

REGIONE
PUGLIA



Comune di Copertino



Provincia
LECCE



Comune di Galatina



Progetto agro-ovi-fotovoltaico e biomonitoraggio ambientale con annesso sistema di accumulo e opere di connessione alla RTN da realizzare nei comuni di Copertino (LE) e di Galatina (LE) - Potenza nominale impianto PV 60.000 kW.

ANALISI IMPATTO ELETTROMAGNETICO

ELABORATO

PR_15

PROPONENTE:

Whysol-E Sviluppo Srl

Sede legale in Milano (MI)
via Meravigli n. 3 - CAP 20123
P.IVA 10692360968
PEC: whysol-e.sviluppo@legalmail.it

PROGETTO E SIA:



Il DIRETTORE TECNICO
Dott. Ing. Orazio Tricarico



CONSULENZA:

EM./REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
1	LUG 2021	B.B.	A.A. - O.T.	A.A. - O.T.	Documentazione integrativa
0	MAR 2021	B.B.	A.A. - O.T.	A.A. - O.T.	Progetto definitivo

1. PREMESSA.....	2
1.1. <i>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</i>	3
2. GENERALITA' SULL'IMPIANTO	7
2.1. <i>DATI GENERALI COMMITTENTE</i>	13
2.2. <i>DATI DI PROGETTO RELATIVI ALLA RETE DI COLLEGAMENTO</i>	13
3. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO.....	13
3.1. <i>IMPATTO DERIVANTE DA CAMPI ELETTROMAGNETICI ED INTERFERENZE (R.R.16/2006, ART.10 C.1 LETT. E)</i>	13
3.2. <i>CALCOLO DEL CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO</i>	16
3.3. <i>MODULI FOTOVOLTAICI</i>	17
3.4. <i>CAVIDOTTO DI PROGETTO</i>	17
3.5. <i>INVERTER</i>	17
3.6. <i>LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA</i>	18
3.7. <i>CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE</i>	20
3.8. <i>CABINA ELETTRICA D'IMPIANTO</i>	20
3.9. <i>ALTRI CAVI</i>	21
4. CAMPI ELETTROMAGNETICI OPERE CONNESSE.....	21
4.1. <i>LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA IN MEDIA TENSIONE</i>	21
4.2. <i>STAZIONE ELETTRICA D'UTENZA</i>	26
4.3. <i>LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA IN ALTA TENSIONE</i>	28
4.4. <i>ANALISI DEI RISULTATI</i>	30
5. CONCLUSIONI.....	31



1. PREMESSA

Scopo del presente documento è quello di descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche presenti nell'impianto fotovoltaico in oggetto e connesse ad esso, ai fini della verifica del rispetto dei limiti della legge n.36/2001 e dei relativi Decreti attuativi.

La presente relazione è stata redatta nell'ambito di un Provvedimento Autorizzatorio Unico Regionale (P.A.U.R.), ai sensi dell'art. 27-bis D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii. avente in oggetto la realizzazione di un impianto di generazione energetica alimentato da Fonti Rinnovabili e nello specifico da fonte solare.

La società proponente è la Whysol-E- Sviluppo S.R.L., con sede in Milano (MI), Via Meravigli 3, C.F./P.I. 10692360968.

Il sito interessato alla realizzazione dell'impianto si sviluppa nel territorio del Comune di Copertino (LE).

L'area in oggetto si trova ad un'altitudine media di m 58 s.l.m. e le coordinate geografiche sono le seguenti:

40°14'32.17" N

18°05'14.45" E

L'area di intervento è raggiungibile attraverso la strada provinciale SP18 da Nord-Ovest e la Strada Statale SS101 da Sud- Est, voltando per la strada provinciale SP18 adiacente all'area di intervento.

La stazione di trasformazione MT/AT sarà invece ubicata nel Comune di Galatina alla particella 105, foglio 81

In particolare per l'impianto saranno valutate le emissioni elettromagnetiche dovute alla cabine elettriche, ai cavidotti ed alla stazione utente per la trasformazione. Si individueranno, in base al DM del MATTM (*Ministero dell'ambiente del Territorio e della Tutela del Mare*) del 29.05.2008, le DPA per le opere sopra dette.

Nel presente studio è stata presa in considerazione le condizione maggiormente significative al fine di valutare la rispondenza ai requisiti di legge dei nuovi elettrodotti.



Verrà riportata l'intensità del campo elettromagnetico sulla verticale dei cavidotti e nelle immediate vicinanze, fino ad una distanza massima di 15 m dall'asse del cavidotto; la rilevazione del campo magnetico è stata fatta alle quote di 0m, +1,5m, +2m, +2,5m e +3m dal livello del suolo. Si fa presente che la quota di +1,5m dal livello del suolo è la quota nominale cui si fa riferimento nelle misure di campo elettromagnetico.

1.1. **Normativa di riferimento**

La normativa e le leggi di riferimento adoperate per la progettazione e l'installazione degli impianti fotovoltaici sono:

- Norma CEI 0-2 "Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici"
- [4] Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche"
- [5] Norma CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo."
- [6] DM del MATTM del 29.05.2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti";
- norme CEI/IEC e/o JRC/ESTI per i moduli fotovoltaici; in particolare, la CEI EN 61215 per moduli al silicio cristallino;
- conformità al marchio CE per i moduli fotovoltaici e per il convertitore c.c./c.a.;
- UNI 10349, o Atlante Europeo della Radiazione Solare, per il dimensionamento del campo fotovoltaico.

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici include:

- Legge 22/2/01 n°36 - la legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;



- DPCM 8 Luglio 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”.

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici si riferisce alla legge 22/2/01 n°36 che è la legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici completata a regime con l'emanazione del D.P.C.M. 8.7.2003. Nel DPCM 8 Luglio 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”, vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti.

In particolare negli articoli 3 e 4 vengono indicate le seguenti 3 soglie di rispetto per l'induzione magnetica:

“Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l'induzione magnetica e 5kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci” [art. 3, comma 1];

“A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.” [art. 3, comma 2];

“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 quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed



installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio". [art. 4]

L'obiettivo qualità da perseguire nella realizzazione dell'impianto è pertanto quello di avere un valore di intensità di campo magnetico non superiore ai $3\mu\text{T}$ come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

A tal proposito occorre precisare che nelle valutazioni che seguono è stata considerata normale condizione di esercizio quella in cui l'impianto FV trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima produzione (circa 50 MW).

Come detto, il 22 Febbraio 2001 l'Italia ha promulgato la Legge Quadro n.36 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) a copertura dell'intero intervallo di frequenze da 0 a 300.000 MHz.

Tale legge delinea un quadro dettagliato di controlli amministrativi volti a limitare l'esposizione umana ai CEM e l'art. 4 di tale legge demanda allo Stato le funzioni di stabilire, tramite Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri: i livelli di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, le tecniche di misurazione e rilevamento.

Il 28 Agosto 2003 G.U. n.199, è stato pubblicato il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 Luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalla esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz". L'art. 3 di tale Decreto riporta i limiti di esposizione e i valori di attenzione come riportato nelle Tabelle 1 e 2:

Tabella 1 Limiti di esposizione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m ²)
-------------------------------	---	---	---



0.1-3	60	0.2	-
>3 – 3000	20	0.05	1
>3000 – 300000	40	0.01	4

Tabella 2 Valori di attenzione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003 in presenza di aree, all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m ²)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

L'art. 4, invece, riporta i valori di immissione che non devono essere superati in aree intensamente frequentate come riportato in Tabella 3:

Tabella 3 Obiettivi di qualità di cui all'art.4 del DPCM 8 luglio 2003 all'aperto in presenza di aree intensamente frequentate.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensita' di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensita' di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m ²)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

Per quanto riguarda la metodologia di rilievo il D.P.C.M. 8 Luglio 2003 fa riferimento alla norma CEI 211-7 del Gennaio 2001.



GENERALITA' SULL'IMPIANTO

Nel seguito si riportano le informazioni tecniche relative all'impianto fotovoltaico

Impianto Fotovoltaico	
Comune	COPERTINO
Identificativi Catastali	Fg. 54 p.Ile 4-6-42-57-56-72 Fg. 58 p.Ile 208-206-97-6-185-187-2 Fg. 59 p.Ile 65-12-150-155-156-157-159-161-163-165-89-9-18 Fg. 60 p.Ile 89-45-43-5
Coordinate geografiche impianto	40°14'31.04"N 18° 5'19.00"E
Potenza Modulo PV	600 W
Potenza massima di immissione	60.000 kW
Potenza installata	67.526,40 kWp
Tipologia strutture	Tracker monoassiali
Storage	120 MVA e 240 MWh Comune di Galatina Fg. 80 p.Ile. 89-217
SE trasformazione	Comune di Galatina Fg. 80 p.Ile. 89-217
Punto di connessione	SE GALATINA (esistente)



Al fine di ottimizzare e razionalizzare le superfici a disposizione, oltre a massimizzare la produzione di energia annuale, compatibilmente con le aree a disposizione, si è adottato come criterio di scelta prioritario quello suddividere l'impianto in 15 sottocampi e di concentrare la trasformazione dell'energia elettrica da bassa tensione a media tensione in un singolo trasformatore per ciascuna unità;

La conversione da corrente continua in corrente alternata è effettuata, mediante 15 inverter trifase collegati direttamente al proprio trasformatore da 4 MW per ciascun campo.

I trasformatori di ciascuna unità sono collegati direttamente alle celle MT di protezione nella medesima cabina e queste sono collegate fra loro in anello chiuso a gruppi di 5 per un totale di tre anelli. Il collegamento ad anello garantisce maggiore flessibilità dell'impianto e la possibilità di continuare ad alimentare i restanti sottocampi in caso di guasto o manutenzione su una cabina.

Ciascun inverter è dotato di un sistema di comunicazione tramite linea seriale RS-485, che è collegato ad un sistema di acquisizione dati e monitoraggio, in modo da tenere sempre sorvegliato l'impianto e controllare l'efficienza di produzione.

La linea MT proseguirà con cavo interrato in alluminio 4(3x1x240) ARE4H1R lungo un tracciato che si estende per circa 12,81 km sino a giungere alla sottostazione MT/AT.

Sempre al fine di ottimizzare la produzione annuale, compatibilmente con le aree a disposizione si è scelto di utilizzare una struttura mobile configurato con un sistema ad inseguitore solare monoassiale est-ovest.

Pannelli fotovoltaici

Il modulo proposto, è il Trina Solar serie Vertex serie Hiku, modello TSM-DEG20C.20, che utilizza 120 celle fotovoltaiche in silicio monocristallino, bifacciali.

I moduli Trina Solar offrono una garanzia di prodotto di 12 anni e garantiscono l'85% della potenza nominale dopo 30 anni con un decadimento annuo delle prestazioni inferiore a 0,45%, sono costruiti secondo la norma CEI EN 61215 e sono forniti di tutte le certificazioni di qualità. Sono inoltre dotati di certificazione secondo IEC 61701 che ne garantisce l'installazione in zone costiere in ambienti ad elevata concentrazione salina.



I moduli Trina solar hanno inoltre le seguenti certificazioni:

- IEC 61215: 2005 e IEC 61730: 2007
- ISO 9001
- ISO 140001
- OHSAS 18001
- IEC 62716 – Resistenza alla corrosione
- UNI 9177 – Classe I di Resistenza al fuoco

Caratteristiche dei pannelli

Dimensioni: 2172 X 1303 X 40 mm

Peso: 35.3 kg (77.8 lbs)

Tipo celle: monocristallino

Numero di celle: 120

Strutture di sostegno pannelli fotovoltaici

Il generatore fotovoltaico è installato su una struttura mobile configurato con un sistema ad inseguitore solare monoassiale est-ovest bifacciali. La tecnologia presa come riferimento è il sistema di tracker Convert Italia modello TRJ Bifacial.

Mentre i pannelli bifacciali possono catturare fino al 10% in più di luce rispetto ai pannelli monofacciali, i tracker monoasse tipicamente aggiungono il 25% a quel guadagno bifacciale, risultando in un guadagno approssimativamente stimato del 35% dalle due tecnologie combinate, rispetto alle installazioni fisse che utilizzano pannelli monofacciali.

Il sistema è di semplice installazione e manutenzione. L'inseguitore monoassiale utilizza dispositivi elettromeccanici per seguire il movimento del sole per tutto il giorno da est a ovest sull'asse di rotazione orizzontale Nord – Sud.



La struttura del tracker è completamente adattabile alla dimensione dei pannelli fotovoltaici, alla condizione geotecnica del sito specifico e alla quantità di spazio di installazione disponibile.

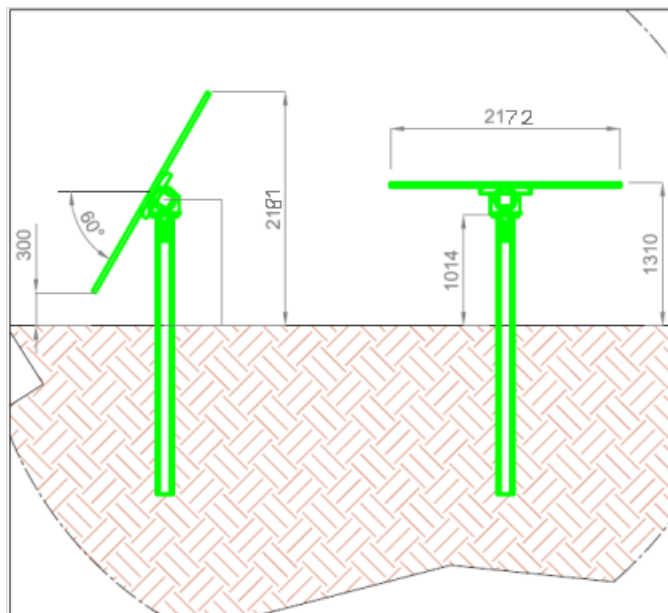
L'ancoraggio al terreno avviene attraverso profilati in acciaio infissi nel terreno a profondità variabile in funzione della natura geotecnica dello stesso e delle caratteristiche anemometriche del sito di installazione.

Il sistema ad infissione per il fissaggio dei moduli fotovoltaici elimina la necessità di fare scavi e gettate di cemento. Il sistema non altera il terreno e dopo la dismissione dell'impianto si ripristinerà il sito alle condizioni precedenti.

I sistemi di ancoraggio possono essere assemblati e disassemblati agevolmente senza alcun problema e consentono l'abbattimento dei costi per le attività di cantiere soprattutto per la rapidità di posa in opera dei pali e l'assenza dei tempi di attesa per la maturazione del calcestruzzo.

I vantaggi di tale sistema di ancoraggio sono: – rapidità di installazione – assenza di manutenzione – assenza di scavi e di gettata di cemento – stabilità per compressione del terreno – stabilità ad azioni di vento e pioggia – fissaggio di tipo telescopico – possibilità di sottoporre subito a sollecitazioni. Si elencano inoltre i fattori di compatibilità ambientale: – assenza di impregnazione del terreno – rinaturalizzazione del terreno rapida ed economica – disassemblaggio rapido dell'impianto.





Power station

Le Power Station SMA SC 4000 UP sono dispositivi concepiti esclusivamente per la conversione di energia fotovoltaica in energia elettrica compatibile con la rete MT del paese in cui è commercializzato. Sono inoltre provvisti di adeguate protezioni elettriche e meccaniche.

Queste Power Station sono dotate di inverter da SMA SC 4000UP da 4000kW, sono dotati di 24 ingressi DC di un trasformatore MT/BT in grado di elevare la tensione in un range di 11-35 kV e delle necessarie protezioni lato DC, BT e MT. Tutti i dispositivi sono inglobati all'interno di un rack metallico. Gli inverter SC 4000UP inverter sono dotati di 24 ingressi DC protetti da fusibile di cui 18 sono utili per collegare l'impianto FV e 6 sono predisposti per il collegamento delle batterie.



Consulenza: **Atech srl**
Proponente: **Whysol-E Sviluppo Srl**

Progetto integrato di impianto agro-ovi-fotovoltaico e biomonitoraggio ambientale con annesso sistema di accumulo e opere di connessione alla RTN da realizzare nei comuni di Copertino (LE) e di Galatina (LE) - Potenza nominale impianto PV 60.000 kW.



1.2. *Dati generali committente*

COMMITTENTE	Whysol-E Sviluppo S.r.l.
SITO INSTALLAZIONE	Comune di Copertino (LE)
OGGETTO DEI LAVORI	Fornitura e posa in opera di un impianto fotovoltaico da 67,5264 MWp e di un sistema di accumulo da 60MWp
VINCOLI	Interfacciamento alla rete consentito a norme CEI e norme tecniche Enel Distribuzione e/o Terna. I convertitori statici e i quadri dovranno essere accessibili solo a personale specializzato.

1.3. *Dati di progetto relativi alla rete di collegamento*

TENSIONE NOMINALE	30 kV (in dipendenza delle indicazioni fornite dal Distributore di Energia)
FREQUENZA	50 Hz
POTENZA	67,5264 MWp + 60MWp di accumulo
RETE DI TERRA	Da realizzare
PROT. SCARICHE ATMOSFERICHE	Eventualmente da realizzare

2. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO

2.1. *Impatto derivante da campi elettromagnetici ed interferenze (R.R.16/2006, art.10 c.1 lett. e)*

Il progetto prevede la realizzazione di un campo fotovoltaico di complessivi 112.544 moduli da 600 Watt ciascuno tra loro interconnessi con una rete in corrente continua e tensione



fluttuante realizzata con linee posate entro cavidotti interrato ad una profondità minima di 60 cm.

Il progetto prevede, quindi, la realizzazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica per complessivi 67,5264 MWp in immissione integrato da un sistema di accumulo da 60MW. L'impianto fotovoltaico sarà collegato per mezzo di un cavidotto interrato di circa 12,81 km su strade esistenti, ad una nuova stazione elettrica a 150 kV della RTN da collegare in antenna a 150 kV alla Stazione Elettrica di Trasformazione 380/150kV della RTN "Galatina", oltre che un impianto di accumulo elettrochimico (storage) da 60MW da ubicare nei pressi della Stazione Elettrica presso il Comune di Galatina (LE).

La soluzione di connessione prevede una potenza di immissione pari a 119,76 MW in quanto la società proponente si è riservata la possibilità di immettere in rete la massima potenza accumulata nell'impianto storage contemporaneamente all'immissione in rete della massima potenza prodotta dall'impianto PV.

Nei seguenti paragrafi verrà riportata l'intensità del campo elettromagnetico sulla verticale del cavidotto MT e nelle sue immediate vicinanze, fino ad una distanza massima di 10 m dal suo asse; la valutazione del campo magnetico è stata fatta alle quote di 0 m, +1 m, +2 m e +3 m dal livello del suolo.

Poichè la massima corrente circolante nel cavidotto si raddoppia a partire dall'impianto storage in poi, per valutare gli effetti del campo elettromagnetico relativamente a quest'ultimo tratto sarà sufficiente raddoppiare i valori determinati nel tratto che va dall'impianto allo storage.

Le simulazioni relative al calcolo dell'intensità del campo magnetico sono state elaborate con il software "**MoE**" (**Monitoraggio Elettrodotti**) v.1.0 sviluppato dal CESI – Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano - utilizzando modelli di calcolo basati sul metodo standardizzato dal Comitato Elettrotecnico Italiano Norma CEI 211-4/1996.



Per quanto riguarda il campo elettromagnetico generato dalle singole apparecchiature installate nelle cabine di trasformazione, non è stato eseguito il calcolo preventivo, si sottolinea comunque che tutte le apparecchiature installate rispetteranno i requisiti di legge e tutte le normative tecniche di prodotto riguardo la compatibilità e le emissioni elettromagnetiche.

Disposizioni legislative:

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici riferisce alla legge 22/2/01 n°36 che è la legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici completata a regime con l'emanazione del D.P.C.M. 8.7.2003.

Nel DPCM 8 Luglio 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", vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti.

In particolare negli articoli 3 e 4 vengono indicate le seguenti 3 soglie di rispetto per l'induzione magnetica:

"Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci" [art. 3, comma 1];

"A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione



magnetica il valore di attenzione di 10 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.” [art. 3, comma 2];

“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 quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio”. [art. 4]

L'obiettivo di qualità da perseguire nella realizzazione dell'impianto è pertanto quello di avere un valore di intensità di campo magnetico non superiore ai 3 μ T come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

A tal proposito occorre precisare che nelle valutazioni che seguono è stata considerata normale condizione di esercizio quella in cui l'impianto trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima produzione che assumiamo pari a 60 MW cioè pari alla potenza degli inverter.

2.2. Calcolo del campo elettrico e magnetico

Il programma applicativo “MoE”, svolge tutte le funzioni che, partendo dai dati di input, consentono di ottenere i valori dell'induzione magnetica in corrispondenza dei siti monitorati; ovvero: la definizione dei parametri geometrici del sito e dell'elettrodotto, compreso il suo stato di funzionamento, il calcolo dell'induzione magnetica, la presentazione e l'archiviazione su file dei risultati dei calcoli effettuati.



Per quanto riguarda il valore del campo elettrico, trattandosi di linee interrato, esso è da ritenersi insignificante grazie anche all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno.

Nel seguito verranno pertanto esposti i risultati del solo calcolo del campo magnetico.

2.3. Moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue e non in corrente alternata; per cui la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente (durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento) e sono comunque di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono comunque menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, poiché assolutamente irrilevanti.

2.4. Cavidotto di progetto

È stata esaminata la situazione ritenuta più significativa ai fini del calcolo dell'intensità del campo magnetico: calcolo del campo magnetico generato dal tratto di cavidotto a 30 kV, dal campo fotovoltaico al punto di connessione, con potenza elettrica trasmessa pari a 60 MW; si calcola quindi il seguente valore della corrente di esercizio, necessario al calcolo del campo magnetico generato dal cavidotto di progetto:

- cavo tripolare con carico da 60 MW → 1283 A

2.5. Inverter

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi pertanto sono costituiti per loro natura da componenti elettronici



operanti ad alte frequenze. D'altro canto il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo).

A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) (CEI EN 50273 (CEI 95-9), CEI EN 61000-6-3 (CEI 210-65), CEI EN 61000-2-2 (CEI 110-10), CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31), CEI EN 61000-3-3 (CEI 110-28), CEI EN 55022 (CEI 110-5), CEI EN 55011 (CEI 110-6)) Tra gli altri aspetti queste norme riguardano:

- i livelli armonici: le direttive del gestore di rete prevedono un THD globale (non riferito al massimo della singola armonica) inferiore al 5% (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10). Gli inverter presentano un THD globale contenuto entro il 3%;
- Disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in superim-posizione alla trasmissione di energia sulle sue linee;
- Variazioni di tensione e frequenza. La propagazione in rete di queste ultime è limitata dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia. Le fluttuazioni di tensione e frequenze sono però causate per lo più dalla rete stessa. Si rendono quindi necessarie finestre abbastanza ampie, per evitare una continua inserzione e disinserione dell'impianto fotovoltaico.
- La componente continua immessa in rete. Il trasformatore elevatore contri-buisce a bloccare tale componente. In ogni modo il dispositivo di interfaccia di ogni inverter interviene in presenza di componenti continue maggiori dello 0,5% della corrente nominale.
- Le questioni di compatibilità elettromagnetica concernenti i buchi di tensione (fino ai 3 s in genere) sono in genere dovute al coordinamento delle protezioni effettuato dal gestore di rete locale.

2.6. *Linee elettriche in corrente alternata*

Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidati ai fini dei campi elettrici e magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta



legislazione a $3 \mu\text{T}$. La tipologia di cavidotti presenti nell'impianto prevede all'interno del campo fotovoltaico l'utilizzo di soli cavi elicordati, per i quali vale quanto riportato nella norma CEI 106-11 e nella norma CEI 11-solar. Come illustrato nella suddetta norma CEI 106-11 la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di $3\mu\text{T}$, anche in condizioni limite con conduttori di sezione elevata, venga raggiunto già a brevissima distanza (50-80 cm) dall'asse del cavo stesso.

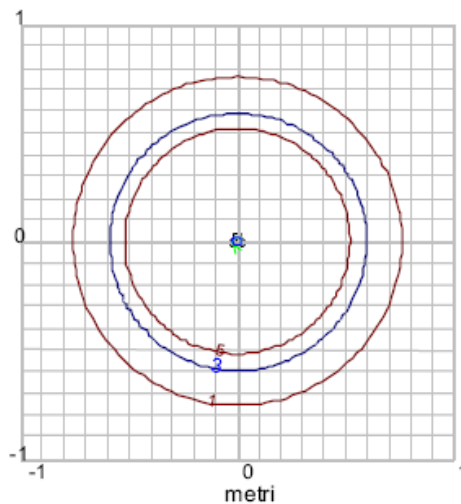


Figura 3-1: Curve di equilivello per il campo magnetico di una linea MT in cavo elicordato interrata (dalla Norma CEI 106-11)

Si fa notare peraltro che anche il recente decreto del 29.05.2008, sulla determinazione delle fasce di rispetto, ha esentato dalla procedura di calcolo le linee MT in cavo interrato e/o aereo con cavi elicordati, pertanto a tali fini si ritiene valido quanto riportato nella norma richiamata.

Ne consegue che in tutti i tratti realizzati mediante l'uso di cavi elicordati si può considerare che l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia pari a 1m, a cavallo dell'asse del cavidotto, pertanto uguale alla fascia di asservimento della linea.



2.7. Cabine elettriche di trasformazione

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto sono da considerare le cabine elettriche di trasformazione, all'interno delle quali, la principale sorgente di emissione è il trasformatore BT/MT.

In questo caso si valutano le emissioni dovute ai trasformatori di potenza 4000kVA collocati nelle cabine di trasformazione.

La presenza del trasformatore BT/MT viene usualmente presa in considerazione limitatamente alla generazione di un campo magnetico nei locali vicini a quelli di cabina.

In base al DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1, l'ampiezza delle DPA si determina come di seguito descritto.

Tale determinazione si basa sulla corrente di bassa tensione del trasformatore e considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore. Per determinare le DPA si applica la formula:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 \cdot x^{0,5242}$$

dove:

- DPA= distanza di prima approssimazione (m)
- I= corrente nominale (A)
- x= diametro dei cavi (m)

Considerando che I = 3388 A è la massima corrente che transita sul cavidotto BT di ciascun trasformatore.

2.8. Cabina elettrica d'impianto

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto resta da considerare la cabina elettrica di smistamento MT d'impianto, alla quale confluiscono i cavidotti MT provenienti dalle 15 Power Station.



Considerando per ogni singola Power Station una corrente massima lato MT pari circa a 77A, la massima corrente MT dovuta alla massima produzione è circa pari a $77 \times 15 = 1155A$.

Considerando che il cavo scelto in uscita dalla cabina di smistamento è, come detto, 4(3x1x240), con un diametro esterno massimo pari a 44,5 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 3 m.

D'altra parte, anche nel caso in questione la cabina normalmente non è presidiata.

2.9. *Altri cavi*

Altri campi elettromagnetici dovuti al monitoraggio e alla trasmissione dati possono essere trascurati, essendo le linee dati realizzate normalmente in cavo schermato.

3. CAMPI ELETTROMAGNETICI OPERE CONNESSE

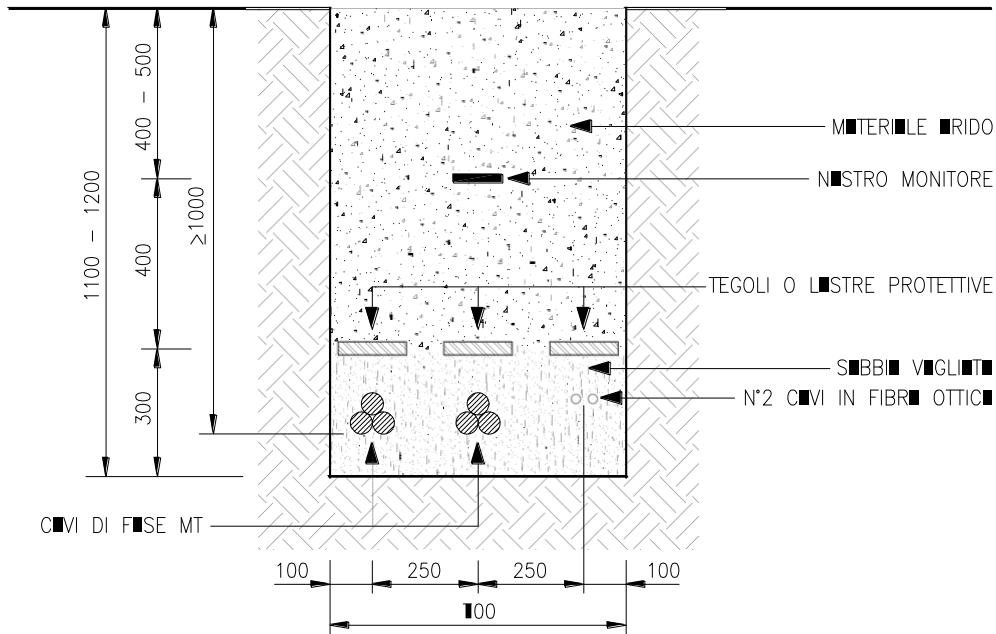
3.1. *Linee elettriche in corrente alternata in media tensione*

Il campo magnetico è calcolato in funzione della corrente circolante nei cavidotti in esame e della disposizione geometrica dei conduttori.

Per quanto riguarda il valore del campo elettrico, trattandosi di linee interrate, esso è da ritenersi insignificante grazie anche all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno. Nel seguito verranno pertanto esposti i risultati del solo calcolo del campo magnetico.

Visto l'impianto fotovoltaico, è stata esaminata come unica situazione significativa ai fini del calcolo dell'intensità del campo di induzione magnetica quella generata dal tratto di posa del cavo che evacua la potenza elettrica generata dall'intero impianto FV, caratterizzato dalle sezioni riportate in figura seguente.





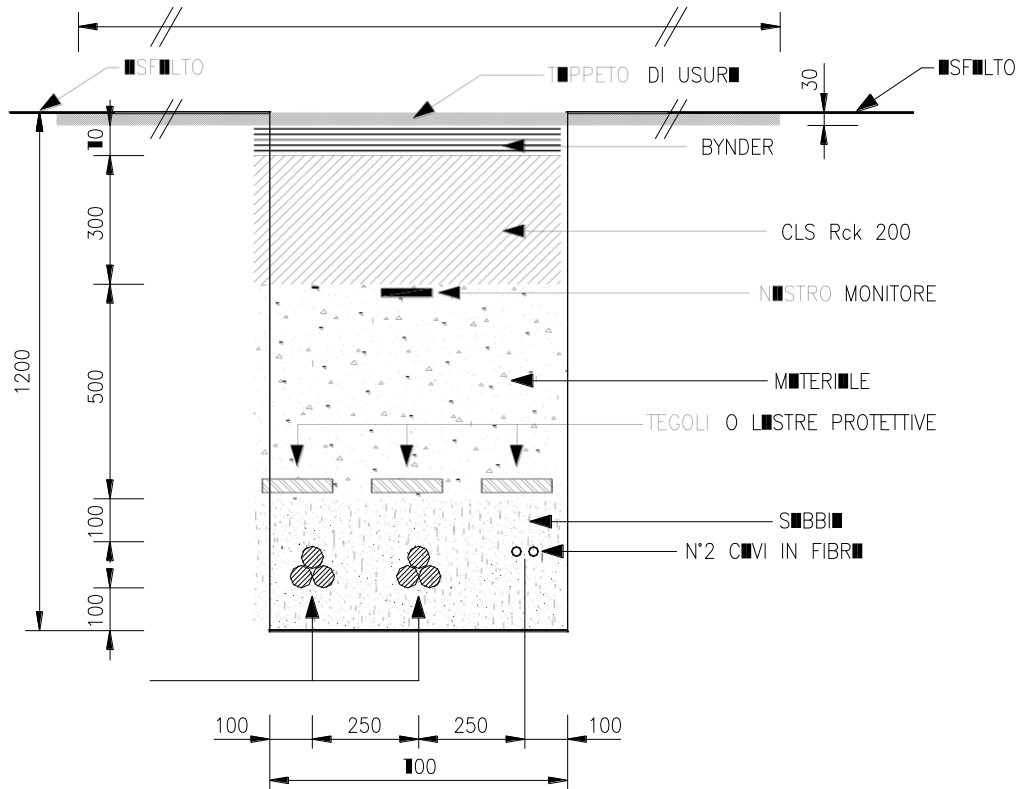


Figura 4-1: Sezione tipica di posa della linea in cavo su sede stradale

All'interno del cavidotto in esame si trovano quattro terne di cavi MT isolati a 30 kV che trasferiscono l'intera potenza dell'impianto FV verso la stazione di utenza.

Per quanto concerne i cavidotti MT esterni, per il collegamento della cabina d'impianto al quadro MT della stazione d'utenza, si prevede invece l'utilizzo di cavi unipolari di sezione pari a 240 mm², posati a trifoglio. La corrente massima che può interessare la linea di collegamento MT per l'impianto in oggetto è la seguente

$$I_{b_max} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi} = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 30000 \times 1} = 1155A$$

Nel calcolo, essendo il valore della induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede, come detto, una



posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1 m, con un valore di corrente pari a 1468 A, pari alla portata massima della linea elettrica in cavo, secondo la Norma CEI 20-21.

La configurazione dell'elettrodotto è quella di assenza di schermature e distanza minima dei conduttori dal piano viario. Il calcolo è stato effettuato a differenti altezze. Nella seguente figura 2 è riportato l'andamento dell'induzione magnetica per una sezione trasversale a quella di posa, considerando che lungo il tracciato del cavodotto saranno posate due terne di cavi, relative a due differenti impianti fotovoltaici, nella medesima trincea. Non è invece rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo.

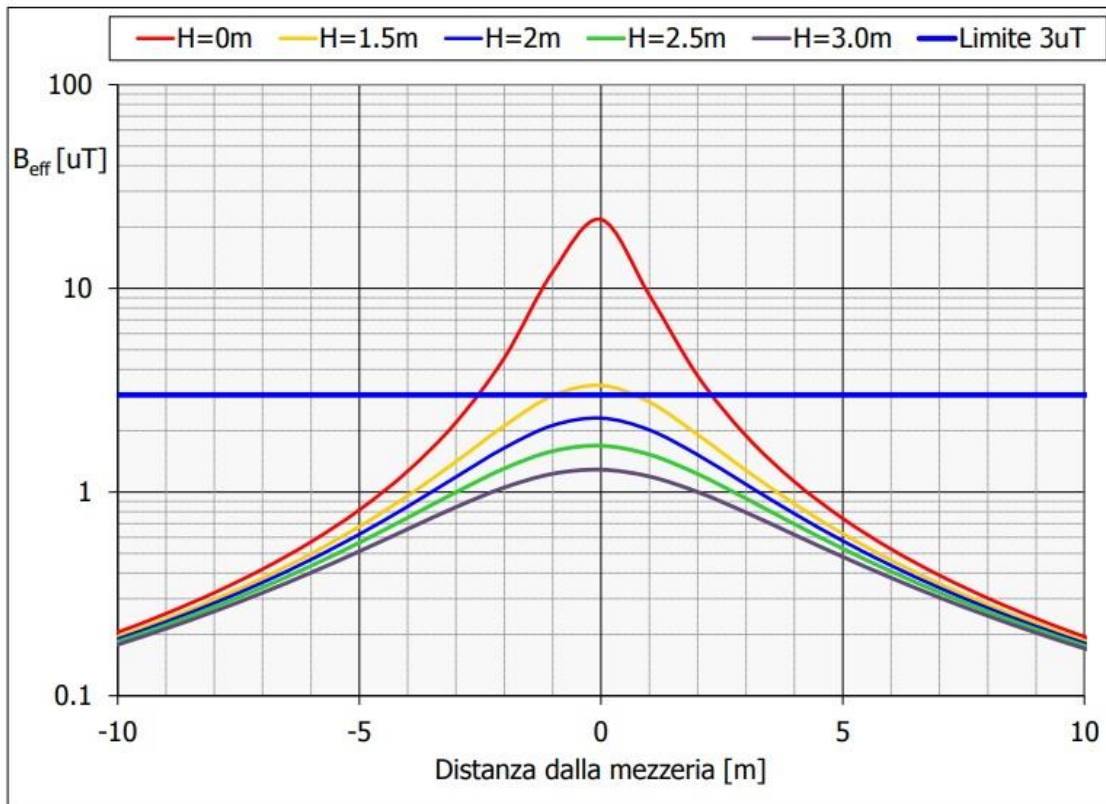


Fig. 4-2 Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo per la massima corrente dell'impianto



Si può osservare come nel caso peggiore il valore di 3 μ T è raggiunto a circa 2,6 m dall'asse del cavidotto. E' da notare che la condizione di calcolo è ampiamente cautelativa, in quanto la corrente che fluirà nel cavidotto sarà quella prodotta dall'impianto fotovoltaico, che, come detto, è pari a 1155A nelle condizioni di massima erogazione.

La norma infatti chiede di valutare gli effetti del campo elettromagnetico non in corrispondenza del massimo del picco, ma in corrispondenza del valore mediano. Per un impianto che ha produzione variabile tra 0 (assenza di radiazione solare) e il massimo potremmo assumere che il valore mediano sia pari al 50% del valore di picco. Pertanto tutte le considerazioni effettuate per il valore di picco risulteranno essere ampiamente cautelative nel tratto che va dall'impianto allo storage e comunque valide nel tratto che va dallo storage alla cabina di trasformazione.

In quest'ultimo tratto infatti il valore massimo della corrente sarà doppio (proporzionale alla potenza) e il valore mediano sarà proprio pari al valore massimo della corrente circolante nel primo tratto e posto a base di tutte le valutazioni.

Il tracciato di posa dei cavi è stato studiato in modo che il valore di induzione magnetica sia sempre inferiore a 3 μ T in corrispondenza dei ricettori sensibili (abitazioni e aree in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata), pertanto **è esclusa la presenza di tali ricettori all'interno della fascia calcolata.**



3.2. **Stazione elettrica d'utenza**

Le apparecchiature previste e le geometrie dell'impianto di AT sono analoghe a quelle di altri impianti già in esercizio, dove sono state effettuate verifiche sperimentali dei campi elettromagnetici al suolo nelle diverse condizioni di esercizio, con particolare attenzione alle zone di transito del personale (strade interne e fabbricati). I valori di campo elettrico al suolo risultano massimi in corrispondenza delle apparecchiature AT a 150 kV con valori attorno a qualche kV/m, ma si riducono a meno di 1 kV/m a ca. 10 m di distanza da queste ultime.

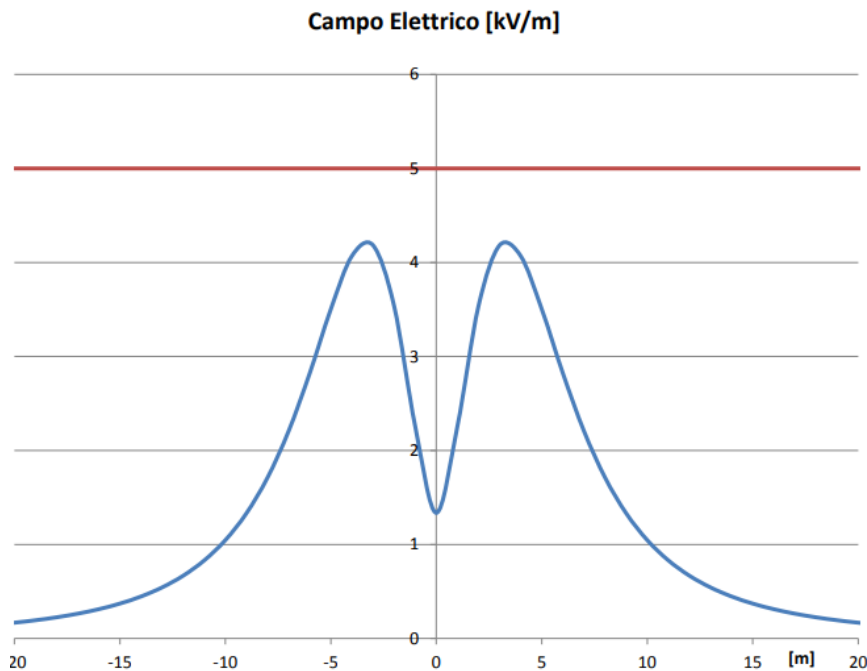


Fig. 4-3: Campo elettrico al suolo generato dal sistema di sbarre a 150 kV

I valori di campo magnetico al suolo sono massimi nelle stesse zone di cui sopra ed in corrispondenza delle vie cavi, ma variano in funzione delle correnti in gioco: con correnti sulle linee pari al valore di portata massima in esercizio normale delle linee si hanno valori pari a qualche decina di microtesla,



che si riducono a meno di $3 \mu\text{T}$ a 4 m di distanza dalla proiezione dell'asse della linea. I valori in corrispondenza della recinzione della stazione sono notevolmente ridotti ed ampiamente sotto i limiti di legge.

Con conduttori percorsi da una terna trifase equilibrata di correnti di 2000 A (corrente max sopportabile dalle sbarre), estremamente cautelativa rispetto alla max corrente reale, si ha un andamento di campo magnetico come riportato nella figura 4-4.

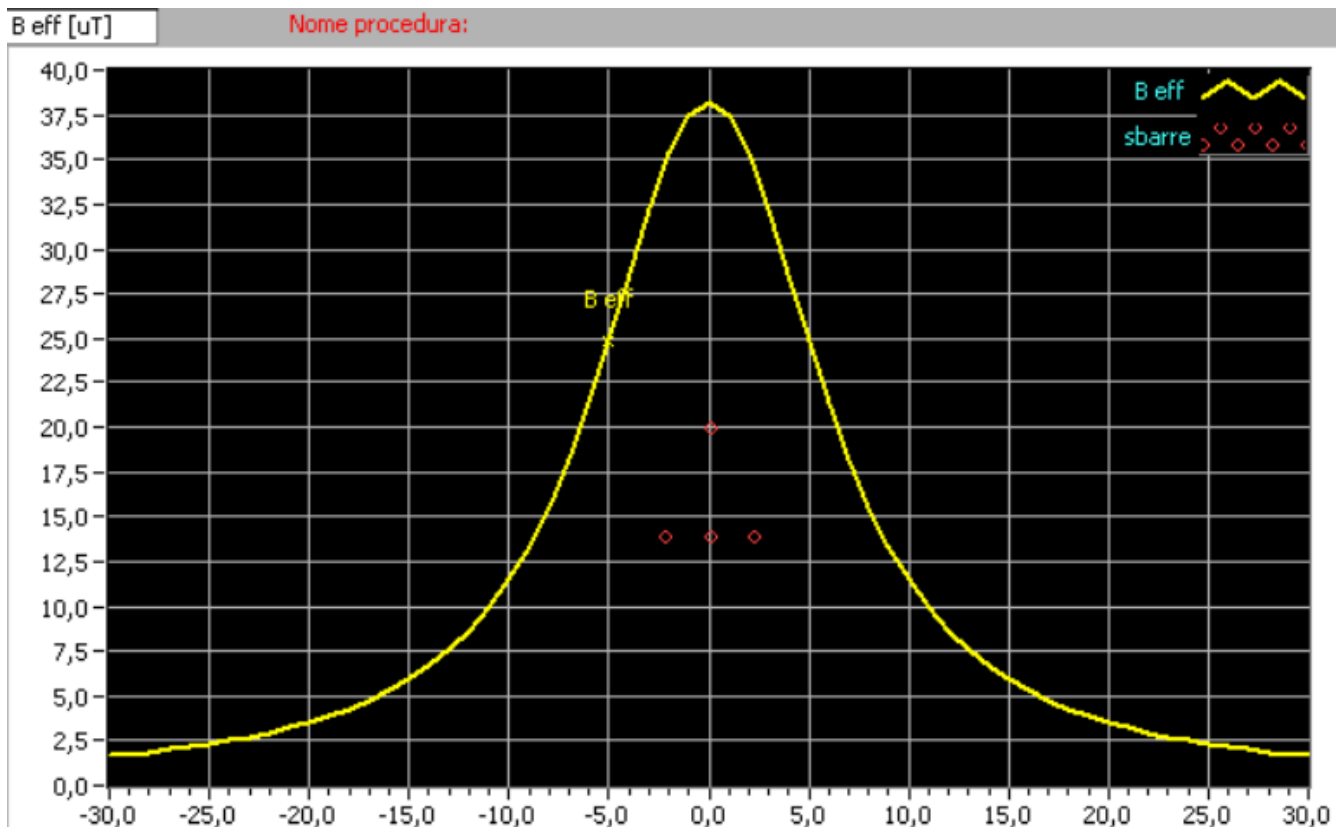


Fig.4-4: Andamento campo elettromagnetico

Si può notare che ad una distanza di circa 22 m dall'asse del sistema di sbarre l'induzione magnetico è inferiore al valore di $3 \mu\text{T}$.



3.3. Linee elettriche in corrente alternata in alta tensione

Ciascun cavo d'energia a 150 kV sarà costituito da un conduttore in alluminio compatto di sezione indicativa pari a circa 400 mm² tamponato, schermo semiconduttivo sul conduttore, isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, nastri in materiale igroespandente, guaina in alluminio longitudinalmente saldata, rivestimento in polietilene con grafatura esterna.

DATI CONDIZIONI DI POSA E DI INSTALLAZIONE

Posa	Interrata in letto di sabbia a bassa resistività termica
Messa a terra degli schermi	"cross bonding" o "single point-bonding"
Profondità di posa del cavo	Minimo 1,60 m
Formazione	Una terna a Trifoglio
Tipologia di riempimento	Con sabbia a bassa resistività termica o letto di cemento magro h 0,50 m
Profondità del riempimento	Minimo 1,10 m
Copertura con piastre di protezione in C.A. (solo per riempimento con sabbia)	spessore minimo 5 cm
Tipologia di riempimento fino a piano terra	Terra di riporto adeguatamente selezionata
Posa di Nastro Monitore in PVC – profondità	1,00 m circa

Di seguito viene esposto il grafico dell'andamento dell'induzione magnetica rispetto all'asse dell'elettrodotto. Nel calcolo, essendo il valore dell'induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede una posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1,5 m, con un valore di corrente pari a 530 A, dove la configurazione dell'elettrodotto è quella in assenza di schermature, distanza minima dei conduttori dal piano viario e posa a trifoglio dei conduttori.



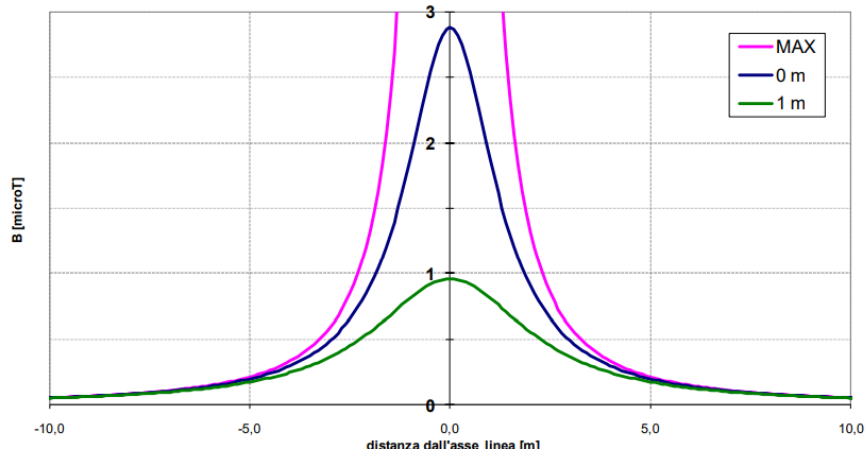


Fig 7

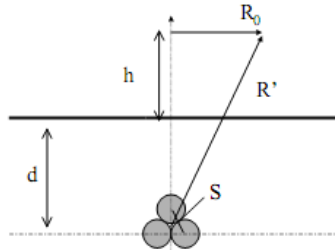
Il limite di 3 μT si raggiunge nel caso peggiore ad una distanza dall'asse linea di circa 1,5 m. Il tracciato di posa dei cavi è tale per cui intorno ad esso non vi sono ricettori sensibili (zone in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata) per distanze molto più elevate di quelle calcolate. Non è rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo. Secondo quanto riportato nel DM del MATTM del 29.05.2008, il calcolo delle fasce di rispetto può essere effettuato usando le formule della norma CEI 106-11, che prevedono l'applicazione dei modelli semplificati della norma CEI 211-4. Pertanto, il calcolo della fascia di rispetto si può intendere in via cautelativa pari al raggio della circonferenza che rappresenta il luogo dei punti aventi induzione magnetica pari a 3T

La formula da applicare è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

$$R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \text{ [m]}$$

Con il significato dei simboli di figura seguente:





Pertanto, ponendo:

- $S = 0.11 \text{ m}$
- $I = 530 \text{ A}$

Si ottiene:

- $R' = 2.18 \text{ m}$

Che arrotondato al metro, fornisce un **valore della fascia di rispetto paria a 3 m per parte**, rispetto all'asse del cavidotto. Come anticipato non si ravvisano ricettori all'interno della suddetta fascia.

3.4. *Analisi dei risultati*

Come mostrato nelle tabelle e figure dei paragrafi precedenti le azioni di progetto fanno sì che sia possibile riscontrare intensità del campo di induzione magnetica superiore al valore obiettivo di $3 \mu\text{T}$, sia in corrispondenza delle cabine di trasformazione che in corrispondenza dei cavidotti MT esterni e del cavidotto AT; d'altra parte è stato dimostrato come la fascia entro cui tale limite viene superato è circoscritto intorno alle opere suddette e, in particolare, ha una semi-ampiezza complessiva di circa 3m a cavallo della mezzeria di tutto il cavidotto MT, della lunghezza di circa 13 km.

D'altra parte trattandosi di cavidotti che si sviluppano sulla viabilità stradale esistente o in territori scarsissimamente antropizzati, si può certamente escludere la presenza di recettori sensibili entro le predette fasce, venendo quindi soddisfatto l'obiettivo di qualità da conseguire nella realizzazione di nuovi elettrodotti fissato dal DPCM 8 Luglio 2003.



La stessa considerazione può ritenersi certamente valida per una fascia di circa 4 m attorno alle cabine di trasformazione ed alla cabina di impianto, oltre che nelle immediate vicinanze della stazione di utenza AT/MT e del breve cavidotto AT.

Infatti, anche per la stazione d'utenza, ad eccezione che in corrispondenza degli ingressi e delle uscite linea, al di fuori della recinzione della stazione, i valori di campo magnetico sono inferiori ai limiti di legge.

4. CONCLUSIONI

Le uniche radiazioni associabili a questo tipo di impianti sono le radiazioni non ionizzanti costituite dai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (50 Hz), prodotti rispettivamente dalla tensione di esercizio degli elettrodotti e dalla corrente che li percorre. I valori di riferimento, per l'esposizione ai campi elettrici e magnetici, sono stabiliti dalla Legge n. 36 del 22/02/2001 e dal successivo DPCM 8 Luglio 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 di 50 Hz degli elettrodotti".

In generale, per quanto riguarda il campo elettrico in media tensione esso è notevolmente inferiore a 5kV/m (valore imposto dalla normativa) e per il livello 150 kV esso diventa inferiore a 5 kV/m già a pochi metri dalle parti in tensione.

Mentre per quel che riguarda il campo di induzione magnetica il calcolo nelle varie sezioni di impianto ha dimostrato come non ci siano fattori di rischio per la salute umana a causa delle azioni di progetto, poiché è esclusa la presenza di recettori sensibili entro le fasce per le quali i valori di induzione magnetica attesa non sono inferiori agli obiettivi di qualità fissati per legge; mentre il campo elettrico generato è nullo a causa dello schermo dei cavi o assolutamente trascurabile negli altri casi per distanze superiori a qualche cm dalle parti in tensione.

Infatti per quanto riguarda il campo magnetico, relativamente ai cavidotti MT, in tutti i tratti interni realizzati mediante l'uso di cavi elicordati, si può considerare che l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia pari a 1m, a cavallo dell'asse del cavidotto, pertanto uguale alla fascia di asservimento della linea. Per quanto concerne i tratti esterni, realizzati mediante l'uso di cavi unipolari



posati a trifoglio, è stata calcolata un'ampiezza della semi-fascia di rispetto pari a 4 m e, sulla base della scelta del tracciato, si esclude la presenza di luoghi adibiti alla permanenza di persone per durate non inferiori alle 4 ore al giorno.

Come già spiegato in precedenza **gli intervalli suddetti sono stati determinati in funzione del valore di picco della corrente e non del valore mediano, pertanto sono validi anche nel tratto di cavidotto che va dallo storage alla stazione di trasformazione, caratterizzato da un valore doppio di corrente massima e quindi da un valore mediano della corrente pari alla massima corrente prodotta dall'impianto fotovoltaico.**

Per ciò che riguarda le cabine di trasformazione l'unica sorgente di emissione è rappresentata dal trasformatore BT/MT, quindi in riferimento al DPCM 8 luglio 2003 e al DM del MATTM del 29.05.2008, l'obiettivo di qualità si raggiunge, nel caso peggiore (trasformatore da 2500kVA), già a circa 4 m (DPA) dalla cabina stessa. Per quanto riguarda la cabina d'impianto, vista la presenza del solo trasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari in BT e l'entità delle correnti circolanti nei quadri MT l'obiettivo di qualità si raggiunge a circa 3 m (DPA) dalla cabina stessa. Comunque considerando che nelle cabine di trasformazione e nella cabina d'impianto non è prevista la presenza di persone per più di quattro ore al giorno e che l'intera area dell'impianto fotovoltaico sarà racchiusa all'interno di una recinzione metallica che impedisce l'ingresso di personale non autorizzato, si può escludere pericolo per la salute umana.

L'impatto elettromagnetico può pertanto essere considerato non significativo.

