



Comune
di Gravina in Puglia

Regione Puglia



proponente:

AMBRA SOLARE 6 S.R.L.

Via Tevere 41, 00187 - Roma (RM) - P.IVA/C.F. 15946071006 - pec: ambrasolare6srl@legalmail.it



id:

TAV_Q.2

GRUPPO
Powertis

DISCIPLINA:	PD	TIPOLOGIA:	R	FORMATO:	A4	CODICE PRATICA:
FOGLIO:	1 di 1	SCALA:	-	Nome file:	Campi_Elettromagnetici_Q.2.pdf	

titolo del progetto:

PROGETTO PER LA COSTRUZIONE
E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO,
DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI,
DENOMINATO "LAMATUFARA"

nome elaborato:

RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA SUI CAMPI
ELETTROMAGNETICI

progettazione:



dott. ing. Giovanni Guzzo Follaro dott. ing. Amadeo Costabile dott. ing. Francesco Meringolo dott. ing. Pierluigi Astorino

Rev:	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	15/05/2022	PRIMA EMISSIONE	New Dev.	PW	PW



NEW DEVELOPMENTS S.r.l.
piazza Europa, 14 - 87100 Cosenza (CS)

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>	27

1 Introduzione

La società **AMBRA SOLARE 6 s.r.l** propone di realizzare un impianto di produzione di energia elettrica da fonte SOLARE, sito nel Comune di Gravina in Puglia (BA), mediante l'installazione di 54.656 moduli fotovoltaici di potenza unitaria pari a 680 Wp monofacciali, per una potenza complessiva di 37.166,08 kWp installati su strutture mobili, a cui vanno sommati i 20.000 kVA dell'impianto di accumulo elettrochimico, per totali 57.166,08 kVA; e la realizzazione di una futura Stazione Elettrica di Smistamento (SSE) della RTN (Rete di Trasmissione Nazionale) a 380/150 kV da inserire in entrata - uscita alla linea 380 kV " Genzano 380 - Matera 380". 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, e di opere riguardanti la stazione elettrica di trasformazione (SET) MT/AT per poi collegarsi alla Stazione di Smistamento TERNA a 150KV in condivisione con altro produttore.

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:

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

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):

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

4.2 Stazione di trasformazione MT/AT

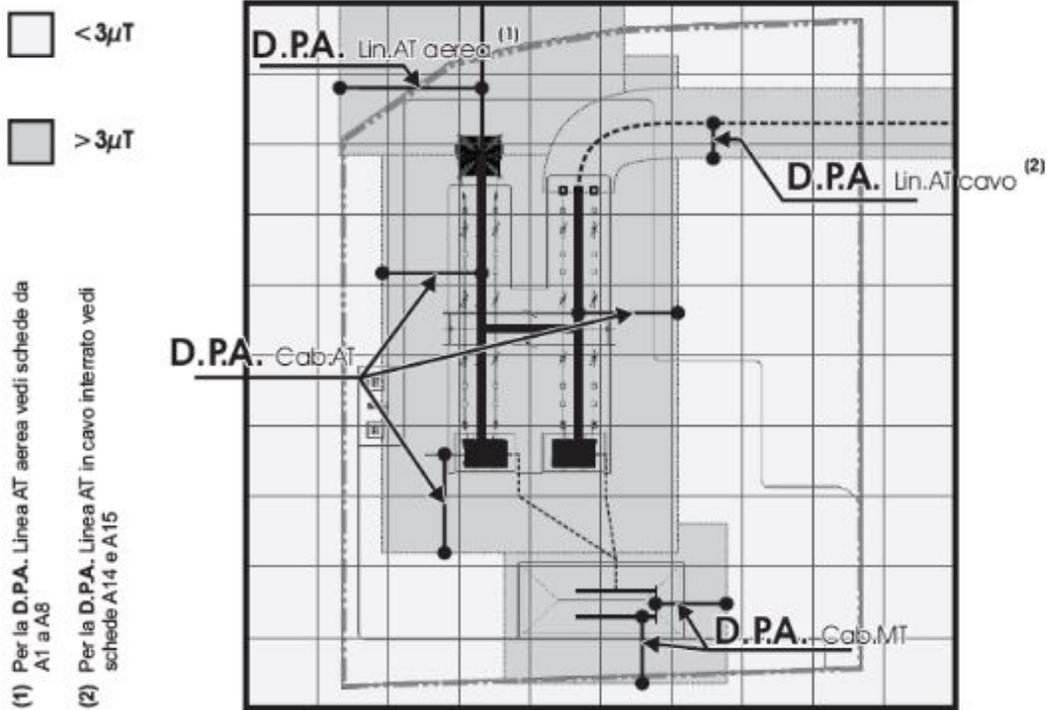
L'architettura della stazione di trasformazione è conforme ai moderni standard di stazioni AT, sia per quanto riguarda le apparecchiature sia per quanto concerne le geometrie dell'impianto.

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

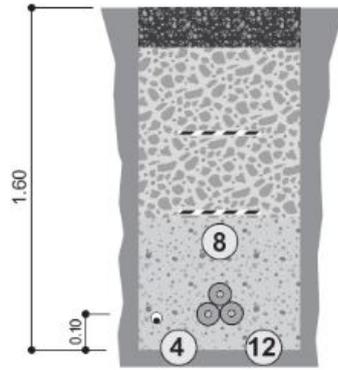
Immagine DPA cabina primaria AT

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).

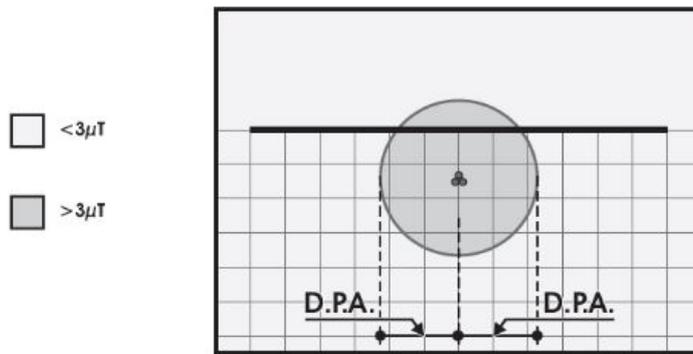
4.3 Linee in cavo a 150 kV

La linea elettrica interrata, con tensione 150 kV, permette il collegamento della stazione elettrica di trasformazione (SET) alla stazione di smistamento elettrica (SSE) TERNA da costruire. L'elettrodotto interrato sarà costituito da cavi, disposti a trifoglio, isolati ad una profondità di circa 1,50 m.

Nella figura di seguito (*ref. 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 82 A di portata, valore che supera la corrente d'impegno che genererà l'impianto di produzione oggetto della presente. Altro fattore da non trascurare è la 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 elettrodotto interrato AT

4.4 Linee in cavo a 30 kV

Per i tratti di cavidotto all'interno del Parco fotovoltaico "LAMATUFARA", 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 (SET) AT/MT (150/30kV), costituito da 1 circuito con tratto a doppia terna, di diversa sezione, di lunghezza pari a 1740,00 ; da un tratto - snodo definito come circuito 2 a tripla terna parallela, di diversa sezione, di lunghezza pari a 10 m e un ultimo tratto definito come circuito 3 a doppia terna parallela, di diversa sezione, di lunghezza pari a 16140 m , tutti i circuiti percorrono strade comunali e provinciali site in agro di Gravina in Puglia e di competenza della Città Metropolitana di Bari. Di seguito si riportano i circuiti dei cavidotti interessati dall'analisi:

- CIRCUITO 1 (CC1 - CC) (30kV): numero 2 terne di cavi tripolari: 3x(1x300), ARE4H1RX ad elica visibile, collega la Cabina di Consegna (CC1) alla Cabina di Consegna (CC) e 3x(1x400) ARE4H1RX ad elica visibile che collega lo STORAGE alla SET; con corrente massima pari rispettivamente a 398A (CC1-CC) e 385A (STORAGE-SET) ;
- CIRCUITO 2 SNODO (CC1 - CC), (CC - SET) e (STORAGE - SET) (30kV): numero 3 terne di cavi tripolari: 3x(1x400), ARE4H1RX ad elica visibile, collega la Cabina di Consegna (CC1) alla Cabina di Consegna (CC), 3x(1x(400+300)) ARE4H1RX ad elica visibile, collega la Cabine di Consegna (CC) alla SET e 3x(1x400) ARE4H1RX ad elica visibile che collega lo STORAGE alla SET; con corrente massima pari rispettivamente a 398A (CC1-CC) , 716A (CC-SET) e 385A (STORAGE-SET) ;

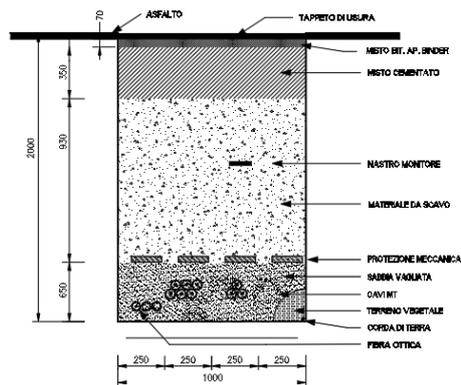
- CIRCUITO 3 (CC - SET) e (STORAGE - SET) (30kV): numero 2 terne di cavi tripolari: 3x(1x(400+300)) ARE4H1RX ad elica visibile, collega la Cabine di Consegna (CC) alla SET e 3x(1x400) ARE4H1RX ad elica visibile che collega lo STORAGE alla SET; con corrente massima pari rispettivamente a 716A (CC-SET) e 385A (STORAGE-SET);

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

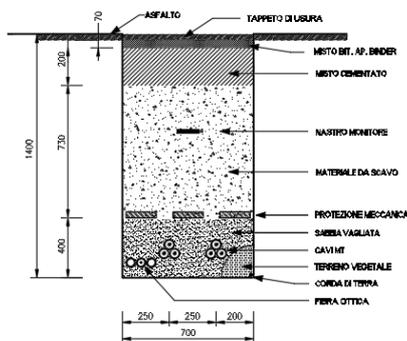
- CIRCUITO 1 : 400A, 390A.
- CIRCUITO 2 (SNODO) : 400A , 720A , 390A.
- CIRCUITO 3 : 720A, 390A.

Di seguito si riporta l'immagine che raffigura la tipologia di posa delle linee MT 30 kV sia per il Circuito 1, per il Circuito 2 che per il Circuito 3.

SEZIONE TIPO 2 Terne su STRADA



SEZIONE TIPO 2 Terne su STRADA



SEZIONE TIPO 3 Terne su STRADA

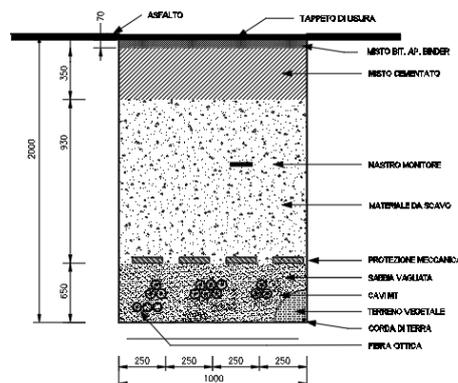


Immagine posa elettrodotto interrato MT 30kV (a doppia e tripla terna)

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 398A e 385A per la doppia terna parallela con sezione rispettivamente da 300 mmq e 400 mmq (ai fini del calcolo si è utilizzata una corrente maggiorata pari a 400A e 390A);
- portata dei cavi in regime permanente (cavi in alluminio): Circuito 2 con portata 398A, 716A e 385A per la tripla terna parallela con sezione rispettivamente da 400 mmq, 400+300 mmq e 400 mmq (ai fini del calcolo si è utilizzata una corrente maggiorata pari a 400A, 720A e 390A);

- portata dei cavi in regime permanente (cavi in alluminio): Circuito 3 con portata 716A e 385A per la doppia terna parallela con sezione rispettivamente da 400+300 mmq e 400 mmq, (ai fini del calcolo si è utilizzata una corrente maggiorata pari a 720A e 390A);
- disposizione delle fasi ottimizzata (RST - TRS) per il Circuito 1 e 3, oggetto della presente verifica
- disposizione delle fasi ottimizzata (RST - TRS - STR) per il Circuito 2, oggetto della presente verifica

Inoltre il calcolo dell'induzione magnetica è stata effettuata con una posa del cavo ad una profondità di 1,4 m dal piano campagna per il Circuito 1 e ad una profondità di 2,0 m dal piano campagna per i Circuiti 2 e 3.

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

Induzione magnetica su un punto.

Circuito 1 (doppia TERNA parallela 3x(1x300) e 3x(1x400)).

The screenshot shows a software interface for calculating magnetic induction. On the left, there are input fields for the number of lines (2) and current type (Current in module and phase). The main area contains two line configurations: Linea1 with 400 A current and 0.058 m spacing, and Linea2 with 390 A current and 0.052 m spacing. Below this, a tabbed interface shows the calculation results for a point P at coordinates (0, 1.4) m, resulting in a magnetic induction of 2.800 μT. To the right, a diagram illustrates the geometry with three parallel conductor lines (R, S, T) at heights h_1, h_2, h_3 and distances d_1, d_2, d_3 from a point P at height y_p . A box indicates $I_R = I_S = I_T = I$.

Schermata di calcolo estrapolata dal software

Nell'immagine sopra riportata si può evincere il valore dell'induzione magnetica puntuale pari a **2.800μT** su un punto del piano stradale ad una altezza dal piano di posa del cavidotto di circa 1,4 m (profondità media del cavidotto 1,3m-1,4m).

Induzione magnetica su una linea.
Circuito 1 (doppia TERNA parallela 3x(1x300) e 3x(1x400)).

Numero di linee

Corrente in modulo (A) e fase (Deg)

Corrente in parte reale (A) e parte immaginata (A)

OK

Linea1

Corrente [A] Fase (gradi)

Posizione linea: Tema_a_trifoglio

X [m] Y [m]

Distanza tra i conduttori d (m)

RST TSR RTS

SRT STR TRS

Linea2

Corrente [A] Fase (gradi)

Posizione linea: Tema_a_trifoglio

X [m] Y [m]

Distanza tra i conduttori d (m)

RST TSR RTS

SRT STR TRS

Induzione magnetica su un punto

Coordinata punto iniziale: x1 y1

Coordinata punto finale: x2 y2

Discretizzazione: Numero punti

Opzioni di visualizzazione

Visualizza grafico 2D

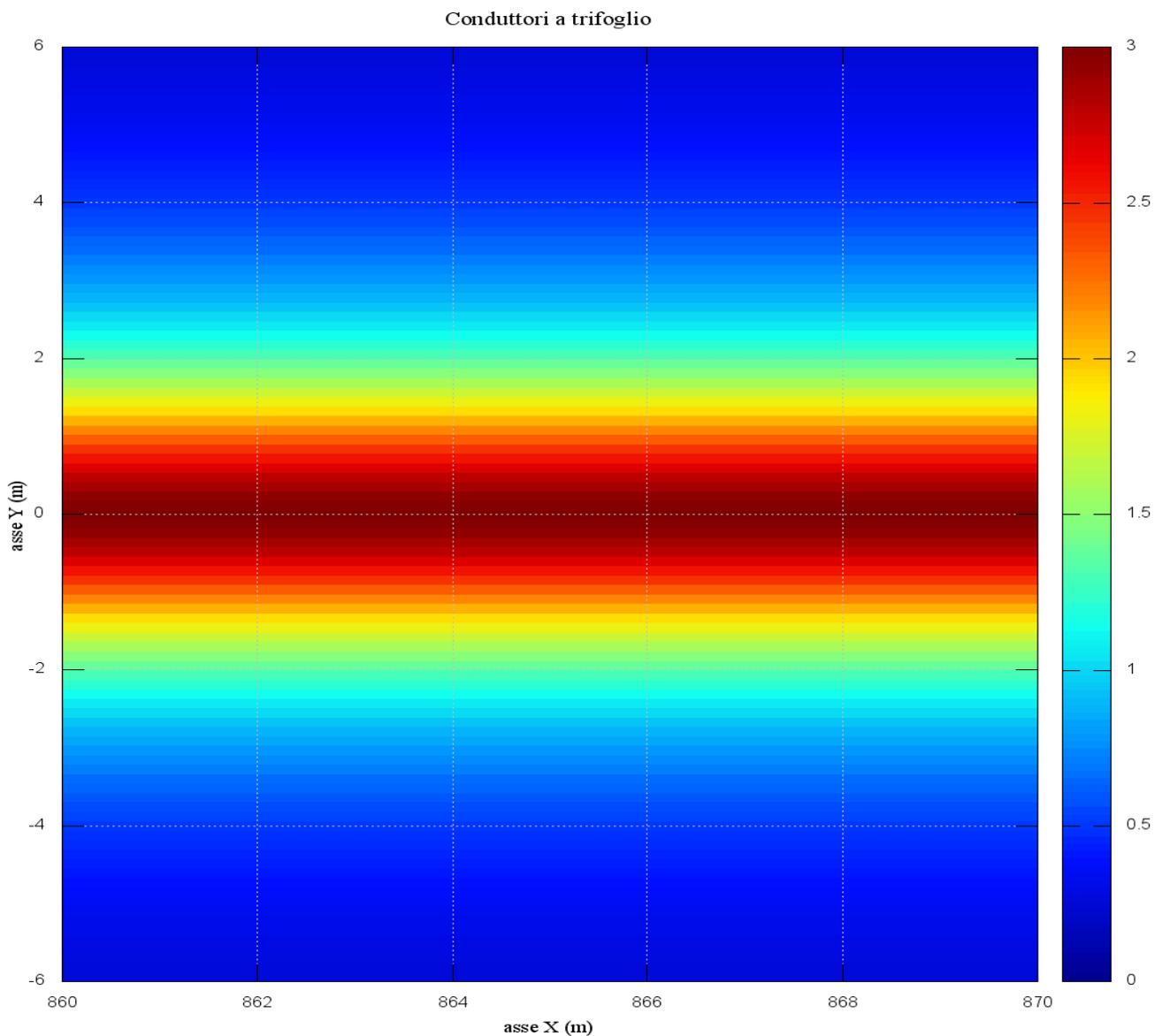
Coordinata di linea (m)	Induzione magnetica (microT)
-6	0.2
-4	0.5
-2	1.8
0	2.8
2	1.8
4	0.5
6	0.2

Schermata di calcolo estrapolata dal software

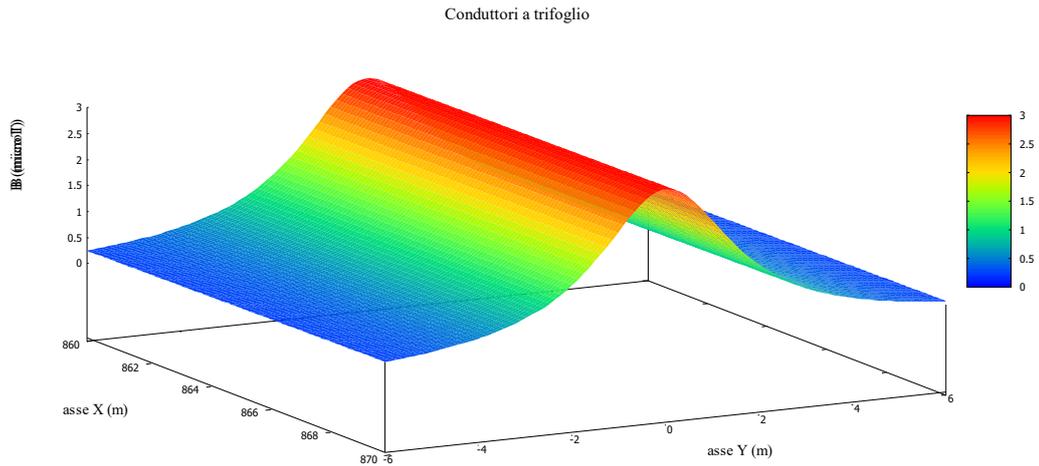
16

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 1,4 m (profondità media del cavidotto 1,3m-1,4m). Il grafico evidenzia un andamento asimmetrico dovuto alla presenza del doppio fascio di cavi. Si evince che il valore massimo dell'induzione magnetica pari a **2.800 μ T** rimane sotto i limiti di normativa (3 μ T).

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



Curve isolivello in 2d



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 1,4 m con coordinate X (lunghezza cavidotto da 860m a 870 m) e Y (-6m; 6m pari ad una fascia di 12m ortogonale al cavidotto).

Induzione magnetica su un punto.

Circuito 2 (tripla TERNA parallela $3 \times (1 \times 400)$, $3 \times (1 \times 400 + 300)$ e $3 \times (1 \times 400)$).

The screenshot shows a software interface for calculating magnetic induction. It includes input fields for line parameters (Linea1, Linea2, Linea3) and a diagram of a three-phase line configuration.

Linea1: Corrente [A] 400, Fase (gradi) 0, Posizione linea Tema_a_trifoglio, Distanza tra i conduttori d (m) 0.058. Configurazione: RST.

Linea2: Corrente [A] 720, Fase (gradi) 0, Posizione linea Tema_a_trifoglio, Distanza tra i conduttori d (m) 0.11. Configurazione: STR.

Linea3: Corrente [A] 390, Fase (gradi) [], Posizione linea Tema_a_trifoglio, Distanza tra i conduttori d (m) 0.052. Configurazione: STR.

Induzione magnetica su un punto: Coordinate del punto P: X (m) 0, Y (m) 2.0. Risultato: Induzione magnetica nel punto P: 2.996 μT .

Diagramma: Mostra la disposizione dei conduttori R, S, T in tre fasi (Linea1, Linea2, Linea3) con distanze d_1, d_2, d_3 e altezze h_1, h_2, h_3 . La corrente in tutti i conduttori è $I_R = I_S = I_T = I$.

Schermata di calcolo estrapolata dal software

Nell'immagine sopra riportata si può evincere il valore dell'induzione magnetica puntuale pari a **2.996 μT** su un punto del piano stradale ad una altezza dal piano di posa del cavidotto di circa 2,0 m (profondità media del cavidotto 1,9m-2,0m).

Induzione magnetica su una linea.

Circuito 2 (tripla TERNA parallela 3x(1x400), 3x(1x400+300) e 3x(1x400)).

Numero di linee

Corrente in modulo (A) e fase (Deg)

Corrente in parte reale (A) e parte immaginaria (A)

Linea	Corrente [A]	Fase (gradi)	Posizione linea X [m] Y [m]	Tema_a_trifoglio	Distanza tra i conduttori d (m)
Linea1	<input type="text" value="400"/>	<input type="text" value="0"/>	X <input type="text" value="-1"/> Y <input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> RST <input type="radio"/> TSR <input type="radio"/> RTS <input type="radio"/> SRT <input type="radio"/> STR <input type="radio"/> TRS	<input type="text" value="0.058"/>
Linea2	<input type="text" value="720"/>	<input type="text" value="0"/>	X <input type="text" value="0"/> Y <input type="text"/>	<input type="radio"/> RST <input type="radio"/> TSR <input type="radio"/> RTS <input type="radio"/> SRT <input type="radio"/> STR <input checked="" type="radio"/> TRS	<input type="text" value="0.11"/>
Linea3	<input type="text" value="390"/>	<input type="text"/>	X <input type="text" value="1"/> Y <input type="text"/>	<input type="radio"/> RST <input type="radio"/> TSR <input type="radio"/> RTS <input type="radio"/> SRT <input checked="" type="radio"/> STR <input type="radio"/> TRS	<input type="text" value="0.052"/>

Induzione magnetica su un punto

Coordinata punto iniziale
x1
y1

Coordinata punto finale
x2
y2

Discretizzazione
Numero punti

Opzioni di visualizzazione

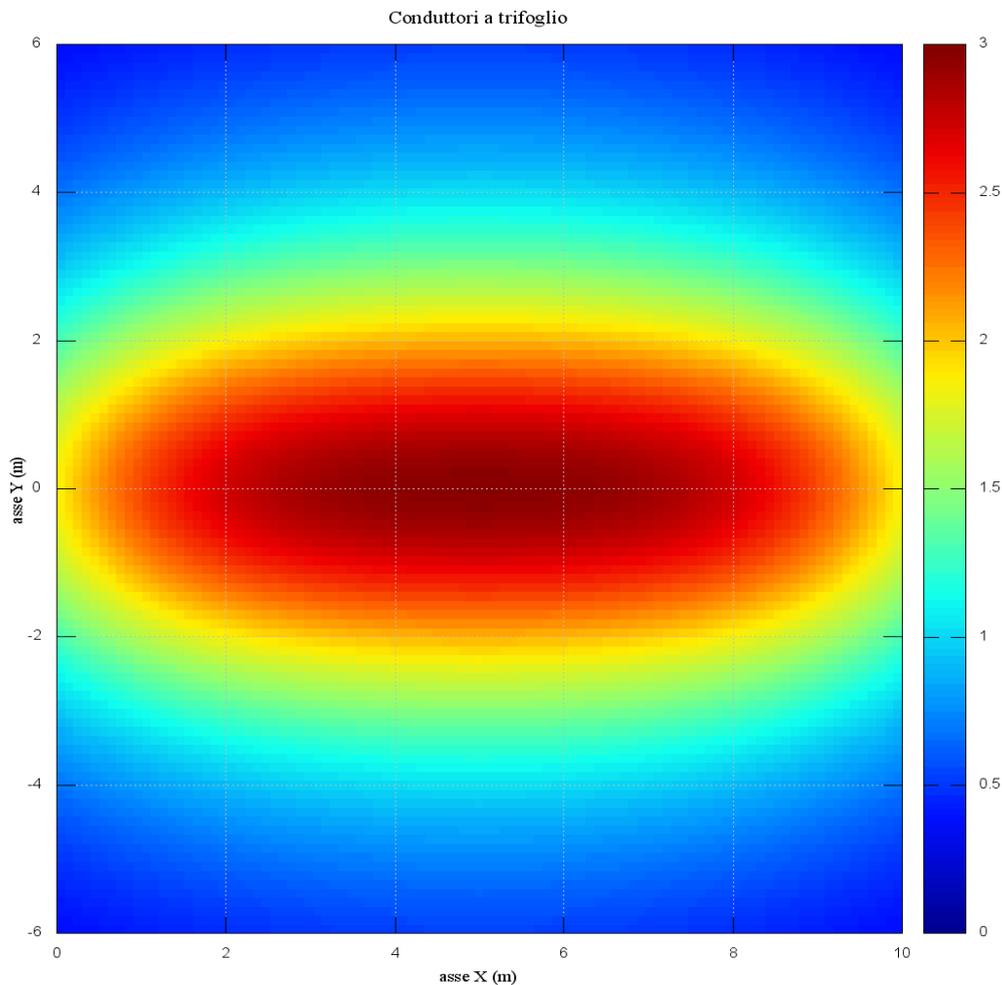
Coordinata di linea (m)	Induzione magnetica (microT)
-6	0.2
-4	0.5
-2	1.5
0	3.0
2	1.5
4	0.5
6	0.2

Schermata di calcolo estrapolata dal software

20

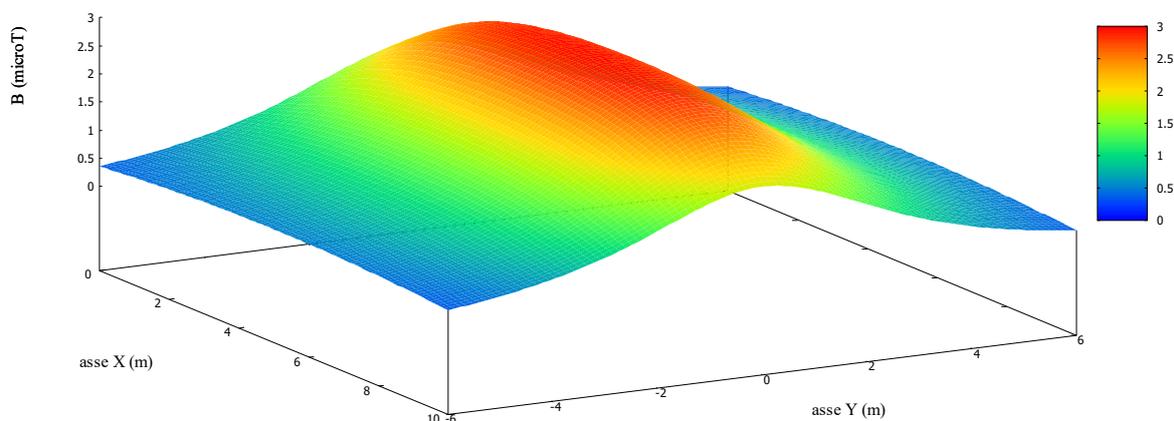
Nel grafico sopra riportato si può notare la curva rappresentante l'andamento dell'induzione magnetica del cavidotto a tripla terna in media tensione di collegamento su un'area di analisi pari a 10m sull'asse orizzontale (-6m; 6m) e ad una altezza dal piano di posa del cavidotto di circa 2,0 m (profondità media del cavidotto 1,9m-2,0m). Il grafico evidenzia un andamento simmetrico, con picco in corrispondenza della terna con maggior corrente, dovuto alla presenza del triplo cavidotto. Si evince che il valore massimo dell'induzione magnetica pari a **2.996 μ T** (valore minimo grazie all'ottimizzazione delle fasi tra le terne) rimane sotto i limiti di normativa (3 μ T).

*Induzione magnetica su un piano XY in 2d e 3d.
Circuito 2 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 μT . L'immagine sopra riportata descrive l'andamento dell'induzione magnetica su un piano ad una quota 2,0m con coordinate X (lunghezza cavidotto da 0 m a 10 m - posizione in mezzeria del cavidotto complessivo) e Y (-6m; 6m pari ad una fascia di 12m ortogonale al cavidotto).

Induzione magnetica su un punto.

Circuito 3 (doppia TERNA parallela $3x(1x400+300)$ e $3x(1x400)$).

The screenshot shows a software interface for calculating magnetic induction. It includes input fields for current, phase, and distance for two parallel lines. The results section shows the magnetic induction at a point P, which is 2.959 μT .

Induzione magnetica su un punto

Coordinate del punto P	Induzione magnetica nel punto P
X (m) 0	2.959 μT
Y (m) 2.0	

Induzione magnetica su una linea

Induzione magnetica su un piano

Diagram showing the layout of the conductors (R, S, T) and the point P (x_p, y_p). The diagram includes dimensions d_1, d_2, d_3 and h_1, h_2, h_3 . The current values are $I_R = I_S = I_T = I$.

Schermata di calcolo estrapolata dal software

Nell'immagine sopra riportata si può evincere il valore dell'induzione magnetica puntuale pari a **2.959 μT** su un punto del piano stradale ad una altezza dal piano di posa del cavidotto di circa 2,0 m (profondità media del cavidotto 1,9m-2,0m).

Induzione magnetica su una linea.
Circuito 3 (doppia TERNA parallela 3x(1x400+300) e 3x(1x400)).

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: Tema_a_trifoglio
 X [m]:
 Y [m]:

Distanza tra i conduttori d (m):

RST TSR RTS
 SRT STR TRS

Linea2

Corrente [A]:
 Fase (gradi):

Posizione linea: Tema_a_trifoglio
 X [m]:
 Y [m]:

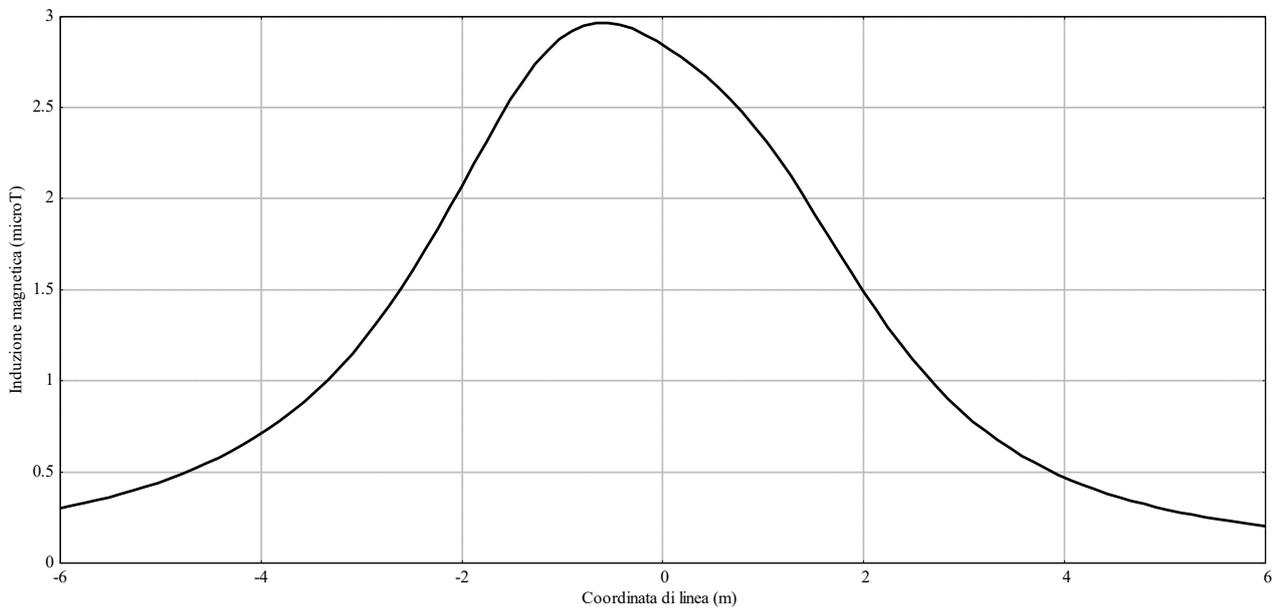
Distanza tra i conduttori d (m):

RST TSR RTS
 SRT STR TRS

Induzione magnetica su un punto

Coordinata punto iniziale: x1: y1:
 Coordinata punto finale: x2: y2:
 Discretizzazione: Numero punti:

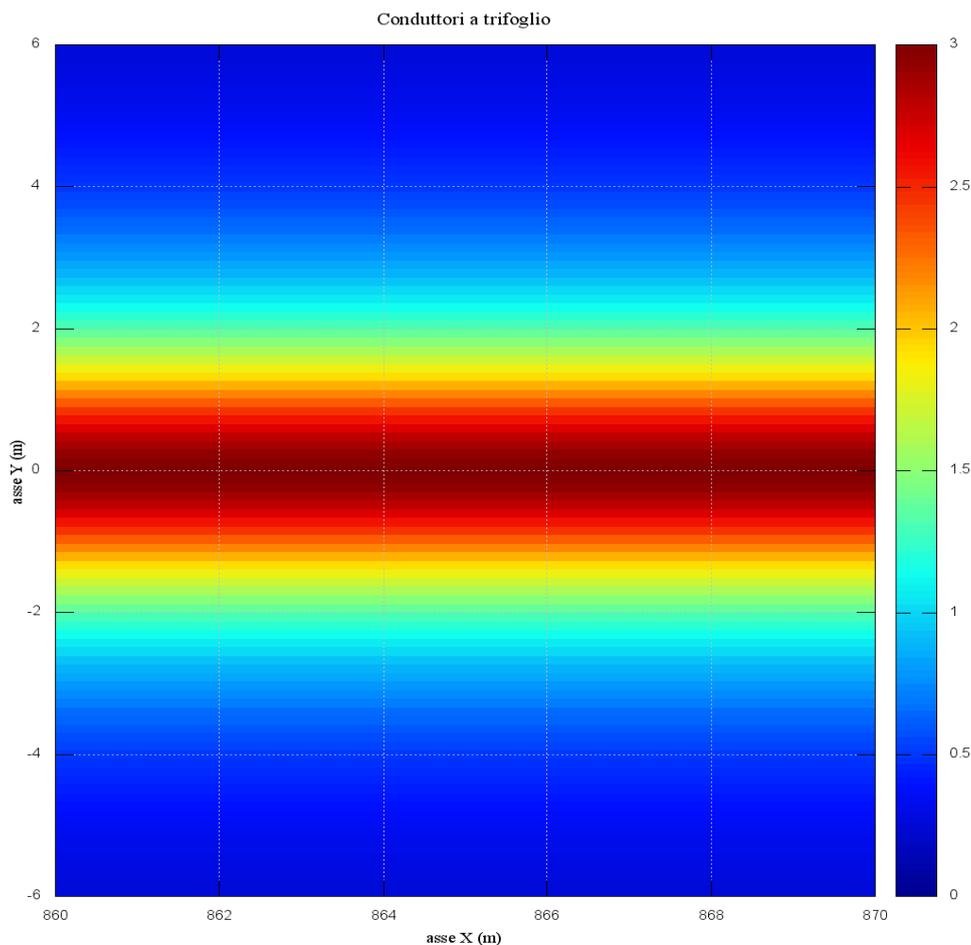
Opzioni di visualizzazione:



Schermata di calcolo estrapolata dal software

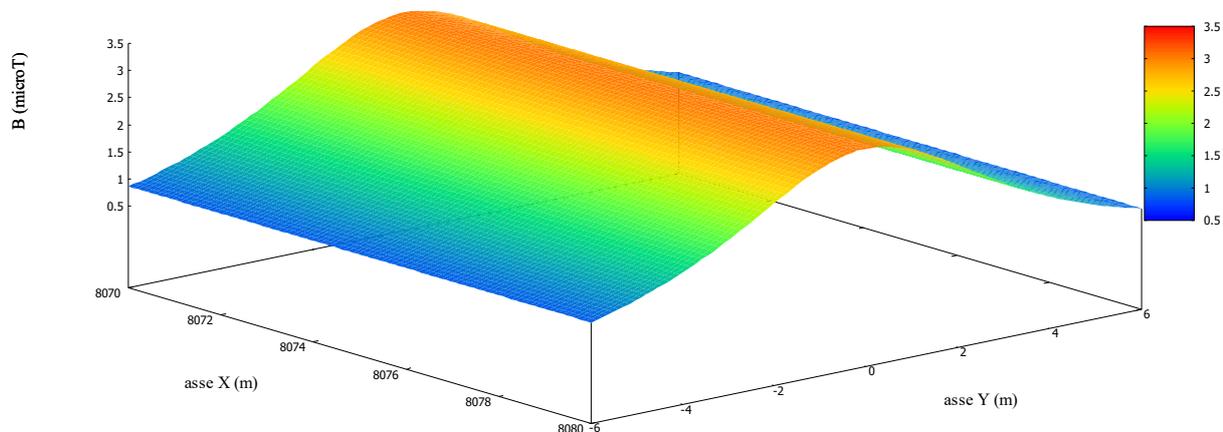
Nel grafico sopra riportato si può notare la curva rappresentante l'andamento dell'induzione magnetica del cavidotto a doppia terna in media tensione di collegamento su un'area di analisi pari a 10m sull'asse orizzontale (-6m; 6m) e ad una altezza dal piano di posa del cavidotto di circa 2,0 m (profondità media del cavidotto 1,9m-2,0m). Il grafico evidenzia un andamento asimmetrico, con picco in corrispondenza della terna con maggior corrente, dovuto alla presenza del doppio cavidotto. Si evince che il valore massimo dell'induzione magnetica pari a **2.959 μT** (valore minimo grazie all'ottimizzazione delle fasi tra le terne) rimane sotto i limiti di normativa (3 μT).

*Induzione magnetica su un piano XY in 2d e 3d.
Circuito 3 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 2,0m con coordinate X (lunghezza cavidotto da 8070 m a 8080 m - posizione in mezzeria del cavidotto complessivo) 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 a tutti i CIRCUITI sia a doppia che a tripla TERNA di diversa sezione, per posa pari a 1,4 m e 2,0 m, vengono raggiunti i valori massimi in un punto, di induzione magnetica, pari rispettivamente a **2.8 μ T** (Circuito1), **2.996 μ T** (Circuito 2) e **2.959 μ T** (Circuito 3). I valori calcolati sono inferiori al limite di normativa (valore di qualità 3 μ T) e inoltre i valori si riducono ulteriormente con l'allontanarsi dall'asse del cavidotto. (*rif. grafici*); questo risultato è stato possibile ottenerlo grazie all'ottimizzazione delle fasi e alla maggiore profondità di posa delle terne.

Come possiamo evincere dai grafici (*rif. Grafico Induzione magnetica su una linea Circuiti 1 / 2/3*) il calcolo viene eseguito con l'effettiva posa dei cavidotti ad una profondità di 1,4 m dal piano campagna per il Circuito 1 e ad una posa di 2,0 m dal piano campagna per i Circuiti 2 e 3.

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 sono presenti degli insediamenti agricoli ma distanti oltre 5 m dall'interasse del cavidotto, l'induzione magnetica assumerà comunque valori trascurabili.

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 ai valori massimi riportati 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.