente con un fattore di carico del 100%; secondo la norma in alcune condizioni di funzionamento il carico risulta essere variabile o intermittente per cui le portate di corrente possono essere più elevate; tale condizione è tipica degli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica.

Si è considerato, come più avanti descritto, un incremento del 15%, come

raccomandato.

Inoltre la norma CEI – UNEL – 35027 considera esclusivamente cavi con conduttori in rame; i cavi ipotizzati sono con conduttori in alluminio, per cui secondo le indicazioni della norma stessa per ottenere le portate teoriche, si dovrà fare riferimento ai valori con conduttori in rame, applicando un coefficiente di riduzione pari a 0,78, oppure considerare la portata teorica fornita dal costruttore preso a riferimento

Condizioni di posa

Le condizioni di posa delle linee in cavo oggetto del dimensionamento, sono:

- Cavi tripolari, ad elica visibile, posati entro cavidotti in PVC serie pesante, interrati, diametro 160 mm; percorsi perimetrali alle aree, in modo da non creare interferenze all'interno delle aree stesse di transito.

In ossequio alla norma CEI – EN – 35027 la condizione di posa prevista è:

- Riferimento D1: Cavo tripolare posato in piano orizzontale entro cavidotto

Coesistenza tra cavi di energia e gasdotti

La coesistenza tra cavi di energia e gasdotti è regolamentata dal DM del 24-11-1984, modificato dal DM del 16-04-2008- “ Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione e l'accumulo e l'utilizzo del gas naturale con una densità non superiore a 0,8 “. In caso di incroci, tra cavi di energia e tubazioni convoglianti gas naturali, le condizioni di posa ed i provvedimenti da adottare si dovranno definire con gli enti proprietari o concessionari. Da un primo controllo effettuato, lungo il percorso previsto non sono presenti gasdotti.

Attraversamenti di strade statali e provinciali

In corrispondenza degli attraversamenti delle linee in cavo, su strade statali e su strade provinciali, la linea in cavo deve essere disposta entro tubazioni, la cui profondità di posa non sarà minore di 1 mt; la distanza è calcolata dall'estradosso superiore della tubazione. Il percorso previsto non contempla percorsi o attraversamenti su strade statali o provinciali.

Coesistenza tra i cavi di energia ed i cavi di telecomunicazione

Circa gli incroci dei cavi di energia con quelli di comunicazione, quando uno dei cavi è protetto da una tubazione (o similari) non è necessario osservare alcuna precauzione. Nel caso di parallelismi, invece, la distanza minima, in proiezione su di un piano orizzontale, non sarà inferiore a 0,30 mt. Da un primo controllo effettuato, nel percorso previsto non sono presenti cavi di telecomunicazione.

Tipologia di cavo previsto

I cavi tripolari ad elica visibile previsti sono del tipo ARE4H5EX caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------|
| • Tensioni nominali | 20,8/36 kV |
| • Tensione massima | 42 KV |
| • Norma di riferimento | HD 620 – IEC 60840 |
| • Temperatura massima del conduttore | 90° C |

- Temperatura massima in corto circuito 250° C
- Temperatura massima dello schermo
in corto circuito 150 °C
- Anima in conduttore a corda rotonda compatta di alluminio,
classe 2 in ossequio alla norma IEC 60228
- Semiconduttori interno/esterno in mescola estrusa
- Isolante in mescola di elastomero termoplastico (qualità HLPE)
- Rivestimento protettivo in nastro semiconduttore igro-espandente
- Schermatura in nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale.
- Guaina esterna in polietilene di colore rosso (qualità DMP 2)
- Posa: entro cunicoli; tubazioni interrate; interrato; in aria libera; interrato con
protezione meccanica.

Portata teorica Izo

Non potendo utilizzare le tabelle della norma per i limiti di tensione, come portata teorica si è considerata quella fornita dal costruttore.

La portata indicata è riferita alle seguenti condizioni:

- Temperatura massima del conduttore 90° C
- Temperatura del terreno 20° C
- Profondità di posa (0,8 – 1,00) mt
- Resistività termica del terreno 1,0 °C • m/W
- Posa su piano orizzontale
- Sezione scelta per il dimensionamento. S=185 mmq
- Formazione (3 x 1 x 185) mmq

La portata teorica per il singolo cavo unipolare fornita dal produttore è : **Izo= 321 A**

Considerando l'incremento del 15%, in virtù della corrente intermittente, la portata teorica del cavo, diventa **Izo= 369 A**

Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche del cavo scelto, di sezione S=3x1x185 mmq, sono:

- Resistenza apparente dei cavi, per posa interrata, configurazione a trifoglio, alla temperatura di 90 °C, tensione 20,8/36 KV
R=0,211 ohm/km

- Reattanza di fase dei cavi, a 50 Hz, per posa interrata, configurazione in piano, tensione 20,8/36 KV
X=0,115 ohm/km.

Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche dei conduttori unipolari, di sezione S=3x185 mmq, sono:

- Diametro conduttore. Dc=16,0 mm
- Diametro sull'isolante Di=32,6 mm
- Diametro esterno De=87,8 mm
- Raggio minimo di curvatura Rm=600 mm
- Peso P=4,350 Kg/mt

Calcolo della portata reale

La portata reale I_{zr} della configurazione scelta di cavi, nelle condizioni reali, è data da:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, che è il prodotto di più coefficienti

Il coefficiente totale di correzione k è :

$$K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d , \text{ ove:}$$

- K_{tt}: coefficiente di correzione per la temperatura del terreno diversa da 20° C. Tabella 18 della Norma.
Alla profondità di posa del cavo si è prevista, molto verosimilmente, una temperatura di 20° C, K_{tt} = 1.
- K_p: coefficiente di correzione per valori di profondità di posa diversi da 0,8 mt. Tabella 20 della Norma.
La profondità di posa considerata assume che le caratteristiche del suolo siano omogenee e che non vi sia essiccazione del terreno nella regione circoscritta ai cavi.

Si è ipotizzata una profondità di posa, in alcune condizioni, di 1 mt;
quindi K_p =0,98.

- K_r = coefficiente di correzione per valori di resistività termica diversi da 1,5 k •m/W. Tabella 22 della Norma.
È stata considerata una resistività termica di 1 °C • m/W, quindi K_r = 1,18
- K_d = coefficiente di spaziatura tra cavi presenti nello stesso scavo;
è previsto un solo cavo, quindi K_d=1.

$$\text{Quindi } K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d = 1 \cdot 0,98 \cdot 1,18 \cdot 1 = 1,156$$

La **portata reale** della linea in cavo prevista, in virtù delle riduzioni ed incrementi indicati, diventa:

$$I_{zr} = 369 \times 1,156 = 426 \text{ A}$$

$$I_{zr} = 426 \text{ A}$$

Verifica della congruità della portata di corrente dei cavi previsti

La corrente di impiego massima I_b in transito sulla linea è $I_b = 170 \text{ A}$

La portata reale della linea, per quanto esposto è $I_{zr} = 426 \text{ A}$

Essendo $I_{zr} > I_b$; $426 > 170 \text{ A}$

Quindi circa la portata I_{zr} , la sezione prevista $S = (3 \times 1 \times 185 \text{ mm}^2)$ è congrua.

B. Calcolo della caduta di tensione

La caduta di tensione calcolata è da intendersi “parziale” cioè relativa alla tratta quadro terminale del Lotto N°3-B fino al Quadro di Raccolta ubicato nel Lotto N°1

Nel caso di corrente alternata la caduta di tensione è calcolata con la relazione

$$\Delta V = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos \phi_i + X \cdot \sin \phi_i) \text{ ove:}$$

$K = 1,73$ per linee trifasi

$I =$ corrente di impiego; $I_b = 170 \text{ A}$

$L =$ lunghezza della linea $L = 2,887 \text{ Km}$

$R =$ resistenza della linea alla temperatura massima di servizio (ohm/km)

$X =$ reattanza di fase della linea (ohm/km)

$\cos \phi_i =$ fattore di potenza, posto pari a 0,95

I valori della resistenza R e della reattanza X , forniti dal costruttore, valgono :

Resistenza R

- $S = 185 \text{ mm}^2$ $R = 0,211 \text{ ohm/km}$

Reattanza X

- $S = 185 \text{ mm}^2$ $X = 0,115 \text{ ohm/km}$

Si è imposto un valore limite parziale ΔV_p massimo dell'1% per i collegamenti di media tensione in esame; si è imposto un valore limite ΔV_t totale, fino alla SE di Galatina, pari al 4 %; quindi :

$$\Delta V_p = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos\phi + X \sin\phi) = 1,73 \cdot 170 \cdot 2,887 \cdot (0,211 \cdot 0,95 + 0,115 \cdot 0,31) = 200 \text{ Volt}$$

Quindi il valore assoluto della caduta di tensione parziale è $\Delta V_p = 200 \text{ Volt}$

$$\text{Il valore percentuale della caduta di tensione } \Delta V_p\% = \Delta V_p / V \times 100 = 200 / 36.000 \times 100 = 0,56 \%$$

Verifica della congruità della caduta di tensione

Dai calcoli si è ottenuta una caduta di tensione parziale assoluta $\Delta V_p = 200 \text{ Volt}$ ed una caduta di tensione percentuale $\Delta V_p\% = 0,56 \%$

$$\Delta V_p\% = 0,56 \% < 1 \%$$

Quindi circa la caduta di tensione percentuale, la sezione prevista $S = (3 \times 185 \text{ mm}^2)$ è congrua.

C. Energia dissipata in perdite per la trasmissione

Per ogni ora di funzionamento, a pieno carico, si verifica una perdita di potenza per effetto Joule, pari a $P = RI^2 = 0,211 \times 2,887 \times 170^2 = 17,6 \text{ KW}$.

Supponendo un numero di ore annuo di funzionamento pari a 1200 ore, ne consegue una perdita di energia pari a **Ea=21,12 MWh**

D. Verifica della tenuta alle correnti di corto circuito

Come si evince da schemi tipici elaborati da TERNA la stazione elettrica 150/36 kV potrebbe prevedere N°1 trasformatore di caratteristiche:

- Potenza nominale $P = 250 \text{ MVA (ONAN-ONAF)}$
- Tensione primaria $V_1 = 150 \text{ kV } \pm 12 \cdot 1,25\%$
- Tensione secondaria $V_2 = 36,6 \text{ kV}$
- Tensione di corto circuito $V_{cc} = 10\%$
- Corrente nominale secondaria $I_2 = 4014 \text{ A}$

Considerando la potenza della rete a 150 KV, di potenza infinita rispetto a quella del trasformatore, la corrente di corto circuito lato 36 KV, quando sarà presente un solo trasformatore, sarà di $I_{cc} = 9,60 \text{ KA}$; con la condizione del funzionamento in parallelo (condizione normale) si determinerà una corrente di corto circuito presunta pari a $I_{cc} = 19,20 \text{ KA}$.

$$I_{cc} = \frac{I_2 \cdot 100}{V_{cc}} = \frac{4014 \cdot 100}{10} = 40,14 \text{ KA}$$

N.B. Comunque un calcolo preciso della corrente di corto circuito presunta sarà possibile a seguito dei valori che TERNA comunicherà con la realizzazione della sezione 150/36 KV

Deve essere soddisfatta la relazione.

$$I^2t \leq k^2 S^2$$

In pratica l'energia specifica lasciata fluire dall'interruttore MT del quadro, in caso di corto circuito, è inferiore a quella sopportabile dal cavo.

I = corrente di corto circuito presunta = 40,14 kA

t = tempo di interruzione della corrente di corto circuito; considerando un ritardo intenzionale di intervento della funzione di protezione ANSI 50, pari a 30 msec, ed un tempo di 70 msec, affinché l'interruttore intervenga dal momento del consenso del relè, si ha che t = 100 msec.

K = costante dipendente dalla natura dell'isolante; nel caso in esame k = 143

S = sezione della linea MT, S = (3x1x185 mmq.)

Quindi $I^2t \leq k^2 S^2$

$$1,6 \times 10^8 < 6,99 \times 10^8$$

La sezione scelta è congrua anche nei confronti della tenuta alle correnti di corto circuito.

CONCLUSIONI

La linea AT-36 KV, costituita da cavo tripolare ad elica visibile, tipo ARE4H5EX in formazione (3 x 1 x 185) mmq è idonea per la connessione tra il Quadro Terminale AT-36 KV del Lotto N°3-A con il Quadro di Raccolta del Produttore

Le linee saranno corredate dei necessari giunti e terminali di tipo idoneo con tipologia di cavo previsto.

3.1.5 DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA INTERRATA DI COLLEGAMENTO DEL LOTTO N°2

Dati di partenza

Nel Lotto N°2 sono previsti N°2 cabine di trasformazione adiacenti, cadauna attrezzata con N°1 trasformatore di potenza unitaria $P=3.150$ KVA.

Poiché i trasformatori sono corredati di ventilatori assiali, lato MT e lato BT, la potenza emungibile può essere superiore del 20% rispetto a quella nominale.

Il dimensionamento sarà, quindi, effettuato con il valore di potenza aumentato (indice di sicurezza)

I dati di partenza del dimensionamento sono:

- Potenza di riferimento $P= 6,30$ MW
- Potenza di dimensionamento $P= 7,560$ MW
- Tensione di esercizio $V= 36$ KV
- Frequenza. $F= 50$ Hz
- Corrente di impiego $I_b= 121$ A
- Lunghezza della linea. $L= 2,100$ k

A. Calcolo della portata reale di corrente

Il calcolo della portata reale I_{zr} di corrente è stata effettuato in ossequio alle raccomandazioni della norma CEI – UNEL 35027 “CAVI DI ENERGIA PER TENSIONI NOMINALI U DA 1 kV A 30 kV – PORTATE DI CORRENTE IN REGIME PERMANENTE -POSA IN ARIA ED INTERRATA”. Revisione Anno 2009-04

Nota: L'utilizzo della succitata norma è stato quello di avere un riferimento procedurale, in quanto la stessa fa riferimento a cavi (tripolari o unipolari) di sezione massima di 300 mmq con un livello massimo di tensione di esercizio di 30 KV.

La portata reale I_{zr} di un cavo, in una determinata condizione di installazione, si ricava con la relazione:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, ed è il prodotto di più coefficienti

La portata di corrente si riferisce a cavi funzionanti in sistemi trifasi equilibrati con frequenza di 50 Hz.

La portata di corrente teorica I_0 indicata nella norma è stata calcolata considerando un funzionamento in regime permanente con un fattore di carico del 100%; secondo la norma in alcune condizioni di funzionamento il carico risulta essere variabile o intermittente per cui le portate di corrente possono essere più elevate; tale condizione è tipica degli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica.

Si è considerato, come più avanti descritto, un incremento del 15%, come raccomandato.

Inoltre la norma CEI – UNEL – 35027 considera esclusivamente cavi con conduttori in rame; i cavi ipotizzati sono con conduttori in alluminio, per cui secondo le indicazioni della norma stessa per ottenere le portate teoriche, si dovrà fare riferimento ai valori con conduttori in rame, applicando un coefficiente di riduzione pari a 0,78, oppure considerare la portata teorica fornita dal costruttore preso a riferimento

Condizioni di posa

Le condizioni di posa delle linee in cavo oggetto del dimensionamento, sono:

- Cavi tripolari, ad elica visibile, posati entro cavidotti in PVC serie pesante, interrati, diametro 160 mm ; percorsi perimetrali alle aree, in modo da non creare interferenze all'interno delle aree stesse di transito.

In ossequio alla norma CEI – EN – 35027 la condizione di posa prevista è :

- Riferimento D1: Cavo tripolare posato in piano orizzontale entro cavidotto

Coesistenza tra cavi di energia e gasdotti

La coesistenza tra cavi di energia e gasdotti è regolamentata dal DM del 24-11-1984, modificato dal DM del 16-04-2008- “ Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione e l'accumulo e l'utilizzo del gas naturale con una densità non superiore a 0,8 “. In caso di incroci, tra cavi di energia e tubazioni convoglianti gas naturali, le condizioni di posa ed i provvedimenti da adottare si dovranno definire con gli enti proprietari o concessionari. Da un primo controllo effettuato, lungo il percorso previsto non sono presenti gasdotti.

Attraversamenti di strade statali e provinciali

In corrispondenza degli attraversamenti delle linee in cavo, su strade statali e su strade provinciali, la linea in cavo deve essere disposta entro tubazioni, la cui profondità di posa non sarà minore di 1 mt; la distanza è calcolata dall'estradosso superiore della tubazione. Il percorso previsto non contempla percorsi o attraversamenti su strade statali o provinciali.

Coesistenza tra i cavi di energia ed i cavi di telecomunicazione

Circa gli incroci dei cavi di energia con quelli di comunicazione, quando uno dei cavi è protetto da una tubazione (o similari) non è necessario osservare alcuna precauzione. Nel caso di parallelismi, invece, la distanza minima, in proiezione su di un piano orizzontale, non sarà inferiore a 0,30 mt. Da un primo controllo effettuato, nel percorso previsto non sono presenti cavi di telecomunicazione.

Tipologia di cavo previsto

I cavi tripolari ad elica visibile previsti sono del tipo ARE4H5EX caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------|
| • Tensioni nominali | 20,8/36 kV |
| • Tensione massima | 42 KV |
| • Norma di riferimento | HD 620 – IEC 60840 |
| • Temperatura massima del conduttore | 90° C |

- Temperatura massima in corto circuito 250° C
- Temperatura massima dello schermo
in corto circuito 150 °C
- Anima in conduttore a corda rotonda compatta di alluminio,
classe 2 in ossequio alla norma IEC 60228
- Semiconduttori interno/esterno in mescola estrusa
- Isolante in mescola di elastomero termoplastico (qualità HLPE)
- Rivestimento protettivo in nastro semiconduttore igro-espandente
- Schermatura in nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale.
- Guaina esterna in polietilene di colore rosso (qualità DMP 2)
- Posa: entro cunicoli; tubazioni interrate; interrato; in aria libera; interrato con
protezione meccanica.

Portata teorica Izo

Non potendo utilizzare le tabelle della norma per i limiti di tensione, come portata teorica si è considerata quella fornita dal costruttore.

La portata indicata è riferita alle seguenti condizioni:

- Temperatura massima del conduttore 90° C
- Temperatura del terreno 20° C
- Profondità di posa (0,8 – 1,00) mt
- Resistività termica del terreno 1,0 °C • m/W
- Posa su piano orizzontale
- Sezione scelta per il dimensionamento. S=185 mmq
- Formazione (3 x 1 x 185) mmq

La portata teorica per il singolo cavo unipolare fornita dal produttore è : **Izo= 321 A**

Considerando l'incremento del 15%, in virtù della corrente intermittente, la portata teorica del cavo , diventa **Izo= 369 A**

Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche del cavo scelto, di sezione S=3x1x185 mmq, sono:

- Resistenza apparente dei cavi, per posa interrata, configurazione a trifoglio, alla temperatura di 90 °C, tensione 20,8/36 KV
R=0,211 ohm/km
- Reattanza di fase dei cavi, a 50 Hz, per posa interrata, configurazione in piano, tensione 20,8/36 KV
X=0,115 ohm/km.

Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche dei conduttori unipolari, di sezione $S=3 \times 185 \text{ mm}^2$, sono:

- Diametro conduttore. $D_c=16,0 \text{ mm}$
- Diametro sull'isolante $D_i=32,6 \text{ mm}$
- Diametro esterno $D_e=87,8 \text{ mm}$
- Raggio minimo di curvatura $R_m=600 \text{ mm}$
- Peso $P=4,350 \text{ Kg/mt}$

Calcolo della portata reale

La portata reale I_{zr} della configurazione scelta di cavi, nelle condizioni reali, è data da:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, che è il prodotto di più coefficienti

Il coefficiente totale di correzione k è :

$$K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d, \text{ ove:}$$

- K_{tt} : coefficiente di correzione per la temperatura del terreno diversa da 20° C .
Tabella 18 della Norma.
Alla profondità di posa del cavo si è prevista, molto verosimilmente, una temperatura di 20° C , $K_{tt} = 1$.
- K_p : coefficiente di correzione per valori di profondità di posa diversi da $0,8 \text{ mt}$.
Tabella 20 della Norma.
La profondità di posa considerata assume che le caratteristiche del suolo siano omogenee e che non vi sia essiccazione del terreno nella regione circoscritta ai cavi.

Si è ipotizzata una profondità di posa, in alcune condizioni, di 1 mt ;
quindi $K_p = 0,98$.

- K_r = coefficiente di correzione per valori di resistività termica diversi da $1,5 \text{ k} \cdot \text{m/W}$. Tabella 22 della Norma.
È stata considerata una resistività termica di $1 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{m/W}$, quindi $K_r = 1,18$
- K_d = coefficiente di spaziatura tra cavi presenti nello stesso scavo;
è previsto un solo cavo, quindi $K_d = 1$.

$$\text{Quindi } K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d = 1 \cdot 0,98 \cdot 1,18 \cdot 1 = 1,156$$

La **portata reale** della linea in cavo prevista, in virtù delle riduzioni ed incrementi indicati, diventa :

$$I_{zr} = 369 \times 1,156 = 426 \text{ A}$$

$$I_{zr} = 426 \text{ A}$$

Verifica della congruità della portata di corrente dei cavi previsti

La corrente di impiego massima I_b in transito sulla linea è $I_b = 121 \text{ A}$

La portata reale della linea, per quanto esposto è $I_{zr} = 426 \text{ A}$

Essendo $I_{zr} > I_b$; $426 > 121 \text{ A}$

Quindi circa la portata I_{zr} ,la sezione prevista $S = (3 \times 1 \times 185 \text{ mm}^2)$ è congrua

B. Calcolo della caduta di tensione

La caduta di tensione calcolata è da intendersi “parziale” cioè relativa alla tratta quadro terminale del Lotto N°2 fino al Quadro di Raccolta ubicato nel Lotto N°1

Nel caso di corrente alternata la caduta di tensione è calcolata con la relazione

$$\Delta V = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \text{ ove:}$$

$K = 1,73$ per linee trifasi

I = corrente di impiego; $I_b = 121$ A

L = lunghezza della linea $L = 2,100$ Km

R = resistenza della linea alla temperatura massima di servizio (ohm/km)

X = reattanza di fase della linea (ohm/km)

$\cos \phi$ = fattore di potenza, posto pari a 0,95

I valori della resistenza R e della reattanza X , forniti dal costruttore, valgono :

Resistenza R

- $S = 185$ mmq $R = 0,211$ ohm/km

Reattanza X

- $S = 185$ mmq $X = 0,115$ ohm/km

Si è imposto un valore limite parziale ΔV_p massimo dell'1% per i collegamenti di media tensione in esame; si è imposto un valore limite ΔV_t totale, fino alla SE di Galatina, pari al 4 %; quindi :

$$\Delta V_p = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) = 1,73 \cdot 121 \cdot 2,100 \cdot (0,211 \cdot 0,95 + 0,115 \cdot 0,31) = 104 \text{ Volt}$$

Quindi il valore assoluto della caduta di tensione parziale è $\Delta V_p = 104$ Volt

Il valore percentuale della caduta di tensione $\Delta V_p \% = \Delta V_p / V \times 100 =$

$$104 / 36.000 \times 100 = 0,29 \%$$

Verifica della congruità della caduta di tensione

Dai calcoli si è ottenuta una caduta di tensione parziale assoluta $\Delta V_p = 104$ Volt ed una caduta di tensione percentuale $\Delta V_p \% = 0,29 \%$

$$\Delta V_p \% = 0,29 \% < 1 \%$$

Quindi circa la caduta di tensione percentuale, la sezione prevista $S = (3 \times 185 \text{ mmq})$ è congrua.

C. Energia dissipata in perdite per la trasmissione

Per ogni ora di funzionamento, a pieno carico, si verifica una perdita di potenza per effetto Joule, pari a $P=RI^2= 0,211 \times 2,1 \times 121^2 = 6,5 \text{ KW}$.

Supponendo un numero di ore annuo di funzionamento pari a 1200 ore, ne consegue una perdita di energia pari a **Ea=7,8 MWh**

D. Verifica della tenuta alle correnti di corto circuito

Come si evince da schemi tipici elaborati da TERNA la stazione elettrica 150/36 kV potrebbe prevedere N°1 trasformatore di caratteristiche:

- Potenza nominale $P = 250 \text{ MVA (ONAN-ONAF)}$
- Tensione primaria $V_1 = 150 \text{ kV} \pm 12 \cdot 1,25\%$
- Tensione secondaria $V_2 = 36,6 \text{ kV}$
- Tensione di corto circuito $V_{cc} = 10\%$
- Corrente nominale secondaria $I_2 = 4014 \text{ A}$

Considerando la potenza della rete a 150 KV, di potenza infinita rispetto a quella del trasformatore, la corrente di corto circuito lato 36 KV, quando sarà presente un solo trasformatore, sarà di $I_{cc}=9,60 \text{ KA}$; con la condizione del funzionamento in parallelo (condizione normale) si determinerà una corrente di corto circuito presunta pari a $I_{cc}=19,20 \text{ KA}$.

$$I_{cc} = \frac{I_2 \cdot 100}{V_{cc}} = \frac{4014 \cdot 100}{10} = 40,14 \text{ KA}$$

N.B. Comunque un calcolo preciso della corrente di corto circuito presunta sarà possibile a seguito dei valori che TERNA comunicherà con la realizzazione della sezione 150/36 KV

Deve essere soddisfatta la relazione.

$$I^2 t \leq k^2 S^2$$

In pratica l'energia specifica lasciata fluire dall'interruttore MT del quadro, in caso di corto circuito, è inferiore a quella sopportabile dal cavo.

$I =$ corrente di corto circuito presunta = 40,14 kA

$t =$ tempo di interruzione della corrente di corto circuito; considerando un ritardo intenzionale di intervento della funzione di protezione ANSI 50, pari a 30 msec, ed un tempo di 70 msec, affinché l'interruttore intervenga dal momento del consenso del relè, si ha che $t = 100 \text{ msec}$.

$K =$ costante dipendente dalla natura dell'isolante; nel caso in esame $k = 143$

$S =$ sezione della linea MT, $S = (3 \times 1 \times 185 \text{ mmq. })$

Quindi $I^2t \leq k^2 S^2$

$1,6 \times 10^8 < 6,99 \times 10^8$

La sezione scelta è congrua anche nei confronti della tenuta alle correnti di corto circuito.

CONCLUSIONI

La linea AT-36 KV, costituita da cavo tripolare ad elica visibile, tipo ARE4H5EX in formazione (3 x 1 x 185) mmq è idonea per la connessione tra il Quadro Terminale AT-36 KV del Lotto N°2 con il Quadro di Raccolta del Produttore

Le linee saranno corredate dei necessari giunti e terminali di tipo idoneo con tipologia di cavo previsto.

3.1.6 DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA INTERRATA INTERNA AL LOTTO N°1

Dati di partenza

Nel Lotto N°1 sono previsti N°6 cabine di trasformazione adiacenti a gruppi di 2, cadauna attrezzata con N°1 trasformatore di potenza unitaria $P=3.150$ KVA.

Poiché i trasformatori sono corredati di ventilatori assiali, lato MT e lato BT, la potenza emungibile può essere superiore del 20% rispetto a quella nominale.

Il dimensionamento sarà, quindi, effettuato con il valore di potenza aumentato (indice di sicurezza)

Essendo le cabine esercite in una configurazione “ad anello chiuso”, si considera la condizione peggiore, dell’anello aperto per un guasto, con l’ultimo gruppo di cabine posto all’estremità.

I dati di partenza del dimensionamento sono:

- Potenza di riferimento $P= 18,90$ MW
- Potenza di dimensionamento $P= 22,680$ MW
- Tensione di esercizio $V= 36$ KV
- Frequenza. $F= 50$ Hz
- Corrente di impiego $I_b= 364$ A
- Lunghezza della linea. $L= 0,900$ km

A. Calcolo della portata reale di corrente

Il calcolo della portata reale I_{zr} di corrente è stata effettuato in ossequio alle raccomandazioni della norma CEI – UNEL 35027 “CAVI DI ENERGIA PER TENSIONI NOMINALI U DA 1 kV A 30 kV – PORTATE DI CORRENTE IN REGIME PERMANENTE -POSA IN ARIA ED INTERRATA”. Revisione Anno 2009-04

Nota: L’utilizzo della succitata norma è stato quello di avere un riferimento procedurale, in quanto la stessa fa riferimento a cavi (tripolari o unipolari) di sezione massima di 300 mmq con un livello massimo di tensione di esercizio di 30 KV.

La portata reale I_{zr} di un cavo, in una determinata condizione di installazione, si ricava con la relazione:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, ed è il prodotto di più coefficienti

La portata di corrente si riferisce a cavi funzionanti in sistemi trifasi equilibrati con frequenza di 50 Hz.

La portata di corrente teorica I_0 indicata nella norma è stata calcolata considerando un funzionamento in regime permanente con un fattore di carico del 100%; secondo la norma in alcune condizioni di funzionamento il carico risulta essere variabile o intermittente per cui le portate di corrente possono essere più elevate; tale condizione è tipica degli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica.

Si è considerato, come più avanti descritto, un incremento del 15%, come raccomandato.

Inoltre la norma CEI – UNEL – 35027 considera esclusivamente cavi con conduttori in rame; i cavi ipotizzati sono con conduttori in alluminio, per cui secondo le indicazioni della norma stessa per ottenere le portate teoriche, si dovrà fare riferimento ai valori con conduttori in rame, applicando un coefficiente di riduzione pari a 0,78, oppure considerare la portata teorica fornita dal costruttore preso a riferimento

Condizioni di posa

Le condizioni di posa delle linee in cavo oggetto del dimensionamento, sono:

- Cavi tripolari, ad elica visibile, posati entro cavidotti in PVC serie pesante, interrati, diametro 160 mm ; percorsi perimetrali alle aree, in modo da non creare interferenze all'interno delle aree stesse di transito.

In ossequio alla norma CEI – EN – 35027 la condizione di posa prevista è:

- Riferimento D1: Cavo tripolare posato in piano orizzontale entro cavidotto

Coesistenza tra cavi di energia e gasdotti

La coesistenza tra cavi di energia e gasdotti è regolamentata dal DM del 24-11-1984, modificato dal DM del 16-04-2008- “ Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione e l'accumulo e l'utilizzo del gas naturale con una densità non superiore a 0,8 “. In caso di incroci, tra cavi di energia e tubazioni convoglianti gas naturali, le condizioni di posa ed i provvedimenti da adottare si dovranno definire con gli enti proprietari o concessionari. Da un primo controllo effettuato, lungo il percorso previsto non sono presenti gasdotti.

Attraversamenti di strade statali e provinciali

In corrispondenza degli attraversamenti delle linee in cavo, su strade statali e su strade provinciali, la linea in cavo deve essere disposta entro tubazioni, la cui profondità di posa non sarà minore di 1 mt; la distanza è calcolata dall'estradosso superiore della tubazione. Il percorso previsto non contempla percorsi o attraversamenti su strade statali o provinciali.

Coesistenza tra i cavi di energia ed i cavi di telecomunicazione

Circa gli incroci dei cavi di energia con quelli di comunicazione, quando uno dei cavi è protetto da una tubazione (o similari) non è necessario osservare alcuna precauzione. Nel caso di parallelismi, invece, la distanza minima, in proiezione su di un piano orizzontale, non sarà inferiore a 0,30 mt. Da un primo controllo effettuato, nel percorso previsto non sono presenti cavi di telecomunicazione.

Tipologia di cavo previsto

I cavi tripolari ad elica visibile previsti sono del tipo ARE4H5EX caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- Tensioni nominali 20,8/36 kV
- Tensione massima 42 KV
- Norma di riferimento HD 620 – IEC 60840

- Temperatura massima del conduttore 90° C
- Temperatura massima in corto circuito 250° C
- Temperatura massima dello schermo
in corto circuito 150 °C
- Anima in conduttore a corda rotonda compatta di alluminio,
classe 2 in ossequio alla norma IEC 60228
- Semiconduttori interno/esterno in mescola estrusa
- Isolante in mescola di elastomero termoplastico (qualità HLPE)
- Rivestimento protettivo in nastro semiconduttore igro-espandente
- Schermatura in nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale.
- Guaina esterna in polietilene di colore rosso (qualità DMP 2)
- Posa: entro cunicoli; tubazioni interrate; interrato; in aria libera; interrato con
protezione meccanica.

Portata teorica Izo

Non potendo utilizzare le tabelle della norma per i limiti di tensione, come portata teorica si è considerata quella fornita dal costruttore.

La portata indicata è riferita alle seguenti condizioni:

- Temperatura massima del conduttore 90° C
- Temperatura del terreno 20° C
- Profondità di posa (0,8 – 1,00) mt
- Resistività termica del terreno 1,0 °C • m/W
- Posa su piano orizzontale
- Sezione scelta per il dimensionamento. S=185 mmq
- Formazione (3 x 1 x 185) mmq

La portata teorica per il singolo cavo unipolare fornita dal produttore è : **Izo= 321 A**

Considerando l'incremento del 15%, in virtù della corrente intermittente, la portata teorica del cavo, diventa **Izo= 369 A**

Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche del cavo scelto, di sezione S=3x1x185 mmq, sono:

- Resistenza apparente dei cavi, per posa interrata, configurazione a trifoglio, alla temperatura di 90 °C, tensione 20,8/36 KV
R=0,211 ohm/km
- Reattanza di fase dei cavi, a 50 Hz, per posa interrata, configurazione in piano, tensione 20,8/36 KV
X=0,115 ohm/km.

Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche dei conduttori unipolari, di sezione $S=3 \times 185 \text{ mm}^2$, sono:

- Diametro conduttore. $D_c=16,0 \text{ mm}$
- Diametro sull'isolante $D_i=32,6 \text{ mm}$
- Diametro esterno $D_e=87,8 \text{ mm}$
- Raggio minimo di curvatura $R_m=600 \text{ mm}$
- Peso $P=4,350 \text{ Kg/mt}$

Calcolo della portata reale

La portata reale I_{zr} della configurazione scelta di cavi, nelle condizioni reali, è data da:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, che è il prodotto di più coefficienti

Il coefficiente totale di correzione k è:

$$K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d, \text{ ove:}$$

- K_{tt} : coefficiente di correzione per la temperatura del terreno diversa da 20° C .
Tabella 18 della Norma.
Alla profondità di posa del cavo si è prevista, molto verosimilmente, una temperatura di 20° C , $K_{tt} = 1$.
- K_p : coefficiente di correzione per valori di profondità di posa diversi da $0,8 \text{ mt}$.
Tabella 20 della Norma.
La profondità di posa considerata assume che le caratteristiche del suolo siano omogenee e che non vi sia essiccazione del terreno nella regione circoscritta ai cavi.

Si è ipotizzata una profondità di posa, in alcune condizioni, di 1 mt ;
quindi $K_p = 0,98$.

- K_r = coefficiente di correzione per valori di resistività termica diversi da $1,5 \text{ k} \cdot \text{m/W}$. Tabella 22 della Norma.
È stata considerata una resistività termica di $1^\circ \text{ C} \cdot \text{m/W}$, quindi $K_r = 1,18$
- K_d = coefficiente di spaziatura tra cavi presenti nello stesso scavo;
è previsto un solo cavo, quindi $K_d = 1$.

$$\text{Quindi } K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d = 1 \cdot 0,98 \cdot 1,18 \cdot 1 = 1,156$$

La **portata reale** della linea in cavo prevista, in virtù delle riduzioni ed incrementi indicati,
diventa:

$$I_{zr} = 369 \times 1,156 = 426 \text{ A}$$

$$I_{zr} = 426 \text{ A}$$

Verifica della congruità della portata di corrente dei cavi previsti

La corrente di impiego massima I_b in transito sulla linea è $I_b = 364 \text{ A}$

La portata reale della linea, per quanto esposto è $I_{zr} = 426 \text{ A}$

Essendo $I_{zr} > I_b$; $426 > 364 \text{ A}$

Quindi circa la portata I_{zr} ,la sezione prevista $S = (3 \times 1 \times 185 \text{ mm}^2)$ è congrua

B. Calcolo della caduta di tensione

La caduta di tensione calcolata è da intendersi “parziale” cioè relativa alla tratta quadro terminale del Lotto N°1 fino al Quadro di Raccolta ubicato nel Lotto N°1

Nel caso di corrente alternata la caduta di tensione è calcolata con la relazione

$$\Delta V = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos\phi + X \cdot \sin\phi) \text{ ove:}$$

$K = 1,73$ per linee trifasi

$I =$ corrente di impiego; $I_b = 364 \text{ A}$

$L =$ lunghezza della linea $L = 0,900 \text{ Km}$

$R =$ resistenza della linea alla temperatura massima di servizio (ohm/km)

$X =$ reattanza di fase della linea (ohm/km)

$\cos\phi =$ fattore di potenza, posto pari a 0,95

I valori della resistenza R e della reattanza X , forniti dal costruttore, valgono :

Resistenza R

- $S = 185 \text{ mm}^2$ $R = 0,211 \text{ ohm/km}$

Reattanza X

- $S = 185 \text{ mm}^2$ $X = 0,115 \text{ ohm/km}$

Si è imposto un valore limite parziale ΔV_p massimo dell' 1% per i collegamenti di media tensione in esame; si è imposto un valore limite ΔV_t totale, fino alla SE di Galatina, pari al 4 %; quindi :

$$\Delta V_p = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos\phi + X \cdot \sin\phi) = 1,73 \cdot 364 \cdot 0,900 \cdot (0,211 \cdot 0,95 + 0,115 \cdot 0,31) = 104 \text{ Volt}$$

Quindi il valore assoluto della caduta di tensione parziale è $\Delta V_p = 134 \text{ Volt}$

Il valore percentuale della caduta di tensione $\Delta V_p\% = \Delta V_p / V \times 100 =$

$$134 / 36.000 \times 100 = 0,37 \%$$

Verifica della congruità della caduta di tensione

Dai calcoli si è ottenuta una caduta di tensione parziale assoluta $\Delta V_p = 134$ Volte una caduta di tensione percentuale $\Delta V_p\% = 0,37\%$

$$\Delta V_p\% = 0,37\% < 1\%$$

Quindi circa la caduta di tensione percentuale, la sezione prevista $S = (3 \times 1 \times 185 \text{ mm}^2)$ è congrua.

C. Energia dissipata in perdite per la trasmissione

Per ogni ora di funzionamento, a pieno carico, si verifica una perdita di potenza per effetto Joule, pari a $P = RI^2 = 0,211 \times 0,9 \times 364^2 = 25,20 \text{ KW}$.

Supponendo un numero di ore annuo di funzionamento pari a 1200 ore, ne consegue una perdita di energia pari a $E_a = 30,25 \text{ MWh}$

D. Verifica della tenuta alle correnti di corto circuito

Come si evince da schemi tipici elaborati da TERNA la stazione elettrica 150/36 kV potrebbe prevedere N°1 trasformatore di caratteristiche:

- Potenza nominale $P = 250 \text{ MVA (ONAN-ONAF)}$
- Tensione primaria $V_1 = 150 \text{ kV} \pm 12 \cdot 1,25\%$
- Tensione secondaria $V_2 = 36,6 \text{ kV}$
- Tensione di corto circuito $V_{cc} = 10\%$
- Corrente nominale secondaria $I_2 = 4014 \text{ A}$

Considerando la potenza della rete a 150 KV, di potenza infinita rispetto a quella del trasformatore, la corrente di corto circuito lato 36 KV, quando sarà presente un solo trasformatore, sarà di $I_{cc} = 9,60 \text{ KA}$; con la condizione del funzionamento in parallelo (condizione normale) si determinerà una corrente di corto circuito presunta pari a $I_{cc} = 19,20 \text{ KA}$.

$$I_{cc} = \frac{I_2 \cdot 100}{V_{cc}} = \frac{4014 \cdot 100}{10} = 40,14 \text{ KA}$$

N.B. Comunque un calcolo preciso della corrente di corto circuito presunta sarà possibile a seguito dei valori che TERNA comunicherà con la realizzazione della sezione 150/36 KV

Deve essere soddisfatta la relazione.

$$I^2 t \leq k^2 S^2$$

In pratica l'energia specifica lasciata fluire dall'interruttore MT del quadro, in caso di corto circuito, è inferiore a quella sopportabile dal cavo.

$I =$ corrente di corto circuito presunta = 40,14 kA

$t =$ tempo di interruzione della corrente di corto circuito; considerando un ritardo intenzionale di intervento della funzione di protezione ANSI 50, pari a 30 msec, ed un tempo di 70 msec, affinché l'interruttore intervenga dal momento del consenso del relè, si ha che $t = 100$ msec.

$K =$ costante dipendente dalla natura dell'isolante; nel caso in esame $k = 143$

$S =$ sezione della linea MT, $S = (3 \times 1 \times 185 \text{ mmq. })$

Quindi $I^2 t \leq k^2 S^2$

$1,6 \times 10^8 < 6,99 \times 10^8$

La sezione scelta è congrua anche nei confronti della tenuta alle correnti di corto circuito.

CONCLUSIONI

La linea AT-36 KV, costituita da cavo tripolare ad elica visibile, tipo ARE4H5EX in formazione (3 x 1 x 185) mmq è idonea per la connessione tra le cabine interne del Lotto N°1.

La stessa linea sarà prevista per la connessione dell'anello del Lotto N°1 con il Quadro di Raccolta del Produttore, visto che la distanza è di soli 20 metri circa.

Le linee saranno corredate dei necessari giunti e terminali di tipo idoneo con tipologia di cavo previsto.

3.1.7 DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA INTERRATA DI COLLEGAMENTO TRA IL QUADRO 36 KV DEL PRODUTTORE CON LA SE-380/150/36 KV DI RTN DI GALATINA – LECCE

Dati di partenza

I dati di partenza del dimensionamento sono:

- Potenza di riferimento $P= 50,32 \text{ MW}$
- Potenza di dimensionamento $P= 59,160 \text{ MW}$
- Tensione di esercizio $V= 36 \text{ KV}$
- Frequenza. $F= 50 \text{ Hz}$
- Corrente di impiego $I_b= 950 \text{ A}$
- Lunghezza della linea. $L= 18,860 \text{ km}$

A. Calcolo della portata reale di corrente

Il calcolo della portata reale I_{zr} di corrente è stata effettuato in ossequio alle raccomandazioni della norma CEI – UNEL 35027 “CAVI DI ENERGIA PER TENSIONI NOMINALI U DA 1 kV A 30 kV – PORTATE DI CORRENTE IN REGIME PERMANENTE -POSA IN ARIA ED INTERRATA”. Revisione Anno 2009-04

Nota : L'utilizzo della succitata norma è stato quello di avere un riferimento procedurale, in quanto la stessa fa riferimento a cavi (tripolari o unipolari) di sezione massima di 300 mmq con un livello massimo di tensione di esercizio di 30 KV.

La portata reale I_{zr} di un cavo, in una determinata condizione di installazione, si ricava con la relazione:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, ed è il prodotto di più coefficienti

La portata di corrente si riferisce a cavi funzionanti in sistemi trifasi equilibrati con frequenza di 50 Hz.

La portata di corrente teorica I_0 indicata nella norma è stata calcolata considerando un funzionamento in regime permanente con un fattore di carico del 100%; secondo la norma in alcune condizioni di funzionamento il carico risulta essere variabile o intermittente per cui le portate di corrente possono essere più elevate; tale condizione è tipica degli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica.

Si è considerato, come più avanti descritto, un incremento del 15%, come raccomandato.

Inoltre la norma CEI – UNEL – 35027 considera esclusivamente cavi con conduttori in rame; i cavi ipotizzati sono con conduttori in alluminio, per cui secondo le indicazioni della norma stessa per ottenere le portate teoriche, si dovrà fare riferimento ai valori con conduttori in rame, applicando un coefficiente di riduzione pari a 0,78, oppure considerare la portata teorica fornita dal costruttore preso a riferimento

Condizioni di posa

Le condizioni di posa delle linee in cavo oggetto del dimensionamento, sono:

- Cavi unipolari, posati entro cavidotti in PVC serie pesante, interrati, diametro 160 mm; il percorso è indicato nel PTO di riferimento.

In ossequio alla norma CEI – EN – 35027 la condizione di posa prevista è:

- Riferimento D1: Cavo tripolare posato in piano orizzontale entro cavidotto

Coesistenza tra cavi di energia e gasdotti

La coesistenza tra cavi di energia e gasdotti è regolamentata dal DM del 24-11-1984, modificato dal DM del 16-04-2008- “ Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione e l’accumulo e l’utilizzo del gas naturale con una densità non superiore a 0,8 “. In caso di incroci, tra cavi di energia e tubazioni convoglianti gas naturali, le condizioni di posa ed i provvedimenti da adottare si dovranno definire con gli enti proprietari o concessionari. Da un primo controllo effettuato, lungo il percorso previsto non sono presenti gasdotti.

Attraversamenti di strade statali e provinciali

In corrispondenza degli attraversamenti delle linee in cavo, su strade statali e su strade provinciali, la linea in cavo deve essere disposta entro tubazioni, la cui profondità di posa non sarà minore di 1 mt; la distanza è calcolata dall’estradosso superiore della tubazione. Il percorso previsto non contempla percorsi o attraversamenti su strade statali o provinciali.

Coesistenza tra i cavi di energia ed i cavi di telecomunicazione

Circa gli incroci dei cavi di energia con quelli di comunicazione, quando uno dei cavi è protetto da una tubazione (o similari) non è necessario osservare alcuna precauzione. Nel caso di parallelismi, invece, la distanza minima, in proiezione su di un piano orizzontale, non sarà inferiore a 0,30 mt. Da un primo controllo effettuato, nel percorso previsto non sono presenti cavi di telecomunicazione.

Tipologia di cavo previsto

I cavi unipolari previsti sono del tipo ARE4H5E caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- Tensioni nominali 20,8/36 kV
- Tensione massima 42 KV
- Norma di riferimento HD 620 – IEC 60840
- Temperatura massima del conduttore 90° C
- Temperatura massima in corto circuito 250° C
- Temperatura massima dello schermo
in corto circuito 150 °C
- Anima in conduttore a corda rotonda compatta di alluminio,
classe 2 in ossequio alla norma IEC 60228

- Semiconduttori interno/esterno in mescola estrusa
- Isolante in mescola di elastomero termoplastico (qualità HLPE)
- Rivestimento protettivo in nastro semiconduttore igro-espandente
- Schermatura in nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale.
- Guaina esterna in polietilene di colore rosso (qualità DMP 2)
- Posa: entro cunicoli; tubazioni interrata; interrato; in aria libera; interrato con protezione meccanica.

Portata teorica Izo

Non potendo utilizzare le tabelle della norma per i limiti di tensione, come portata teorica si è considerata quella fornita dal costruttore.

La portata indicata è riferita alle seguenti condizioni :

- Temperatura massima del conduttore 90° C
- Temperatura del terreno 20° C
- Profondità di posa (0,8 – 1,00) mt
- Resistività termica del terreno 1,0 °C • m/W
- Posa su piano orizzontale
- Sezione scelta per il dimensionamento. S=630 mmq
- Formazione 3 x (2 x 1 x 630) mmq

La portata teorica per il singolo cavo unipolare fornita dal produttore è : **Izo= 622 A**, trattandosi di due cavi in parallelo per fase, la portata è : Izo= 1244 A

Considerando l'incremento del 15%, in virtù della corrente intermittente, la portata teorica del cavo , diventa **Izo= 1431 A**

Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche del cavo scelto, di sezione S=3 (2x1x630) mmq, sono :

- Resistenza apparente dei cavi, per posa interrata, configurazione a trifoglio, alla temperatura di 90 °C, tensione 20,8/36 KV
R=0,063 ohm/km ; per due conduttori in parallelo R'=0,0315 ohm/km
- Reattanza di fase dei cavi, a 50 Hz, per posa interrata, configurazione in piano, tensione 20,8/36 KV
X=0,095 ohm/km ; per due conduttori in parallelo X'=0,0475 ohm/km

Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche dei conduttori unipolari, di sezione $S= 630 \text{ mm}^2$, sono:

- Diametro conduttore. $D_c=30,0 \text{ mm}$
- Diametro sull'isolante $D_i=46,3 \text{ mm}$
- Diametro esterno $D_e=56,0 \text{ mm}$
- Raggio minimo di curvatura $R_m=800 \text{ mm}$
- Peso $P=3,190 \text{ Kg/mt}$

Calcolo della portata reale

La portata reale I_{zr} della configurazione scelta di cavi, nelle condizioni reali, è data da:

$$I_{zr} = I_{z0} \cdot k$$

ove:

- I_{z0} = portata teorica dei cavi
- K = coefficiente di correzione totale, che è il prodotto di più coefficienti

Il coefficiente totale di correzione k è :

$$K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d , \text{ ove:}$$

- K_{tt} : coefficiente di correzione per la temperatura del terreno diversa da 20° C .
Tabella 18 della Norma.
Alla profondità di posa del cavo si è prevista , molto verosimilmente, una temperatura di 20° C , $K_{tt} = 1$.
- K_p : coefficiente di correzione per valori di profondità di posa diversi da $0,8 \text{ mt}$.
Tabella 20 della Norma.
La profondità di posa considerata assume che le caratteristiche del suolo siano omogenee e che non vi sia essiccazione del terreno nella regione circoscritta ai cavi.

Si è ipotizzata una profondità di posa, in alcune condizioni, di 1 mt ;
quindi $K_p = 0,98$.

- K_r = coefficiente di correzione per valori di resistività termica diversi da $1,5 \text{ k} \cdot \text{m/W}$. Tabella 22 della Norma.
È stata considerata una resistività termica di $1 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{m/W}$, quindi $K_r = 1,18$
- K_d = coefficiente di spaziatura tra cavi presenti nello stesso scavo; è stata prevista una spaziatura, in orizzontale, di 70 mm . Quindi $K_d=1$.

$$\text{Quindi } K = K_{tt} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d = 1 \cdot 0,98 \cdot 1,18 \cdot 1 = 1,156$$

La **portata reale** della linea in cavo prevista, in virtù delle riduzioni ed incrementi indicati, diventa :

$$I_{zr} = 1431 \times 1,156 = 1.654 \text{ A}$$

$$I_{zr} = 1654 \text{ A}$$

Verifica della congruità della portata di corrente dei cavi previsti

La corrente di impiego massima I_b in transito sulla linea è $I_b = 950 \text{ A}$

La portata reale della linea, per quanto esposto è $I_{zr} = 1654 \text{ A}$

Essendo $I_{zr} > I_b$; $1654 > 950 \text{ A}$

Quindi circa la portata I_{zr} ,la sezione prevista $S = 3 \times (2 \times 1 \times 630 \text{ mm}^2)$ è congrua.

B. Calcolo della caduta di tensione

La caduta di tensione calcolata è da intendersi “parziale” cioè relativa alla tratta tra il Quadro di Raccolta ed il Quadro 36 KV nella SE di Galatina – Le

Nel caso di corrente alternata la caduta di tensione è calcolata con la relazione

$$\Delta V = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \text{ ove:}$$

$K = 1,73$ per linee trifasi

I = corrente di impiego; $I_b = 950 \text{ A}$

L = lunghezza della linea $L = 18,860 \text{ Km}$

R = resistenza della linea alla temperatura massima di servizio (ohm/km)

X = reattanza di fase della linea (ohm/km)

$\cos \phi$ = fattore di potenza, posto pari a 0,95

I valori della resistenza R e della reattanza X , forniti dal costruttore, valgono :

Resistenza R

- $S = 2 \times 1 \times 630 \text{ mm}^2$ $R = 0,0315 \text{ ohm/km}$

Reattanza X

- $S = 2 \times 1 \times 630 \text{ mm}^2$ $X = 0,0475 \text{ ohm/km}$

Si è imposto un valore limite parziale ΔV_p massimo dell' 4% per il collegamento in esame; si è imposto un valore limite ΔV_t totale, fino alla SE di Galatina, pari al 5 %; quindi :

$$\Delta V_p = K \cdot I \cdot L (R \cdot \cos \phi + X \sin \phi) = 1,73 \cdot 950 \cdot 18,860 \cdot (0,0315 \cdot 0,95 + 0,0475 \cdot 0,31) = 1384 \text{ Volt}$$

Quindi il valore assoluto della caduta di tensione parziale è $\Delta V_p = 1384 \text{ Volt}$

$$\text{Il valore percentuale della caduta di tensione } \Delta V_p \% = \Delta V_p / V \times 100 = 1384 / 36.000 \times 100 = 3,85 \%$$

Verifica della congruità della caduta di tensione

Dai calcoli si è ottenuta una caduta di tensione parziale assoluta $\Delta V_p = 1384$ Volt ed una caduta di tensione percentuale $\Delta V_p\% = 3,85\%$

$$\Delta V_p\% = 3,85\% < 4\%$$

Quindi circa la caduta di tensione percentuale, la sezione prevista $S = 3 \times (2 \times 1 \times 630 \text{ mm}^2)$ è congrua.

C. Energia dissipata in perdite per la trasmissione

Per ogni ora di funzionamento, a pieno carico, si verifica una perdita di potenza per effetto Joule, pari a $P = RI^2 = 0,0315 \times 18,86 \times 950^2 = 536,20$ KW.

Supponendo un numero di ore annuo di funzionamento pari a 1200 ore, ne consegue una perdita di energia pari a **Ea=643,44 MWh**

D. Verifica della tenuta alle correnti di corto circuito

Come si evince da schemi tipici elaborati da TERNA la stazione elettrica 150/36 kV potrebbe prevedere N°1 trasformatore di caratteristiche:

- Potenza nominale $P = 250$ MVA (ONAN-ONAF)
- Tensione primaria $V_1 = 150$ kV $\pm 12 \cdot 1,25\%$
- Tensione secondaria $V_2 = 36,6$ kV
- Tensione di corto circuito $V_{cc} = 10\%$
- Corrente nominale secondaria $I_2 = 4014$ A

Considerando la potenza della rete a 150 KV, di potenza infinita rispetto a quella del trasformatore, la corrente di corto circuito lato 36 KV, quando sarà presente un solo trasformatore, sarà di $I_{cc} = 9,60$ KA; con la condizione del funzionamento in parallelo (condizione normale) si determinerà una corrente di corto circuito presunta pari a $I_{cc} = 19,20$ KA.

$$I_{cc} = \frac{I_2 \cdot 100}{V_{cc}} = \frac{4014 \cdot 100}{10} = 40,14 \text{ KA}$$

N.B. Comunque un calcolo preciso della corrente di corto circuito presunta sarà possibile a seguito dei valori che TERNA comunicherà con la realizzazione della sezione 150/36 KV

Deve essere soddisfatta la relazione.

$$I^2 t \leq k^2 S^2$$

In pratica l'energia specifica lasciata fluire dall'interruttore MT del quadro, in caso di corto circuito, è inferiore a quella sopportabile dal cavo.

$I =$ corrente di corto circuito presunta = 40,14 kA

$t =$ tempo di interruzione della corrente di corto circuito; considerando un ritardo intenzionale di intervento della funzione di protezione ANSI 50, pari a 30 msec, ed un tempo di 70 msec, affinché l'interruttore intervenga dal momento del consenso del relè, si ha che $t = 100$ msec.

$K =$ costante dipendente dalla natura dell'isolante; nel caso in esame $k = 143$

$S =$ sezione della linea MT, $S = 630 \times 2 = 1.260$ mmq

Quindi $I^2t \leq k^2 S^2$

$1,6 \times 10^8 < 8,12 \times 10^9$

La sezione scelta è congrua anche nei confronti della tenuta alle correnti di corto circuito.

CONCLUSIONI

La linea AT-36 KV, costituita da cavo unipolare, tipo ARE4H5E in formazione 3 (2 x 1 x 630) mmq è idonea per la connessione tra il Quadro di Raccolta ed il Quadro 36 KV di RTN nella SE-380/150/36 KV di Galatina - Le
I valori reali di caduta di tensione saranno inferiori a quelli calcolati per le condizioni di sicurezza posti nel calcolo

4.RIEPILOGO CADUTE DI TENSIONE PARZIALI E TOTALI PER I LOTTI

Le cadute di tensione totali per ciascun lotto sono date dalla somma delle cadute di tensione parziali dovute al collegamento tra il Quadro di Raccolta del Produttore, con quella parziale del singolo lotto.

Di seguito i valori calcolati :

Lotto N°1

ΔV_p (interno) = 134 V ; ΔV_p (collegamento)= 1384 V

ΔV_t (totale) = 1518 Volt

ΔV_t %(totale) = 4,22%

Lotto N°2

ΔV_p (interno) = 104 V ; ΔV_p (collegamento)= 1384 V

ΔV_t (totale) = 1488 Volt

ΔV_t %(totale) = 4,13%

Lotto N°3-A

ΔV_p (interno) = 200 V ; ΔV_p (collegamento)= 1384 V

ΔV_t (totale) = 1584 Volt

ΔV_t %(totale) = 4,4%

Lotto N°3-B

ΔV_p (interno) = 88 V ; ΔV_p (collegamento)= 1384 V

ΔV_t (totale) = 1472 Volt

ΔV_t %(totale) = 4,1%

Lotto N°4

ΔV_p (interno) = 149 V ; ΔV_p (collegamento)= 1384 V

ΔV_t (totale) = 1533 Volt

ΔV_t %(totale) = 4,26%

Lotto N°5

ΔV_p (interno) = 200 V ; ΔV_p (collegamento)= 1384 V

ΔV_t (totale) = 1584 Volt

ΔV_t %(totale) = 4,4%

Come si evince , tutti i valori di cadute di tensioni totali sono inferiori al limite imposto del 5%.

NORME - DECRETI DI RIFERIMENTO UTILIZZATI

- IEC 60840
- HD 620
- CEI-UNEL 35027
- Norme CEI di pertinenza.
- Delibera ARERA N°439-2021-R-eel del 18 ottobre 2021
(connessione degli impianti a 36 KV)
- Codice di Rete TERNA – Allegato N°2

19 Maggio 2023

**I professionisti
Ing. Francesco BARRESE
Ing. Mauro RANAURO**