

REGIONE EMILIA ROMAGNA



PROVINCIA DI PARMA



COMUNE DI TORNOLO



## PROGETTO PARCO EOLICO

### "MONTE FOPPO"

in località Monte Foppo - Comune di Tornolo (PR)

POTENZA COMPLESSIVA 4 MW

FASE PROGETTO

## PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE

**GEA Energie Srl**

PI e CF: 07746350961  
Corso Sempione 33, 20145 Milano (MI)

PROGETTISTA

Dott. Ing. Flavio Friburgo - Ordine degli ingegneri di Genova n. 9611 A  
16038 S. Margherita Ligure (GE) C.so Matteotti 7/5  
e.mail: flavio.friburgo@ingpec.eu - tel/fax: 0185283918

ELABORATO	TITOLO	DATI GENERALI	
		ESEGUITO	G.N.
		VERIFICATO	F.F.
		FIRMATO	F.F.+G.N.
		SCALA	-
TOR-RC-T0.5	RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO MAGLIA PRIMARIA DI TERRA CP ENEL		
REVISIONI	DATA	MOTIVAZIONE	CONTR.
01	01/2022	INTEGRAZIONE	FF
02			
03			
04			
05			
FIRMA			



# **RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE IMPIANTO DI TERRA DI CP**

## **INDICE**

### **SEZIONE I – Considerazioni introduttive**

- 1.0 – Premessa
- 1.1 – Illustrazione delle sezione impianti di terra e collegamenti ad altra documentazione di progetto
- 1.2 – Norme e documentazione di riferimento
- 1.3 – Scopo del dimensionamento e delle prescrizioni realizzative
- 1.4 – Definizione del problema e filosofia progettuale adottata
- 1.5 – Richiami e riferimenti normativi utili – prescrizioni generali

### **SEZIONE II – Terra di stazione**

- 2.1 – Generalità
- 2.2 - Caratteristiche del terreno e profondità posa
- 2.3 – Dimensionamento impianto di terra
- 2.4 – Dispersore di terra di stazione
- 2.5 – Implementazione di provvedimenti aggiuntivi
- 2.6 – Misure di verifica in corso d’opera

### **SEZIONE III – Conclusioni e considerazioni finali**

- 4.1 – Conclusioni
- 4.2 – Considerazioni finali

## **SEZIONE I: Considerazioni introduttive**

### **1.0 Premessa**

Oggetto della relazione è il dimensionamento dell'impianto di terra della nuova CP Enel da installare in seno al realizzando impianto eolico da parte della **GEA Energie s.r.l.**.

L'impianto è sito in agro del Comune di Tornolo, provincia di Parma ed è allacciato, previa interposizione di una realizzanda CP Enel, alla linea aerea RTN 220 kV "San Colombano-Avenza".

### **1.1 Illustrazione delle sezione Impianti di Terra e collegamenti ad altra documentazione di progetto**

La sezione è composta, oltreché dalla presente, dalla tavola IT01 sulla quale è rappresentato l'impianto di terra di stazione. L'elaborato grafico contiene indicazioni e particolari realizzativi.

### **1.2 Norme e documentazione di riferimento**

Si riportano di seguito i riferimenti dei principali documenti utilizzati:

- NORMA CEI EN 50522 ;
- NORMA CEI EN 61400-24;
- Progetto delle opere civili;
- Terna codice di Rete – Allegato A8;
- Documento Terna "*Qualità del servizio di trasmissione – Valori minimi e massimi della corrente di corto circuito e della potenza di corto circuito della rete rilevante in tensione 380-220-150-132 kV (Anno 2011)*";
- Varia letteratura e documentazione tecnica.

Tutti gli elementi non forniti sono stati dedotti e/o assunti dalla letteratura e normativa tecnica. I valori utilizzati in alcuni dimensionamenti vengono sempre riportati nel seguito del testo.

### **1.3 Scopo del dimensionamento e delle prescrizioni realizzative**

Lo scopo del presente dimensionamento è quello di calcolare l'impianto di terra di stazione e relativi componenti, in funzione delle correnti di guasto che è chiamato a disperdere, in modo tale che non si manifesti l'insorgenza di condizioni di pericolo per persone e animali.

L'impianto deve essere realizzato in modo che ne sia garantita la stabilità di funzionamento del tempo.

Si sottolinea infine che gli impianti di terra, oltre a garantire le condizioni di sicurezza, sono realizzati per motivi funzionali onde assicurare condizioni operative ottimali alle apparecchiature.

## **1.4 Definizione del problema e filosofia progettuale adottata**

L'ideazione e la realizzazione di un impianto di terra (nel seguito anche indicato con IdT) deve essere tale da soddisfare quanto previsto dalla Norma CEI EN 50522. Essa alla sezione 9 prescrive che l'impianto in questione debba:

- avere sufficiente resistenza meccanica ed alla corrosione;
- essere in grado di sopportare da un punto di vista termico le più elevate correnti di guasto prevedibili;
- essere tale da evitare danni a componenti elettrici e beni;
- garantire la sicurezza delle persone contro le tensioni che si manifestano per effetto delle correnti di guasto a terra.

Individuati gli obiettivi, l'approccio con cui sono state ideate e realizzate le messe a terra della SE a servizio dell'impianto "GEA Energie" è rappresentato nelle seguenti fasi:

- 1) è stato considerato il layout delle opere elettromeccaniche di CP;
- 2) sono stati effettuati dimensionamenti termici dei conduttori;
- 3) è stata progettata una geometria del sistema disperdente che sfrutta sempre i ferri di armatura delle fondazioni e gli altri dispersori di fatto eventualmente presenti;
- 4) è stata sempre considerata l'implementazione di alcuni provvedimenti aggiuntivi previsti dalle norme CEI;
- 5) è stata segnalata l'opportunità di effettuare una serie di misure di verifica, sia in corso di realizzazione che ad opera compiuta, delle resistenze di terra e delle tensioni di passo e contatto;
- 6) nei punti dove non è stato possibile mantenere una distanza maggiore ai 5 metri dalle recinzioni sono previste degli accorgimenti ad hoc e delle verifiche aggiuntive volte ad assicurare che la corrente di guasto non produca in alcun caso effetti pericolosi (rif. punti A,B,C della tavola TOR-RC-G0.3)

Di ciascuna delle voci numerate si dice nel seguito della presente relazione tecnica.

Si sottolinea che l'approccio prescritto, ovvero accompagnare la realizzazione degli impianti disperdenti con verifiche ed eventuali misure strumentali da realizzare in corso d'opera, sia da preferirsi. Esso è inoltre consigliato dallo standard IEEE Std 142-1991.

## **1.5 Richiami e riferimenti normativi utili – prescrizioni generali**

Sono di seguito riportate alcune prescrizioni normative utilizzate nell'ideazione dell'opera in questione e che devono essere tenute in conto in fase realizzativa:

- è permesso l'utilizzo, come dispersori di fatto, delle armature di acciaio annegate in fondazioni di calcestruzzo (CEI EN 50522 punto 5.2.1);

- non è raccomandato e non è stato previsto l'utilizzo di prodotti chimici per ridurre la resistività del terreno (CEI EN 50522 punto 7.1);
- *"I picchetti infissi verticali sono particolarmente vantaggiosi quando la resistività del terreno diminuisce con l'aumentare della profondità"* (CEI EN 50522 punto 7.1);
- *"Si devono prendere precauzioni per evitare che parte dell'armatura possa essere scollegata dall'impianto di terra in caso di temporaneo smontaggio. Le grandi armature devono essere collegate all'impianto di terra in un numero adeguato di punti."* (CEI EN 50522 punto 7.1);
- Le giunzioni devono avere una buona continuità elettrica per impedire sovratemperature non accettabili dovute alla corrente di guasto. (CEI EN-ANNEX K punto K.2.2).

Dai paragrafi che seguono emerge in modo evidente l'uso che si è fatto delle prescrizioni riportate.

## **SEZIONE II : Terra di stazione**

### **2.1 Generalità**

La rete di terra di stazione è rappresentata, con dovizia di particolari, sulla tavola grafica cui si rimanda.

L'impianto eolico è allacciato alla RTN in virtù della STMG fornita da E Distribuzione Spa con Codice Pratica: 200598232 che prevede che la connessione dell'impianto in oggetto avvenga mediante la realizzazione di una nuova stazione di smistamento da collegarsi in entra-esce sulla sezione a 220 kV della linea AT "San Colombano - Avenza". Le turbine che compongono il parco eolico sono collegate ad una cabina di consegna MT. Detta cabina è a sua volta allacciata ad una nuova CP Enel per mezzo di linee MT in cavo.

### **2.2 Caratteristiche del terreno e profondità di posa**

Le informazioni disponibili relative alla geologia sono riportate sulla Relazione Tecnica Specialistica, sulla quale è possibile leggere che: *"[...] l'area in esame è caratterizzata dall'affioramento di rocce di vario tipo appartenenti a diverse unità: Arenarie di Ponte Bratica, Argille e Calcari di Canetolo, Flysch di Monte Caio, Argille a Palombini e Macigno. [...] Le indagini geologiche svolte dallo Studio Tecnico di geologia e diagnosi ambientale di Bonvino Carmine di Genova hanno avuto come scopo la definizione del modello geologico-tecnico, la caratterizzazione geomeccanica delle rocce e la caratterizzazione sismica dell'area, secondo normativa vigente.*

*In particolare la successione stratigrafica dell'area può essere così schematizzata:*

*a) coltre eluvio-colluviale sciolta di spessore variabile*

*b) substrato roccioso alterato per fenomeni pedogenetici di spessore variabile*

*c) roccia integra costituita da marne, arenarie o argilliti [...]"*

Da quanto riportato è possibile ipotizzare che il terreno dell'area di stazione sia modellabile come a due strati: il primo di terreno vegetale profondo circa 1 metro, il secondo di natura fondamentalmente argillosa con presenza di rocce trovanti lapidei. La resistività corrispondente, come deducibile da letteratura tecnica, del primo e del secondo strato oscilla rispettivamente tra un minimo di 20 ad un massimo circa pari a 50 [ $\Omega\text{m}$ ], e tra un minimo di 50 ed un massimo circa pari a 300 [ $\Omega\text{m}$ ].

Tanto premesso bisogna ricordare che l'area della stazione viene interamente sistemata prima dell'installazione delle apparecchiature.

La profondità di posa della maglia di terra è stata considerata pari a circa 60/65 centimetri. Tale quota è sicuramente inferiore alla linea di gelo e ad essa la temperatura del terreno è pressoché costantemente pari a 10/15°C.

### **2.3 Dimensionamento impianto di terra**

Per il dimensionamento termico dei conduttori si considera la massima corrente che può interessare gli stessi durante il guasto, mentre per la geometria del dispersore occorre considerare la corrente effettivamente

dispersa a terra. Per la definizione dei dati di dimensionamento bisogna analizzare le possibili fonti di alimentazione dei guasti a terra sia in caso di guasto interno che di guasto esterno all'impianto.

### **CORRENTE DISPERSA DALL'IMPIANTO E CIRCOLANTE NEI CONDUTTORI**

In questa sede è stato utilizzato il massimo valore di corrente di guasto a terra e di tempo di eliminazione del guasto previsto in seno all'allegato A8 del CdR Terna. Detto valore è assunto pari a 31,5 kA. Tale ipotesi è stata formulata in virtù della distanza della nuova CP sia da SSE RTN 380/220 kV, sia da importanti nodi di generazione. In definitiva i valori utilizzati sono quelli per i sistemi a 220 kV, ovvero:

- Corrente di guasto a terra 31,5 kA
- Tempo di eliminazione 0,65 s<sup>1</sup>

che sono stati utilizzati per dimensionamento termico del dispersore. Il valore di corrente riportato giunge sino alle cime emergenti collegate ai sostegni e alle apparecchiature AT. Il generico apparecchio da cui proviene la corrente di guasto è servito, nella nuova CP Enel di Tornolo, almeno da due cime, ciascuna collegata ad un differente lato di maglia. In tale configurazione si ha che la corrente in questione si ripartisce al 25% sui conduttori di maglia. In conclusione le cime emergenti devono poter sopportare metà della piena corrente di guasto mentre quelle di maglia devono poter sopportare un quarto della stessa, ovvero rispettivamente 15,75 [kA] e 7,875 [kA].

Nell'ipotesi che una delle due cime venga tagliata o scollegata si avrebbe che la piena corrente di guasto sarebbe veicolata verso la maglia dalla sola rimasta connessa, portante il 100% della corrente ovvero 31,5 [kA]. Sulla maglia si avrebbe il dimezzamento che ridurrebbe la corrente a 15,75 [kA]. Tali ultimi due valori sono stati utilizzati per il dimensionamento termico che segue.

### **DIMENSIONAMENTO TERMICO DEI CONDUTTORI**

I conduttori di terra sono corde di rame nudo interrate ad una profondità di 0,65 metri. Siccome il tempo di eliminazione del guasto è inferiore ai 6 secondi, il fenomeno di riscaldamento dei conduttori del dispersore può essere trattato come adiabatico. Ai sensi della Norma CEI EN50522 la sezione può essere calcolata con la formula:

$$A = \frac{I}{K} \cdot \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}}$$

con:

- A sezione in millimetri quadri
- I corrente del conduttore in ampere (valore efficace)
- t durata in secondi della corrente di guasto (0,65 sec)

---

<sup>1</sup> Tale valore, adottato ai fini del dimensionamento termico dei conduttori, è molto conservativo in quanto le protezioni lato Terna sono solitamente impostate per intervenire tempi più brevi.

- $K$  dipende dal materiale di cui è fatta la corda assumendo una temperatura iniziale di 20°C (226)
- $b$  è il reciproco del coefficiente di temperatura del componente percorso dalla corrente a 0°C (234,5)
- $\varrho_i$  è la temperatura iniziale in gradi Celsius (20°C)
- $\varrho_f$  è la temperatura finale in gradi Celsius

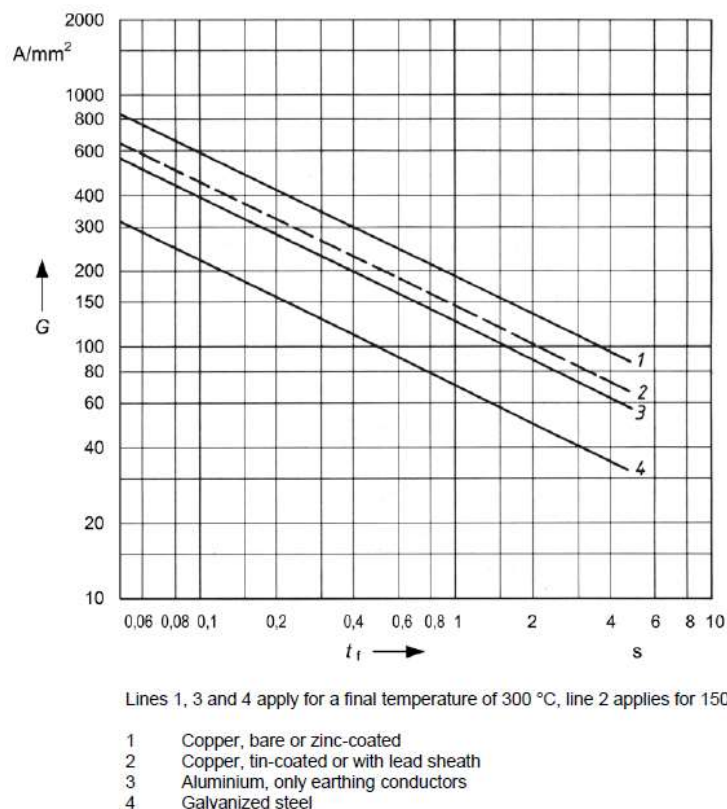
Per conduttori in rame, assumendo una temperatura finale di 300°C, si ottengono valori di sezione inferiori a quelli considerati pari a: 150 mmq per le cime emergenti e 70 mmq per la maglia primaria che, nelle ipotesi conservative formulate, possono essere considerati idonei.

*Ad abundantiam*, si riporta lo sviluppo dei calcoli effettuati nelle ipotesi e con i valori riportati dianzi:

$$A_{\text{TotCime}} = \frac{31500}{226} \cdot \sqrt{\frac{0,65}{\ln \frac{300 + 234,5}{20 + 234,5}}} = \frac{31500}{226} \cdot \sqrt{\frac{0,65}{0,742}} = 130,46 \text{ [mmq]}$$

$$A_{\text{TotMaglia}} = \frac{15750}{226} \cdot \sqrt{\frac{0,65}{\ln \frac{300 + 234,5}{20 + 234,5}}} = \frac{15750}{226} \cdot \sqrt{\frac{0,65}{0,742}} = 65,23 \text{ [mmq]}$$

Per quanto riguarda il tratto fuori terra delle curve emergenti, si riporta di seguito la figure D1 tratta dalla Norma CEI EN 50522.



**Figura D1: Densità di corrente di cc per conduttori di terra in aria (Fonte CEI EN 50522)**

Essa mostra il valore della densità di corrente, che prima percorre il conduttore in aria in funzione della corrente di guasto. Considerando che in corrispondenza di 0,65 sec si legge sulla curva 1 un valore circa pari a 200/225 A/mm<sup>2</sup>, una cima emergente da 150 mm<sup>2</sup> posata è sufficiente a sopportare la piena corrente di 31,5 [kA].

#### **RESISTENZA DI TERRA E TENSIONI MASSIME AMMISSIBILI**

Gli allegati della norma CEI EN 50522 stabiliscono che i valori massimi di tensione di contatto ai quali può essere sottoposta una persona sono funzione del tempo di eliminazione del guasto.

Si sottolinea sin d'ora la necessità di effettuare, ad opera compiuta, le misure di resistenza di terra e quelle di contatto secondo quanto previsto dalla vigente normativa.

### **2.4 Dispersore di terra di stazione**

Il dispersore di terra, come già detto, è rappresentato sulla tavola grafica TOR-RC-G0.3. Come si può notare è stata considerata la connessione della maglia di terra ai ferri di fondazione con la raccomandazione che essa sia eseguita in più punti. Il collegamento alle reti di acciaio elettrosaldate dei solai consente di realizzare facilmente delle superfici equipotenziali.

Lo sfruttamento dei ferri di armatura è consentito dalla normativa. Gli stessi presentano una elevata resistenza meccanica ed alla corrosione poiché sono immersi nel calcestruzzo. Numerose sperimentazioni condotte in diversi laboratori, iniettando nelle armature correnti alternate, non hanno dato alcuna conferma in merito a possibili problemi di corrosione derivanti dalle iniezioni stesse.

Inoltre il ferro può essere considerato in intimo contatto elettrico con il terreno, anche se inglobato nel calcestruzzo, giacché quest'ultimo, grazie alla sua composizione alcalina e alla sua natura fortemente igroscopica, assorbe umidità mantenendo la sua conducibilità anche in zone asciutte.

Avendo cura di realizzare molti punti di contatto si assicura una elevata permanenza nel tempo del sistema disperdente. In merito alla Resistenza alle sollecitazioni termiche va detto che, essendo stati utilizzati i ferri come dispersori, l'applicazione del metodo di calcolo svolto per le corde nonché prescritto dalla norma è proibitiva, anche alla luce della complessa geometria del sistema disperdente che rende estremamente complesso il calcolo della ripartizione delle correnti tra i vari ferri-dispersori.

Va ribadita la notevole entità delle sezioni dell'acciaio impiegato a fini dispersivi; ciò è una garanzia intrinseca rispetto agli effetti termici.

Infine fonti autorevoli riportano che " *Nelle sperimentazioni condotte si è altresì verificato che l'immissione di correnti di corto circuito in punti nodali dell'armatura di una struttura in cemento armato [...] non provoca preoccupanti sollecitazioni termiche alla struttura.*" (Prof. V. Cataliotti - Università di Palermo).

E' necessario curare bene la realizzazione delle interfacce di contatto rame/acciaio e che vengano utilizzati morsetti di ottone o bimetallici - al fine

di ridurre le coppie elettrochimiche - nonché proteggere la giunzione con nastrature auto vulcanizzanti, rivestimenti di catrame o mastici bituminosi per evitare l'introduzione di elettroliti nella giunzione stessa.

Migliora il compito delle corde disperdenti la posa di esse all'interno di un "Bauletto" di terreno vegetale, o comunque a contatto diretto con il terreno.

## **2.5 Implementazione di provvedimenti aggiuntivi**

Sono automaticamente implementati dalla normale realizzazione della sottostazione i seguenti provvedimenti aggiuntivi (Provvedimenti M – Allegato D – CEI EN 50522):

- M 1.1 *uso di materiale non conduttore per le pareti esterne evitando l'impiego di parti metalliche collegate a terra che possono essere toccate dall'esterno;*
- M 1.3 *isolamento del posto di manovra. [...] L'isolamento del posto di manovra è considerato sufficiente nei seguenti casi: un'area di pietre frantumate con uno spessore di almeno 100 mm; un'area di asfalto con fondo idoneo (per esempio ghiaietto);*
- M 3.1 *equipotenzializzazione mediante dispersori di tipo a maglia annegati nelle fondazioni dell'edificio e mediante collegamento all'impianto di terra almeno in due punti diversi;*
- M 4.1 *nei posti di manovra si può adottare uno dei seguenti provvedimenti: [...] isolamento dei posti di manovra per la tensione totale di terra in conformità a M 1.3;*

Possono, facilmente e senza alcun costo addizionale, essere implementati anche i provvedimenti aggiuntivi M 1.2 e M 2.4.

## **2.6 Misure di verifica in corso d'opera**

In virtù dell'approccio precedentemente descritto si ritiene opportuno che la realizzazione dell'opera sia accompagnata da una serie di misure di verifica in corso d'opera. Grazie ad esse è possibile stimare l'eventuale necessità di irrobustimento della rete di terra previa adozione di accorgimenti specifici (infissione di picchetti aggiuntivi, trattamenti del terreno, aumento della magliatura ecc.).

Le misure in questione sono consigliate in quanto interventi successivi ad opera compiuta risulterebbero molto onerosi.

## SEZIONE III : Conclusioni e considerazioni finali

### 3.1 Conclusioni

A margine dei calcoli e delle considerazioni progettuali effettuate è possibile, in aggiunta a quanto già considerato, affermare che:

- le aree limitrofe alla nuova CP Enel, sono occupate dalla SSE RTN 220kV di Terna o di altre stazioni AT/MT di utente. In proposito si rileva che è possibile in fase realizzativa effettuare tutte le predisposizioni necessarie affinché le rispettive maglie di terra siano interconnesse;
- è eventualmente possibile considerare l'effetto disperdente delle maglie limitrofe;
- va considerata la presenza di uno strato superficiale di materiale pietroso (almeno 4500 [ $\Omega$ m] di resistività e 10 cm di spessore), oppure di asfalti ed altre sostanze bituminose.

Relativamente alle aree che, in fase di misura strumentale della tensione di contatto, non dovessero essere verificate va detto che si possono sempre implementare misure aggiuntive locali.

I provvedimenti correttivi immediatamente e semplicemente applicabili sono:

- a. utilizzo di materiale pietroso con resistività superiore a 4500 [ $\Omega$ m];
- b. aumento da 20 a 30 cm dello spessore del materiale di cui al sub. a;
- c. bitumazione delle aree e delle strade interne/esterne alla stazione.

Si sottolinea che quanto di cui al punto c va stabilito e concordato tra tutti i proprietari e/o aventi titolo sulla strada stessa.

### 4.2 Considerazioni finali

La necessità di eseguire le misure è stata più volte sottolineata. Qualora quelle di verifica finale dovessero evidenziare dei valori superiori ai limiti normativi si dovrà intervenire adottando opportuni provvedimenti.

E' opportuno pianificare una misura di verifica dei potenziali trasferiti e/o l'eventuale adozione di provvedimenti ulteriori.

In conclusione a chi scrive preme sottolineare l'economicità dei sistemi di atterramento, opportunisticamente da realizzare con un impiego di materiali molto marginale, unitamente alla valenza ambientale, che deriva da tale peculiarità.

Bari, gennaio 2022

Il tecnico

