



*Luca Brusaporci*

# IMPIANTO DI RETE PER LA CONNESSIONE 20 KV DELL'IMPIANTO DI PRODUZIONE FANO

UBICATO NEL COMUNE DI FANO (PU)

PROCEDURA AUTORIZZATIVA (Atto e/o Decreto Regionale o Provinciale) N° - DEL -

## PROGETTO DEFINITIVO

REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
A	13/11/23	Mascellino	Bolognesi	Brugnoni	Emissione per autorizzazione

INGEGNERIA & COSTRUZIONI	IMPIANTO
	FANO
IL DIRETTORE E RESPONSABILE TECNICO <i>Luca Brusaporci</i>	TITOLO CP FANO SUD DIMENSIONAMENTO DISPERSORE DI TERRA

GESTORE RETE ELETTRICA	RICHIEDENTE 	LIVELLO PROG. PD	CODICE RINTRACCIABILITA' T0737460	TIPO DOCUMENTO D7	N° ELABORATO 371	FOGLIO / DI 1 / 5
FIRMA PER BENESTARE	FIRMA PER BENESTARE	NOME FILE 0 2 3 7 1 A			SCALA -	FORMATO A4

## 1.0 PREMESSA

Lo scopo della presente relazione di calcolo è quello di determinare il dimensionamento dell'impianto di terra necessario alla realizzazione della nuova Cabina Primaria (CP) a 132/20 kV denominata "Fano Sud" funzionale al collegamento alla rete di trasmissione nazionale, tramite due raccordi di linea a 132 kV sull'elettrodotto esistente Fano ET – CP Saltara, di un lotto di impianti fotovoltaici denominato "Fano", del produttore Juwi Development 07 Srl. Sono parti integranti del progetto anche le tre linee MT 20 kV interrato, e le relative cabine di consegna, che collegheranno il lotto di impianti fotovoltaici, avente potenza in immissione totale pari a 17.550 kW, alla futura CP. Contestualmente all'inserimento di questo nuovo elemento di rete è necessario anche che venga realizzato il potenziamento della linea esistente 132 kV CP Sassoferrato – CP Fabriano per permettere di evacuare la potenza richiesta in immissione sulla RTN. L'impianto di terra è da realizzarsi secondo il principio della "Regola d'Arte".

## 2.0 RIFERIMENTI NORMATIVI

I criteri adottati nel presente documento, relativi al dimensionamento della rete di terra, sono derivati dai seguenti riferimenti normativi e bibliografici:

- Norma CEI 99-5 – Guida per l'esecuzione degli impianti di terra delle utenze attive e passive connesse ai sistemi di distribuzione con tensione superiore a 1 kV in c.a.;
- Norma CEI EN 50522 – Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.;
- Norma CEI EN 61936-1, - Impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 1: prescrizioni comuni;
- ANSI/IEEE Standard 80 – 2000 - Guide for safety in AC substation grounding;
- IMPIANTI DI TERRA di V. Cataliotti e A. Campoccia, edito da Edizioni TNE;
- Guida Tecnica TERNA INS CA G01;
- Specifica Tecnica cod. CNS-GPC-APD-22-0001-EDIS.

## 3.0 CONDIZIONI AMBIENTALI

Le condizioni ambientali di riferimento sono le seguenti:

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| • Installazione                               | interno/esterno                     |
| • Massima temperatura ambiente                | + 40 °C                             |
| • Minima temperatura ambiente                 | - 25 °C                             |
| • Umidità relativa massima                    | 90 %                                |
| • Altezza dell'installazione sul livello mare | ≤ 1000 m                            |
| • Grado di sismicità                          | Ag/g 0,25 – Zona 2                  |
| • Caratteristiche terreno                     | ghiaioso-sabbioso, limoso-argilloso |

## 4.0 GRANDEZZE DI RIFERIMENTO

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| • - Corrente di guasto monofase verso terra (IF) | 20 kA (vedi Nota 1)                  |
| • - Tempo massimo di eliminazione guasto (tF)    | 1 s (vedi Nota 2)                    |
| • - Funi di guardia e schermi MT                 | isolati                              |
| • - Stato del neutro AT                          | a terra                              |
| • - Stato del neutro MT                          | isolato                              |
| • - Stato del neutro BT                          | a terra in comune                    |
| • - Resistività del terreno ( $\rho$ )           | 100,0 $\Omega \cdot m$ (vedi Nota 3) |
| • - Area della maglia di terra (A)               | 3504 m <sup>2</sup>                  |

Nota 1:

Per il dimensionamento della rete di terra si utilizza il valore standard di corrente di guasto monofase a terra indicato nel Codice di rete di Terna, Allegato A8 (Valore minimo da considerare è pari a 20 kA – 1 secondo) previa verifica con Terna a cura di Esercizio di Rete di Area Operativa Regionale di e-distribuzione per determinare preventivamente valori di corrente attuali o previsionali maggiori rispetto allo standard.

Nota 2:

Per il valore di Tempo massimo di eliminazione guasto ( $t_F$ ) sopra adottato si fa riferimento a quanto comunicato da TERNA in riferimento al coordinamento dei sistemi di protezione degli stalli AT direttamente affacciati alla CP in realizzazione.

**Nota 3:**

Valore dedotto in considerazione del tipo di terreno da adottare per il riempimento dell'area di stazione. In fase esecutiva, prima della posa della rete di terra, si provvederà ad effettuare una misura della resistività puntuale del suolo, al fine di verificare il dimensionamento descritto nella presente relazione.

**5.0 DETERMINAZIONE DELLA SEZIONE DEL CONDUTTORE DI TERRA**

La sezione minima del conduttore di terra viene calcolata considerando gli effetti termici derivanti dal passaggio della corrente di corto circuito verso terra, evitando che quest' ultima possa danneggiare il conduttore. La relazione relativa alla determinazione della sezione di tale conduttore è la seguente:

$$A = \frac{I_F}{K} \sqrt{\frac{t_F}{\ln\left(\frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}\right)}}$$

dove:

A	=	sezione minima del conduttore di terra (mm <sup>2</sup> )
I <sub>F</sub>	=	corrente di guasto verso terra effettiva (A)
t <sub>F</sub>	=	tempo eliminazione guasto (s)
K	=	costante termica del rame (A·s <sup>1/2</sup> /mm <sup>2</sup> )
Θ <sub>f</sub>	=	temperatura finale del conduttore (°C)
Θ <sub>i</sub>	=	temperatura iniziale del conduttore (°C)
β	=	reciproco del coefficiente di temperatura della resistenza del conduttore a 0 °C

**5.1 Minima sezione del conduttore di terra per il collegamento delle apparecchiature**

Il conduttore di terra che collega il morsetto di terra delle apparecchiature AT e/o delle masse metalliche alla rete magliata interrata ha un tratto di percorso in aria, una parte intubata all'interno dei getti ed una parte interrata. I valori da prendere in esame per il calcolo della sezione minima sono pertanto i seguenti:

I <sub>F</sub>	=	l <sub>cc</sub> · r
l <sub>cc</sub>	=	20 kA
r	=	1 (fattore di riduzione <1 per funi di guardia collegate a terra)
t <sub>F</sub>	=	1 s
Θ <sub>f</sub>	=	200 °C (conduttore di rame nudo in aria in condizioni ordinarie)
Θ <sub>i</sub>	=	40 °C
K	=	181 (per temperatura finale di 200 °C, con fattore di convezione = 0,8)
β	=	234,5 (rame)

Applicando nella formula la massima corrente di guasto di dimensionamento dell'impianto AT di **20 kA** risulta una sezione minima di **165 mm<sup>2</sup>**. I collegamenti di tutte le apparecchiature AT alla rete di terra interrata, saranno quindi realizzati con almeno N° 2 corde di rame nudo con sezione commerciale di **125 mm<sup>2</sup>**, tranne che per i TV che saranno collegati con N° 4 corde di sezione commerciale di **125 mm<sup>2</sup>**.

**5.2 Minima sezione del conduttore interrato del dispersore**

I conduttori che costituiscono la rete magliata del dispersore sono completamente interrati. I valori da prendere in esame per il calcolo della sezione minima sono pertanto i seguenti:

I <sub>F</sub>	=	l <sub>cc</sub> · r
l <sub>cc</sub>	=	20 kA
r	=	1 (fattore di riduzione <1 per funi di guardia collegate a terra)
t <sub>F</sub>	=	1 s
Θ <sub>f</sub>	=	300 °C (conduttore di rame nudo interrato)
Θ <sub>i</sub>	=	20 °C
K	=	226 (per temperatura finale di 300 °C, fattore di conversione= 1,0)
β	=	234,5 (rame)

Applicando nella formula il valore della massima corrente di guasto di dimensionamento dell'impianto AT di **20 kA** risulta una sezione minima di **104 mm<sup>2</sup>**. Il dispersore di terra sarà quindi realizzato interrando delle maglie in corde di rame nudo con sezione commerciale di **63 mm<sup>2</sup>** considerando che la corrente di guasto che fluisce verso la maglia interrata si ripartisce in almeno due rami del dispersore.

## 6.0 RESISTENZA E TENSIONE TOTALE DI TERRA

In base ad assunzioni basate sulle esperienze di impianti simili precedentemente realizzati e verificati (misura della  $V_p$  e  $V_c$ ), la rete di terra verrà eseguita con una griglia di conduttori di rame di sezione 63 mm<sup>2</sup> interrati ad una profondità di 0,50 metri dal piano di calpestio, opportunamente infittita nelle aree contenenti le apparecchiature AT, inoltre l'anello esterno della maglia realizzato in corda di 125 mm<sup>2</sup> verrà posizionato ad una profondità di 1,50 metri dal piano calpestabile e distante dal bordo esterno della recinzione 5 metri. La griglia avrà una maglia di dimensioni medie di 6,0 x 6,0 metri, formata da 11 corde di lunghezza 54,4 metri con direzione Nord/Sud, e da 12 corde di lunghezza 64,4 metri con direzione Est/Ovest. Completa la maglia un anello con corda 63 mm<sup>2</sup>. Dalla griglia saranno derivati circa 112 montanti con tratto interrato mediamente di 2,0 metri per il collegamento delle apparecchiature e delle masse metalliche alla maglia. Per diminuire il valore della resistenza di terra nei punti esterni sono previsti lungo il perimetro 20 puntazze in acciaio ramato profonde 6 metri ciascuna. Viene altresì prevista la connessione della rete di terra alle armature di fondazione del fabbricato comandi e MT. Per la conformazione della rete di terra e la disposizione dei conduttori e picchetti si rimanda al documento No. 02362 – Planimetria Rete di terra.

### 6.1 Resistenza di terra

La resistenza della maglia **R<sub>em</sub>** in  $\Omega$  si calcola con la formula:

$$R_{em} = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}}$$

dove:

$\rho$	=	resistività del terreno, in $\Omega \cdot m$	=	100,0 $\Omega \cdot m$
$A$	=	area della maglia di terra in m <sup>2</sup>	=	3504 m <sup>2</sup>

La resistenza della maglia risulta essere di **0,75  $\Omega$** .

La resistenza dei picchetti verticali **R<sub>ep</sub>** in  $\Omega$  si calcola con la formula:

$$R_{ep} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{4 \cdot L}{d} \cdot \frac{1}{n}$$

dove:

$\rho$	=	resistività del terreno, in $\Omega \cdot m$	=	100,0 $\Omega \cdot m$
$L$	=	lunghezza picchetto	=	6 m
$d$	=	diametro picchetto	=	0.02 m
$n$	=	numero picchetti	=	20

La resistenza dei picchetti risulta essere di **0.05  $\Omega$** .

La resistenza totale del dispersore interrato **R<sub>E</sub>** si determina calcolando il parallelo tra la resistenza della maglia e la resistenza dei picchetti verticali.

$$R_E = \frac{R_{em} \cdot R_{ep}}{R_{em} + R_{ep}}$$

Sostituendo i valori la resistenza **R<sub>E</sub>** risulta **0,05  $\Omega$** .

### 6.2 Tensione totale di terra

La tensione totale di terra, che rappresenta il massimo potenziale che può assumere la rete di terra in caso di guasto verso un ipotetico punto a potenziale 0 virtuale non interessato e/o influenzato dalla corrente di guasto, si calcola con:

$$U_E = Z_E \cdot I_F \cdot r$$

dove:

$Z_E$	=	Impedenza totale di terra	=	0,05 $\Omega$
$I_F$	=	Corrente di guasto	=	20 kA
$r$	=	Fattore di riduzione funi	=	1

La tensione totale  $U_E$  che la maglia di terra può assumere durante un guasto a terra risulta essere di **0,97 kV**.

## 7.0 VALORE MASSIMO AMMISSIBILE PER LA TENSIONE DI CONTATTO

La norma CEI EN 50522 pone dei valori limite ammissibili per la tensione di contatto  $U_{TP}$  in funzione del tempo di eliminazione del guasto. Nel nostro caso, con  $t_f = 1$  s, il valore limite ammissibile risulta di **117 V** (valore ottenuto dalla curva di figura 4 e dalla tabella B.3 dell' allegato B in corrispondenza del valore di 1 s).

Non risultano quindi verificate la relazioni  $U_E < 2 U_{TP}$  e  $U_E < 4 U_{TP}$ , si procede di conseguenza al calcolo dei valori effettivi ammissibili.

### 7.1 Valori effettivi ammissibili della tensione di contatto

Sulla base dell'Allegato B della Norma CEI EN 50522 l'effettiva tensione di contatto ammissibile a vuoto, nelle zone con o senza strato superficiale protettivo si calcolano rispettivamente con:

$$U_{VTP} = U_{TP} + (R_{F1} + R_{F2} + 1,5 \cdot \rho) \cdot I_B$$

$$U_{VTP'} = U_{TP} + (R_{F1} + 1,5 \cdot \rho) \cdot I_B$$

dove:

$U_{TP}$	=	Tensione di contatto ammissibile (tab. 4)	=	117 V
$R_{F1}$	=	Resistenza scarpe	=	1000 $\Omega$
$R_{F2}$	=	Resistenza asfalto o ghiaietto	=	5000 $\Omega$
$\rho$	=	Resistività terreno	=	100,0 $\Omega$ m
$I_B$	=	Corrente ammissibile corpo in f(tf) (tab. B1)	=	0,08 A

Che risultano rispettivamente  $U_{VTP}$  **609 V** per le zone con strato superficiale protettivo (asfalto o ghiaietto) e  $U_{VTP'}$  **209 V** per le zone senza.

## 8.0 CONSIDERAZIONI SULLA VERIFICA DELLE TENSIONI

In riferimento allo schema a blocchi di Figura 5 della CEI EN 50522 si può ritenere verificato il progetto per quanto riguarda le zone di impianto dove il piano di calpestio risulta realizzato in asfalto, cemento o con strato di ghiaietto, in quanto la tensione totale di terra  $U_E = 970$  V risulta minore di due volte la effettiva tensione ammissibile a vuoto  $U_{VTP} = 1218$  V

Per quanto riguarda le zone senza strato protettivo (aree verdi), il progetto si può ritenere verificato inserendo ulteriori 10 picchetti di lunghezza pari a 6 metri, per un totale di 30 picchetti. In tal caso la tensione totale di terra risulterebbe essere  $U_E = 410$  V che risulterebbe minore di due volte la effettiva tensione ammissibile a vuoto  $U_{VTP'} = 418$  V.

Resta comunque evidente che, per quanto accurati e basati sulla normativa di riferimento, i calcoli inseriti nella presente relazione, sono sempre di natura teorica, l'impianto di terra potrà essere validato e collaudato solo una volta terminato con gli strati superficiali del terreno ultimati.

## 9.0 PROVVEDIMENTI CONTRO IL TRASFERIMENTO DI POTENZIALI PERICOLOSI

Durante le prove in campo, particolare attenzione andrà riposta nella verifica della tensione di contatto su eventuali masse estranee che possono entrare nella zona di influenza del dispersore di terra della cabina AT, che al momento dovrebbero limitarsi alle funi di guardia delle linee AT entranti (al momento considerate isolate) e agli schermi dei cavi MT del distributore (al momento considerati isolati). Andranno quindi verificati i pali d'angolo delle linee AT entranti, sia nel caso che la fune di guardia venga collegata alla maglia di terra oppure rimanga isolata.

Non sono previste linee BT uscenti dalla maglia di terra, con atterramento del neutro in cabina AT. Le uniche linee uscenti dalla maglia di terra sono le linee dati e telecomunicazioni.