



CITTA' DI FRANCOFONTE

REGIONE SICILIA

IMPIANTO AGROVOLTAICO "DAFNE"

della potenza di 29,313 MW in DC
PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:



DAFNE SOLE srl
Via Cardinale Agostino Ciasca, 9
70124 Bari
VAT: 08245440725
Tel: 0039 3406832848

PROGETTAZIONE:



TÈKNE srl
Via Vincenzo Gioberti, 11 - 76123 ANDRIA
Tel +39 0883 553714 - 552841 - Fax +39 0883 552915
www.gruppotekne.it e-mail: contatti@gruppotekne.it



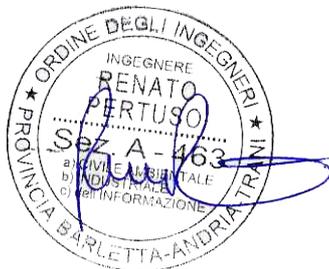
PROGETTISTA:

Ing. Renato Pertuso
(Direttore Tecnico)

LEGALE RAPPRESENTANTE:
dott. Renato Mansi

CONSULENTE:

Ing. Giovanni Guzzo Foliaro
Ing. Amedeo Costabile
Ing. Francesco Meringolo



PD

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

Tavola: **RE10**

Filename:

Data 1°emissione:

Settembre 2021

Redatto:

NEW DEV

Verificato:

G.PERTOSO

Approvato:

R.PERTOSO

Scala:

Protocollo Tekne:

TKA644

n° revisione

1
2
3
4

Sommario

1	<i>Introduzione</i>	2
2	<i>Quadro normativo</i>	2
3	<i>Campo elettrico</i>	4
	3.1 <i>Linee AT e stazione MT/AT</i>	4
	3.2 <i>Cavidotti</i>	5
4	<i>Campo magnetico</i>	5
	4.1 <i>Base teorica generale</i>	5
	4.2 <i>Stazione di trasformazione MT/AT</i>	7
	4.3 <i>Linee in cavo a 150 kV</i>	9
	4.4 <i>Linee in cavo a 30 kV</i>	11
5	<i>Conslusioni</i>	177

1 Introduzione

DAFNE SOLE S.R.L. propone di realizzare un impianto di produzione di energia elettrica da fonte SOLARE, sito nel Comune di Francofonte (SR) in un terreno ricadente tra la Statale Ragusana n° 194 ed il Torrente Risicone, mediante l'installazione di 49.266 moduli fotovoltaici di potenza unitaria pari a 595 Wp monofacciali, per una potenza complessiva di 29,31 MWp installati su strutture fisse, e la realizzazione della Stazione Elettrica di Trasformazione (SET).

La presente relazione riguarda la valutazione dei campi elettrici e magnetici per l'impianto di produzione sopra descritto.

Si è proceduto a verifica di calcolo, per caratterizzare l'esposizione umana ai campi magnetici associabili alle varie opere da realizzarsi in merito alla connessione dell'impianto di produzione.

L'impianto sarà collegato alla rete elettrica nazionale per mezzo di elettrodotti interrati di Media Tensione, con tensione 30KV, tra l'impianto fotovoltaico e lo stallo di utenza ubicato nella stazione di elevazione MT/AT 30/150 kV da realizzare in località "Masseria Monforte" nel Comune di Francofonte (SR) di lunghezza pari a 6.865,00 m e un cavidotto AT 150 kV per il collegamento della stazione 30/150 Kv (SET) allo stallo nella nuova SE Terna "Vizzini" nel Comune di Vizzini (CT) di lunghezza pari a 4.810,00 m.

2 Quadro normativo

- Legge Quadro 22.02.2001 n.36 (LQ 36/01) *“Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”*;
- DPCM 08.07.2003 *“Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”*;
- DM 29.05.2008 n.156 *“Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree”*;
- CEI 11-17 *“Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica – linee in cavo”*;
- CEI 106-11 *“Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 08.07.2003 art. 6”*;

- CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee e da stazioni elettriche".

La Legge Quadro 22/02/01 n° 36 (LQ 36/01) "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" è la normativa di riferimento che regola, in termini generali, l'intera materia della protezione dai campi elettromagnetici negli ambienti di vita e di lavoro.

Il DPCM 08/07/03 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti" (GU n. 200 del 29/08/03) ai sensi della LQ 36/01, art. 4 comma2, fissa i limiti di esposizione per la protezione della popolazione dai campi elettrico e magnetico ed il valore di attenzione e l'obiettivo qualità dell'induzione magnetica generati a 50 Hz dagli elettrodotti:

	Campo elettrico [kV/m]	Induzione magnetica [μ T]
Limite di esposizione	5	100
Valore di attenzione	-	10
Obiettivo di qualità	-	3

Il limite di esposizione è il valore di campo elettrico e di campo magnetico da non superare in nessuna condizione di esposizione.

Il valore di attenzione per l'induzione magnetica, introdotto come misura di cautela per la protezione dai possibili effetti a lungo termine, si applica alle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere.

L'obiettivo di qualità per l'induzione magnetica, introdotto al fine della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi, si applica nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore, nonché nella progettazione dei nuovi insediamenti e nelle nuove aree in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti sul territorio.

Le fasce di rispetto degli elettrodotti, previste al par. 5.1.1. della LQ 36/01, devono essere determinate in base all'obiettivo qualità di $3 \mu\text{T}$ in corrispondenza della *portata in corrente in servizio normale* dell'elettrodotto (art. 6, comma 1, del DPCM 08/07/03) che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV ed alle Regioni per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV. E' stato chiarito che tali valori sono da intendersi come mediana di valori nell'arco delle 24 ore, in condizioni normali di esercizio. Non si deve dunque far riferimento al valore massimo di corrente eventualmente sopportabile da parte della linea. La *portata in corrente in servizio normale* è, per le linee aeree con tensione $> 100 \text{ kV}$, calcolata ai sensi della norma CEI 11-60, mentre per le linee in cavo è la portata in regime permanente definita dalla norma CEI 11-17.

La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è stata definita con il DM 29/05/08 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" (SO n°160 alla GU n°156 del 05/07/08).

Il DPCM 08/07/03 prescrive che il proprietario/gestore comunichi alle *autorità competenti* l'ampiezza delle fasce di rispetto ed i dati utilizzati per il loro calcolo. Il calcolo dell'induzione magnetica deve essere basato sulle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea nella campata in esame e deve tener conto della presenza di altri elettrodotti che ne modifichino il risultato.

Tale metodologia prevede una procedura semplificata di valutazione con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA).

3 Campo elettrico

3.1 Linee AT e stazione MT/AT

Il campo elettrico prodotto da una linea è proporzionale alla tensione di linea. Considerando che per una linea di 400 kV si ottiene un valore 4 kV/m prossimo al limite di 5 kV/m , quello emesso dalla linea a 150 kV e dalle sbarre a 30 kV risulta essere molto minore dei limiti di emissione imposti dalla normativa. In particolare il valore tipico associato ad una linea a 150 kV è minore di 1 kV/m .

Per quanto concerne il campo elettrico nelle stazioni elettriche, i valori massimi si presentano in corrispondenza delle uscite delle linee AT con punte di circa 12 kV/m che si

riducono a meno di 0,5 kV/m già a circa 20 m di distanza dalla proiezione dell'asse della linea.

3.2 Cavidotti

Il campo elettrico generato dai cavidotti MT e AT ha valori minori di quelli imposti dalla legge.

Questa affermazione deriva dalle seguenti considerazioni:

- i cavi utilizzati sono costituiti da un'anima in alluminio (il conduttore elettrico vero e proprio), da uno strato di isolante + semiconduttore, da uno schermo elettrico in rame, e da una guaina in PVC. Lo schermo elettrico in rame confina il campo elettrico generato nello spazio tra il conduttore e lo schermo stesso,
- il terreno ha un ulteriore effetto schermante,
- il campo elettrico generato da una installazione a 30 kV o 150 kV è minore di quello generato da una linea, con conduttore non schermato (corda), a 400 kV, il quale è minore ai limiti imposti dalla legge.

Non si effettua quindi un'analisi puntuale del campo generato ritenendolo trascurabile.

4 Campo magnetico

4.1 Base teorica generale

La radiazione elettromagnetica è prodotta da cariche elettriche in movimento. Ogni sistema alimentato elettricamente produce un campo elettromagnetico, anche se con intensità che possono essere estremamente basse. Una delle grandezze vettoriali che caratterizza il fenomeno è l'induzione magnetica.

L'induzione magnetica **B** in un punto **P** prodotta da un conduttore lineare di lunghezza infinita è espressa tramite la legge di Biot e Savart:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} \text{ [T]}$$

Essendo:

B induzione magnetica [Tesla = T = Wb / m²]

μ_0 permeabilità magnetica nel vuoto, pari a $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m

I corrente elettrica percorrente il conduttore espressa in Ampere [A]

r distanza radiale "r" del punto P dal conduttore [m]

Ne deriva che l'induzione magnetica assume la seguente forma:

$$B = \frac{2 \cdot I \cdot 10^{-7}}{r}$$

Per il calcolo dei campi elettromagnetici è stato utilizzato un software il cui algoritmo di calcolo fa uso del seguente modello semplificato:

- tutti i conduttori costituenti la linea sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- i conduttori sono considerati di forma cilindrica con diametro costante;
- la tensione e la corrente su ciascun conduttore attivo sono considerati in fase tra di loro;
- la distribuzione della carica elettrica sulla superficie dei conduttori è considerata uniforme;
- il suolo è considerato piano e privo di irregolarità, perfettamente conduttore dal punto di vista elettrico, perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico;
- viene trascurata la presenza dei tralicci o piloni di sostegno, degli edifici, della vegetazione e di qualunque altro oggetto si trovi nell'area interessata.

Le condizioni sopraesposte permettono di ridurre il calcolo ad un problema piano, poiché la situazione è esattamente la stessa su qualunque sezione normale della linea, dove con "sezione normale" si intende, qui e nel seguito, quella generata da un piano verticale ortogonale all'asse longitudinale della linea (cioè alla direzione dei conduttori che la costituiscono) passante per il punto dove si vogliono calcolare i campi.

Indicato con P il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per P e ortogonale ai conduttori. Indichiamo quindi con Q_k il punto dove il generico conduttore C_k interseca la sezione normale. L'induzione magnetica B generata da NR conduttori filiformi, numerati da 0 a (NR-1), può essere calcolata con l'espressione seguente:

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \times d\vec{l}$$

Le ipotesi adottate consentono di eseguire l'integrazione ed ottenere (asse Z nella direzione dei conduttori):

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \frac{i_k \vec{z} \times (Q - P_k)}{|Q - P_k|^2}$$

4.2 Stazione di trasformazione MT/AT

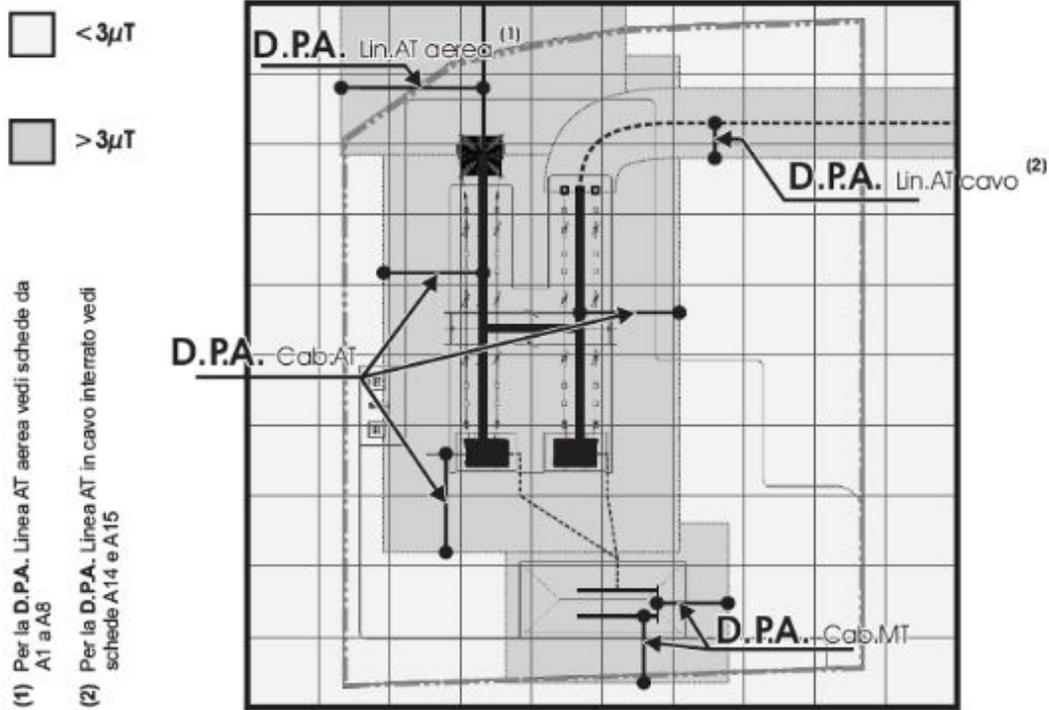
L'architettura della stazione di trasformazione è conforme ai moderni standard di stazioni AT, sia per quanto riguarda le apparecchiature sia per quanto concerne le geometrie dell'impianto.

Per tali impianti sono stati effettuati rilievi sperimentali per la misura dei campi magnetici al suolo nelle diverse condizioni di esercizio con particolare riguardo ai punti ove è possibile il transito di personale (viabilità interna). Per quanto concerne il campo magnetico al suolo, questo risulta massimo sempre in corrispondenza delle uscite delle linee AT.

Così come espresso all'art. 5.2.2 "Stazioni primarie" del DM 29/05/08, si può concludere che le fasce di rispetto di questa tipologia di impianti rientrano nei confini dell'area di pertinenza dei medesimi. Il campo elettromagnetico alla recinzione è sostanzialmente riconducibile ai valori generati dalle linee entranti.

A titolo di esempio si riporta il risultato, estrapolato dalle "Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 - Distanze di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche" redatto dal distributore Enel distribuzione, del calcolo effettuato per una cabina primaria isolata in aria 150KV le cui correnti sono superiori a quelle da considerare nel presente caso. Si evince che la DPA calcolata è pari a 14m (rif. Immagine DPA cabina primaria AT) dall'asse del sistema di sbarre in AT e quindi all'interno dell'area della stazione di trasformazione.

RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						
	D.P.A. Cab. da centro sbarre AT	Distanza tra le fasi AT	Corrente	D.P.A. Cab. da centro sbarre MT	Distanza tra le fasi MT	Corrente	Riferimento
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

Immagine DPA cabina primaria AT

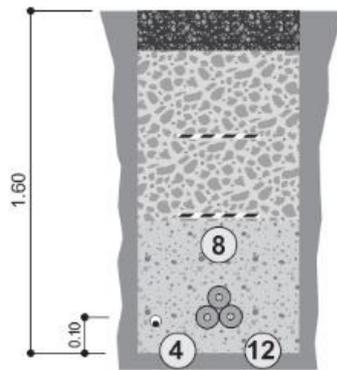
Rimane comunque facoltà dell'Autorità competente richiedere il calcolo, qualora lo ritenga opportuno, delle fasce di rispetto relativamente agli elementi perimetrali (es. portali, sbarre, ecc).

4.3 Linee in cavo a 150 kV

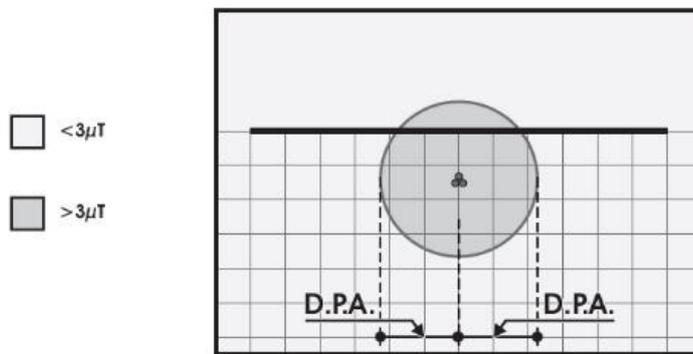
La linea elettrica interrata, con tensione 150 kV, permette il collegamento della stazione elettrica di trasformazione (SET) alla stazione di smistamento elettrica 380/150 kV (SSE) TERNA denominata "Vizzini" in corso di autorizzazione. L'elettrodotto interrato sarà costituito da cavi, disposti a trifoglio, in alluminio con isolamento XLPE di sezione 3x(1x1600) mmq e posato ad una profondità di circa 1,50 m.

Il cavidotto con tensione 150 kV (AT) avrà una lunghezza pari a 4810,00 m con corrente di impiego pari a 970A e percorrerà strade comunali e strade provinciali.

Nella figura di seguito (*rif. DPA elettrodotto interrato AT*) si riporta il risultato, estrapolato dalle "Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 - Distanze di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche" redatto dal distributore Enel distribuzione, della DPA per la tipologia di elettrodotto AT interrato che è pari a **3,1 m**. si vuole precisare che il calcolo effettuato è riferito ad una corrente pari a 1100 A di portata, valore che supera la corrente d'impiego che genererà l'impianto di produzione oggetto della presente. Altro fattore da non trascurare è la mancata presenza di abitazioni civili e industriali nel raggio di 250 m dalla sede dell'elettrodotto.



RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm ²]	CEI - 11-60 Portata [A]		
		Corrente A	D.P.A. m	Riferimento
108	1600	1110	3.10	A15

Immagine: sezione cavidotto e DPA elettrodotta interrato AT

4.4 Linee in cavo a 30 kV

Per i tratti di cavidotto all'interno del Parco Agrivoltaico "Dafne", dove:

- sono presenti cavi di minima sezione,
- la tratta è costituita da diverse terne ad elica visibile,
- le potenze trasportate sono legate al numero di generatori collegati a monte delle linee,

si può affermare che già al livello del suolo ed in corrispondenza della verticale del cavo si determina una induzione magnetica prossima a 3 μ T e che pertanto non è necessario stabilire una fascia di rispetto (art. 3.2 DM 29/05/08, art. 7.1.1 CEI 106-11).

Non è possibile affermare lo stesso per il tratto di collegamento tra il Parco Fotovoltaico e la stazione di trasformazione AT/MT (150/30kV), costituito da un circuito a doppia terna parallela di lunghezza pari a 6865,00 m.

Di seguito si riporta il circuito del cavidotto interessato dall'analisi:

- CIRCUITO 1 (30kV): numero 3 terne di cavi tripolari 3x(3x185) ARG7H1E(X) ad elica visibile, collega le Cabine di Campo (CC) alla SET, con corrente massima pari a 570A;

Ai fini del calcolo di seguito si riporta la corrente mediana efficace giornaliera della linea sovradimensionata rispetto alla corrente nominale:

- CIRCUITO 1 : 600 A;

di seguito si riporta l'immagine che raffigura la tipologia di posa delle linee MT 30 kV che collegano l'impianto di produzione alla SET.

SEZIONE TIPO 3 Terne su STRADA

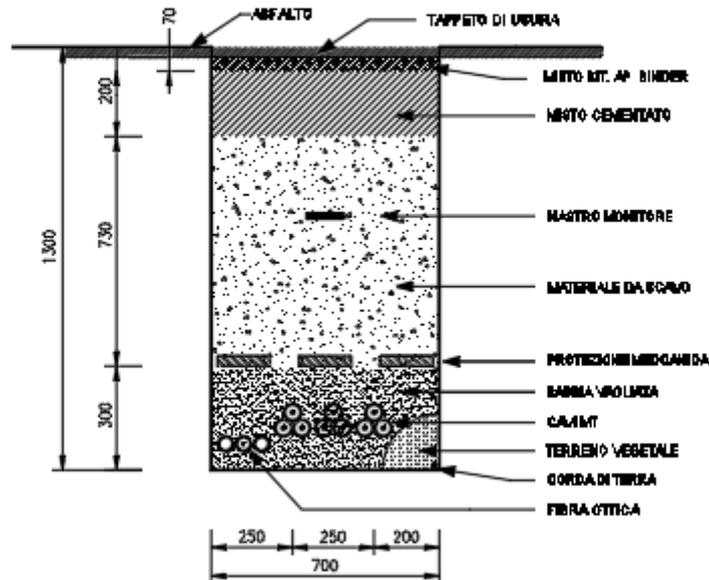


Immagine posa elettrodotto interrato MT 30kV (a tripla terna)

Per il calcolo è pertanto stato utilizzato un software MAGIC della BESHIELDING utilizzando le seguenti assunzioni, condizione sovrastimata rispetto ai valori di corrente mediana efficace nelle 24 ore

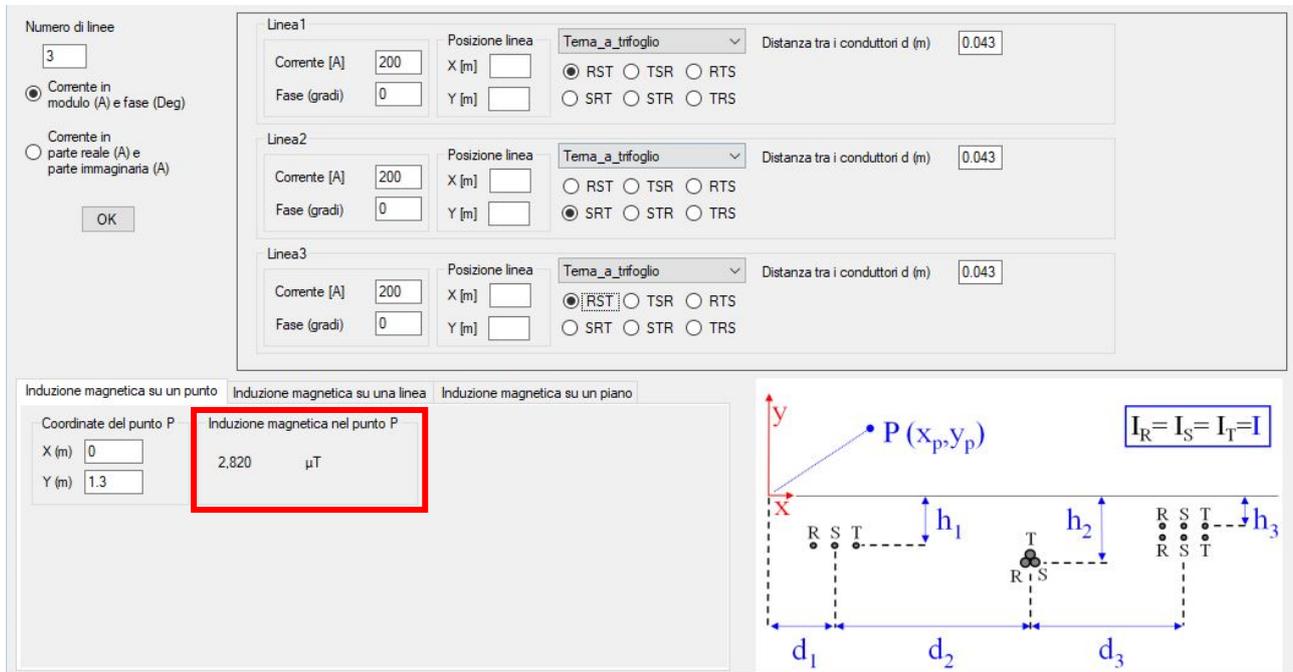
- portata dei cavi in regime permanente (cavi in alluminio): Circuito 1 con portata 570 A per la tripla terna parallela con sezione da 185 mmq, (ai fini del calcolo si è utilizzata una corrente pari a 600A)
- disposizione delle fasi ottimizzata (RST - SRT - RST);

ciò comporta che l'analisi effettuata risulti cautelativa rispetto alle condizioni normali di funzionamento dell'impianto.

Di seguito si riporta i grafici dei risultati di calcolo ottenuti dal software.

Induzione magnetica su un punto.

Circuito 1 (tre TERNE parallela 3x(3x185).



Schermata di calcolo estrapolata dal software

Nell'immagine sopra riportata si può evincere il valore dell'induzione magnetica puntuale pari a **2.82μT** su un punto del piano stradale ad una altezza dal piano di posa del cavidotto di circa 1,3 m (profondità media del cavidotto 1,2m-1,3m).

Induzione magnetica su una linea.
Circuito 1 (tre TERNE parallela 3x(3x185)).

Numero di linee:

Corrente in modulo (A) e fase (Deg)
 Corrente in parte reale (A) e parte immaginaria (A)

Linea1

Corrente [A]:
Fase (gradi):

Posizione linea

X [m]:
Y [m]:

Tema_a_trifoglio

RST TSR RTS
 SRT STR TRS

Distanza tra i conduttori d (m):

Linea2

Corrente [A]:
Fase (gradi):

Posizione linea

X [m]:
Y [m]:

Tema_a_trifoglio

RST TSR RTS
 SRT STR TRS

Distanza tra i conduttori d (m):

Linea3

Corrente [A]:
Fase (gradi):

Posizione linea

X [m]:
Y [m]:

Tema_a_trifoglio

RST TSR RTS
 SRT STR TRS

Distanza tra i conduttori d (m):

Induzione magnetica su un punto Induzione magnetica su una linea Induzione magnetica su un piano

Coordinata punto iniziale

x1:
y1:

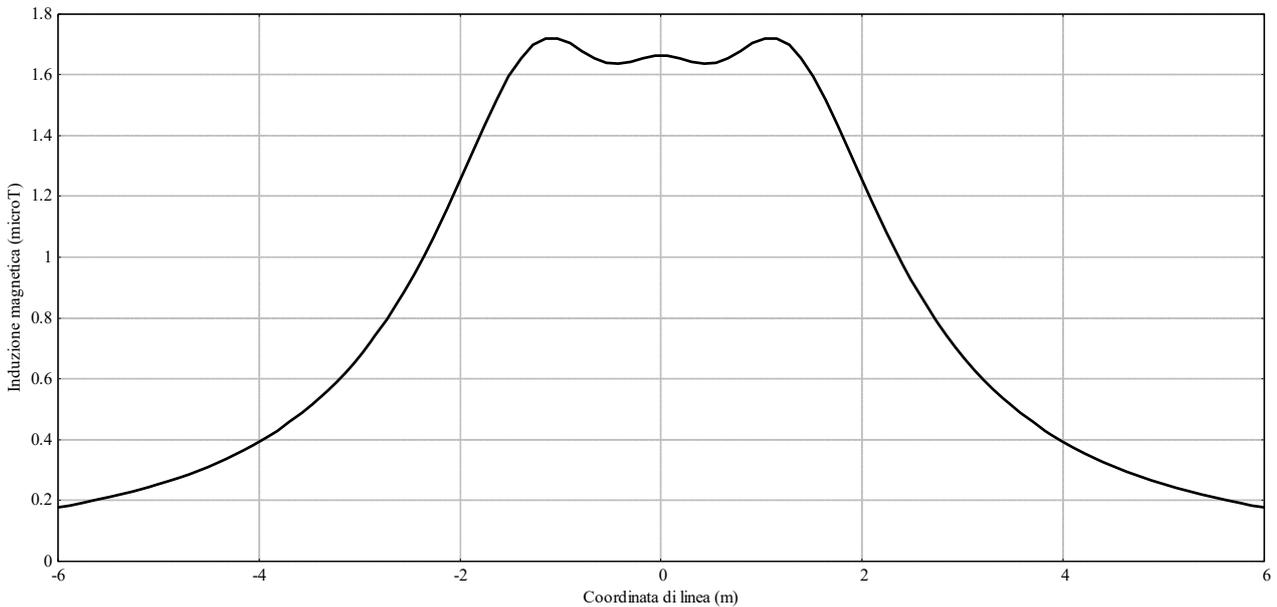
Coordinata punto finale

x2:
y2:

Discretizzazione

Numero punti:

Opzioni di visualizzazione

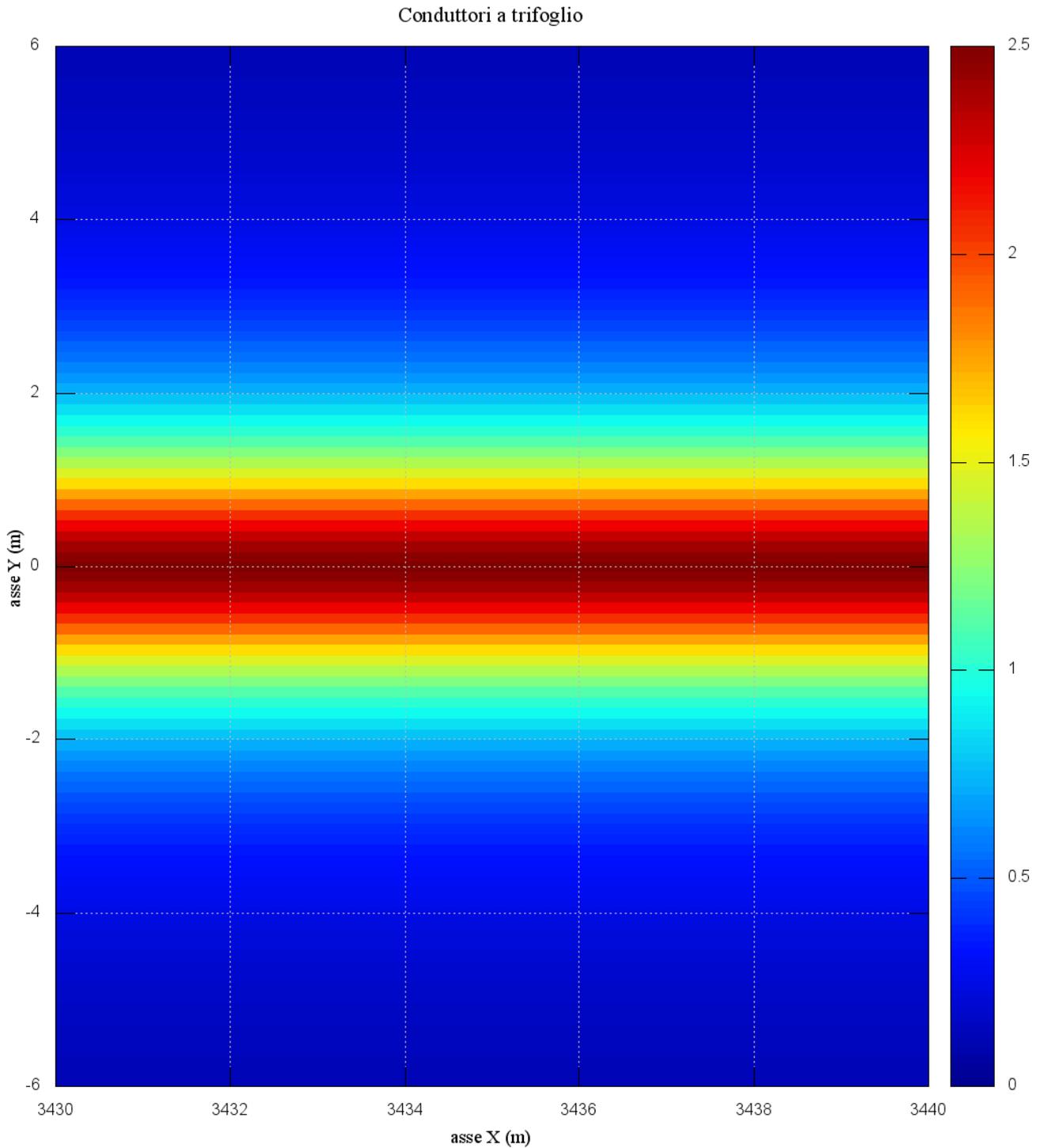


Schermata di calcolo estrapolata dal software

Nel grafico sopra riportato si può notare la curva rappresentante l'andamento dell'induzione magnetica del cavidotto a doppia terna in media tensione di collegamento su un'area di analisi pari a 12m sull'asse orizzontale (-6m; 6m) e ad una altezza dal piano di posa del cavidotto di circa 1,3 m (profondità media del cavidotto 1,2m-1,3m). Il grafico evidenzia un andamento quasi simmetrico

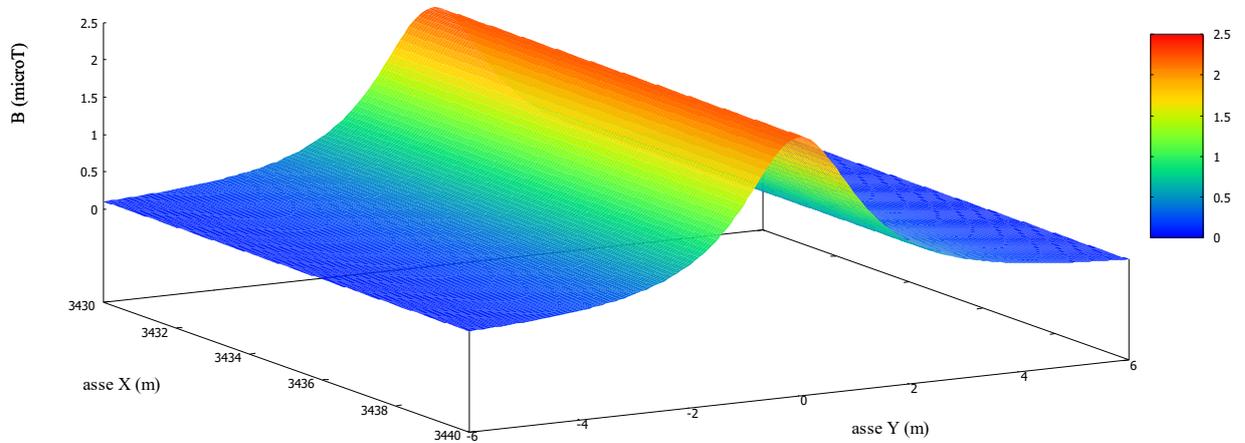
dovuto alla presenza del doppio cavidotto. Si evince che il valore massimo dell'induzione magnetica pari a $1,73 \mu\text{T}$ rimane sotto i limiti di normativa ($3 \mu\text{T}$).

*Induzione magnetica su un piano XY in 2d e 3d.
Circuito 1 cavidotto MT.*



Curve isolivello in 2d

Conduttori a trifoglio



Schermata di calcolo estrapolata dal software in 3d

Dai grafici si evince che l'induzione magnetica rimane sempre nei limiti di normativa e quindi inferiore a $3 \mu\text{T}$. L'immagine sopra riportata descrive l'andamento dell'induzione magnetica su un piano ad una quota 1,3m con coordinate X (lunghezza cavidotto da 3440 m a 3450 m) e Y (-6m; 6m pari ad una fascia di 12m ortogonale al cavidotto).

5 Conclusioni

I risultati ottenuti mostrano che, in corrispondenza dell'asse del cavidotto su un punto a quota stradale, corrispondente al CIRCUITO 1 a tripla TERNA da 185 mmq, per posa pari a 1,3 m, si raggiunge il valore massimo in un punto di induzione magnetica pari a **2.82 μ T** valore inferiore al limite di normativa (valore di qualità 3 μ T) e che i valori si riducono ulteriormente con l'allontanarsi dall'asse del cavidotto. (rif. grafici).

Come possiamo evincere dal grafico (*ref. Grafico Induzione magnetica su una linea Circuiti 1 tripla TERNA*) il valore massimo di induzione magnetica è inferiore al valore limite di 3 μ T, in quanto nel calcolo si è effettuato con l'effettiva posa dei cavidotti che risultano essere paralleli.

Considerato che l'elettrodotto oggetto dell'analisi verrà posato lungo il margine della strada (area banchina del percorso stradale), e che lungo tutto il tracciato non sono presenti degli insediamenti agricoli o industriali, l'induzione magnetica assumerà valori nulli.

Inoltre tali valori di campo magnetico, sono ottenuti per una portata di corrente leggermente sovrastimata rispetto alla normale conduzione dell'impianto di produzione, tale condizione nominale ipotetica è al di sopra dalla massima condizione di esercizio reale; se fossero utilizzate le reali correnti di impiego, il valore massimo di induzione magnetica risulterebbe inferiore al valore massimo riportato pocanzi, e il valore di qualità di 3 μ T non si raggiunge neanche in prossimità dell'asse del cavidotto.

Si evidenzia inoltre che l'impianto fotovoltaico ha una produzione tipicamente diurna e ben distinta tra inverno ed estate, pertanto in pochissime ore dell'anno esso raggiunge la potenza nominale.