



CENTRALE EOLICA OFFSHORE "RIMINI" (330 MW) ANTISTANTE LA COSTA TRA RIMINI E CATTOLICA

proponente:

EnergiaWind 2020 srl _ Riccardo Ducoli amministratore unico



RELAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO

CAMPI ELETTRICI ED ELETTROMAGNETICI E DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)

Coordinamento:

Tecnoconsult Engineering Construction srl

Ing. Paolo Pierangeli

Albo Ingegneri di Pesaro e Urbino A2162

Progettazione opere elettriche:

3E ingegneria srl

Ing. Giovanni Saraceno

Albo Ingegneri di Reggio Calabria 1629



INDICE DELLA RELAZIONE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	DATI DI SINTESI DEL PROGETTO	3
1.2	UBICAZIONE DELL'IMPIANTO E CARATTERISTICHE DELL'AREA DI INTERVENTO	4
1.3	NOTE RELATIVE AL PROGETTO PREDISPOSTO PER LA VIA, ALTERNATIVE CONSIDERATE E AMBITO DI INDAGINE	5
1.4	OPERE PRINCIPALI	7
2	OGGETTO E SCOPO	10
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	11
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	12
5	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLA PARTE MARINA	14
5.1	LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA (66 E 380 kV)	14
5.2	STAZIONE DI UTENZA OFFSHORE 66/380 kV	17
6	CALCOLO CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLA PARTE TERRESTRE	19
6.1	ELETTRODOTTO A 380 kV IN CAVO INTERRATO IN CORRENTE ALTERNATA	19
6.1.1	Buche giunti	23
6.1.2	Considerazioni sulla ulteriore mitigazione dei cem indotti	26
6.2	STAZIONE DI TRANSIZIONE AEREO-CAVO A 380 kV	29
6.3	ELETTRODOTTO AEREO A 380 kV IN CORRENTE ALTERNATA	31
7	RIEPILOGO DEI RISULTATI	36
8	CAMPI ELETTROMAGNETICI PER L'AMPLIAMENTO STAZIONE TERNA ESISTENTE	37

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 – Ubicazione della Centrale eolica offshore "Rimini" e zone di interdizione (in grigio chiaro).	5
Figura 1.2 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT A.....	7
Figura 1.3 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT B.....	7
Figura 1.4 – Opere terrestri di connessione alla RTN; in evidenza, l'approdo del cavo marino con HDD (ellisse grigia).....	9
Figura 5.1 _ Andamento dell'induzione magnetica al suolo prodotta dalla linea in cavo a 66 kV da 400 mm ² , posata a -1m.....	16

Figura 5.2 _ Andamento dell'induzione magnetica al suolo prodotta dalla linea in cavo a 380 kV da 630 mm ² , posata a -1m	17
Figura 6.1 _ Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo AT	21
Figura 6.2 _ Curve di isolivello dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo AT a 380 kV con posa a trifoglio	22
Figura 6.3 _ Schema planimetrico buca giunti	24
Figura 6.4 _ Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo AT in corrispondenza della buca giunti.....	25
Figura 6.5 _ Curve di isolivello dell'induzione magnetica linea in cavo AT in corrispondenza della buca giunti	26
Figura 6.6 _ esempio di installazione di loop passivi in corrispondenza della buca giunti	27
Figura 6.7 _ esempio di installazione buca giunti in canale schermante	27
Figura 6.8 _ esempio di installazione di loop passivi in corrispondenza dei cavi AT	28
Figura 6.9 _ esempio di installazione cavi AT in canale schermante	28
Figura 6.10 _ Andamento del campo elettrico potale sbarre a 380 kV.....	29
Figura 6.11 _ Andamento del campo di induzione magnetica per I = 2000 A.....	30
Figura 6.12 _ Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea aerea AT calcolata ad 1,5m dal suolo	33
Figura 6.13 _ Andamento del campo elettrico prodotto dalla linea aerea AT	34
Figura 6.14 _ Andamento del campo elettrico prodotto dalla linea aerea AT	35
Figura 8.1 _ Pianta di una tipica stazione 380/132 kV con l'indicazione delle principali distanze fase-fase (S) e fase-terra (H) e delle variazioni delle tensioni e delle correnti durante le fasi di misurazioni di campo elettrico e magnetico.....	38
Figura 8.2 _ Risultati della misura dei campi elettrici e magnetici effettuate lungo le vie interne della sezione a 380 kV della stazione riportata in figura 8.1	38

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 8.1_ Risultati della misura del campo elettrico e del campo di induzione magnetica nelle aree A, B, C, e D riportate in Figura 8.1	39
--	----

1 INTRODUZIONE

Il presente documento descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche presenti nell'impianto eolico offshore "Rimini", ubicata nel mare antistante la costa tra Rimini e Cattolica, composta da 51 aerogeneratori della potenza di 6,45 MW (per 330 MW complessivi). La centrale sarà collegata alla RTN (Rete di Trasmissione Nazionale) alla Stazione TERNA "San Martino in Venti" ubicata in comune di Rimini.

Il soggetto proponente è **Energia Wind 2020 srl**, con sede legale in via Aldo Moro 28 - 25043 Breno (BS) C.F. P. IVA e Iscrizione al Registro delle Imprese di Brescia n. 03466270984.

Il progetto della Centrale Eolica "Rimini" è stato presentato a livello di Preliminare il 30 marzo 2020, allegato all'istanza di Autorizzazione Unica ai sensi dell'art. 12 del D.lgs 387/2003 (secondo quanto stabilito dalla Circolare n. 40 del 05/01/2012 del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, che stabilisce l'articolazione del procedimento in 3 fasi) e **ha superato la prima fase del procedimento**, coordinato dalla Capitaneria di Porto di Rimini e relativo all'istruttoria tecnico amministrativa finalizzata al rilascio della Concessione Demaniale.

L'approfondimento tematico di cui al presente studio costituisce parte integrante del Progetto (approfondito a livello di Definitivo) e della documentazione allegata allo Studio di Impatto Ambientale, documenti redatti in conformità delle norme vigenti e richiesti dal D.lgs 152/2006 e ss.mm.ii. e dalla Circolare 40/2012 relativamente alla fase di Valutazione di Impatto Ambientale e alla fase di Autorizzazione Unica.

1.1 Dati di sintesi del progetto

Si riporta di seguito una sintesi dei dati principali del progetto.

Regione interessata:

Emilia Romagna.

Comuni interessati dalle opere di connessione alla RTN:

Rimini (RN).

Capitaneria di Porto di riferimento per gli aspetti amministrativi della Concessione Demaniale:

Capitaneria di Porto di Rimini.

Durata Concessione Demaniale richiesta:

30 anni, in via preliminare a decorrere dal 30 giugno 2020.

Connessione alla RTN:

Collegamento alla SE TERNA 380/150 kV "San Martino in Venti", ubicata in Comune di Rimini.

Documenti relativi alla Connessione alla RTN:

- Soluzione di connessione – codice pratica 201400164 – rilasciata da TERNA SpA in data 06/08/2019 con nota TERNA/P2019 0056289, che prevede l'allacciamento alla RTN di 330 MW alla sezione 380 kV della stazione elettrica "San Martino in Venti" nel comune di Rimini;

- Accettazione della STMG e del relativo preventivo di connessione comunicata in data 31/10/2019;
- Richiesta di Benestare Tecnico alla connessione inoltrata in data 15/11/2019;
- Benestare Tecnico alla Connessione rilasciato da TERNA SpA in data 28/05/2021 con nota GRUPPO TERNA/P20210043904;

Stato dell'iter autorizzativo:

- in data 30/03/2020, inoltro dell'istanza di Autorizzazione Unica e contestuale rilascio della Concessione Demaniale Marittima;
- in data 9 aprile 2020, avvio del procedimento da parte del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili (MIMS);
- in data 22/12/2020, Conferenza di Servizi asincrona coordinata dalla Capitaneria di Porto di Rimini, in cui sono stati acquisiti direttamente o per silenzio assenso i pareri degli enti competenti convocati;
- in data 01/02/2021 la Capitaneria ha trasmesso il mod. 78, attestando l'ammissibilità del progetto relativamente alla sicurezza alla navigazione e ad altri profili di competenza;
- in data 09.02.2021 il MIMS ha comunicato la conclusione positiva della prima fase istruttoria e ha informato il Ministero della Transizione Ecologica (MITE) e il Ministero dello Sviluppo Economico MISE, comunicando che per poter procedere alla conclusione dell'iter istruttorio finalizzato all'autorizzazione secondo le modalità previste dall'art. 12 del D.L. 29 dicembre 2003 n. 387 e dalla Circolare n° 40 del 5 gennaio, risulta necessario l'avvio del procedimento di VIA (da concludersi con esito positivo) e l'emissione del parere favorevole del MISE;
- in data 28/06/2021 il MIMS ha preso atto del parere favorevole del MISE relativo all'avvio della costruzione ed esercizio degli elettrodotti in Alta Tensione subacquei, interrati ed aerei asserviti all'impianto da realizzare (parere favorevole rilasciato in data 12/05/2021) e ha comunicato che resta in attesa dell'avvio e dell'esito del procedimento di VIA;
- il 29/04/21, successivamente alla chiusura della prima fase istruttoria, è pervenuto il parere favorevole di ENAC/ENAV relativamente alla sicurezza alla navigazione aerea;
- Il 31/10/2021, Il progetto elaborato a livello di Definitivo e lo Studio di Impatto Ambientale e allegati sono stati completati per la trasmissione relativa all'avvio del procedimento di VIA.

1.2 Ubicazione dell'impianto e caratteristiche dell'area di intervento

Su larga scala l'area di progetto si inserisce nel bacino del mare Adriatico Settentrionale e per ubicazione geografica la centrale eolica offshore impegna il braccio di mare antistante la costa compresa tra Rimini e Cattolica e parte del litorale marchigiano che dal confine della Regione Emilia Romagna prosegue sino a Gabicce e al Colle San Bartolo.

Nello specifico, lo specchio d'acqua complessivo in cui ricadono gli aerogeneratori nelle diverse alternative di configurazione e localizzazione proposte, è compreso nei seguenti limiti:

- a nord ovest da aree concesse a ENI e occupate dalle piattaforme metanifere del gruppo Azalea e da attraversamenti di condotte;
- a nord est dal limite delle acque territoriali (12 MN) per il Layout "A", già oggetto di valutazione nella prima fase istruttoria, e dal limite delle 18 MN per le configurazioni di layout alternative proposte;
- a sud est dalle piattaforme del gruppo "Regina" e dal limite delle competenze amministrative delle Capitanerie di Porto di Rimini e Pesaro;
- a sud ovest da una linea teorica parallela alla costa e coincidente con il limite delle 6 MN per il layout "A" e con il limite delle 9 MN per i layout alternativi, entrambe identificate sia per attenuare la visibilità degli aerogeneratori dalla terra ferma e sia per rispettare le limitazioni relative agli ostacoli e ai pericoli per la navigazione aerea stabilite per l'aeroporto internazionale di Rimini _ San Marino; in tutti i layout proposti gli aerogeneratori mantengono una distanza minima dal ARP (Airport Reference Point) maggiore di 15 km e risultano esterni alla OHS (Other Horizontal Surface).

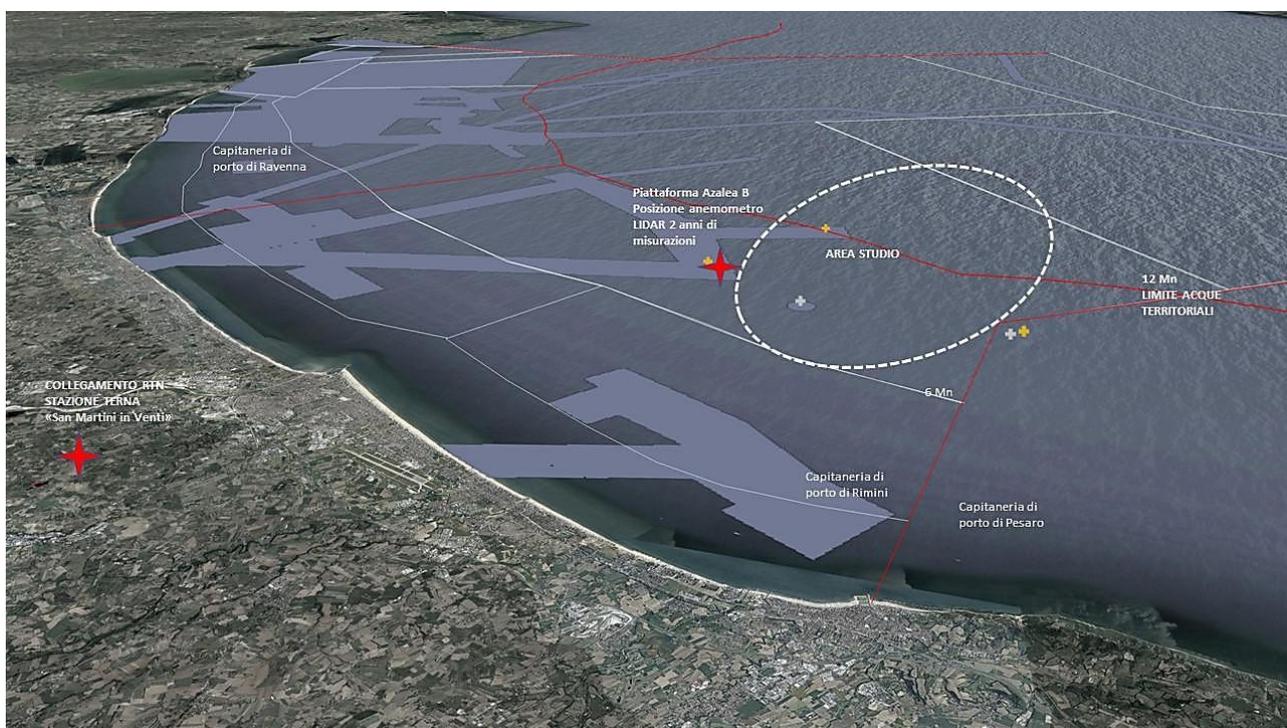


Figura 1.1 – Ubicazione della Centrale eolica offshore "Rimini" e zone di interdizione (in grigio chiaro).

1.3 Note relative al progetto predisposto per la VIA, alternative considerate e ambito di indagine

Per il completamento delle procedure autorizzative, il progetto recepisce le prescrizioni e le osservazioni degli enti che hanno espresso parere nell'ambito della procedura sino a qui esperita nonché alcune considerazioni espresse dai portatori di interesse.

Come previsto dalle norme in materia di Valutazione di Impatto ambientale, il progetto prevede delle alternative sia riguardo al tracciato delle opere terrestri di connessione (cavo AT interrato) che alla localizzazione e disposizione degli aerogeneratori.

Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, si precisa quanto segue:

- Per tutti i Layout considerati restano invariate la posizione della Stazione di Trasformazione Elettrica ubicata in mare nonché le opere di connessione alla RTN;
- il primo riferimento è il **Layout "A"** compreso tra le 6 Mn e le 12 Mn, presentato come integrazione volontaria il 25/09/2020 nell'ambito del procedimento di concessione demaniale, rispetto al quale si sono espressi gli Enti in Conferenza di Servizi attestandone l'ammissibilità in termini di localizzazione; le turbine occupano posizioni con profondità del fondale variabile e compresa tra -15 e -34 m; l'interdistanza tra le torri è regolare e pari a 680 m; la minima distanza dal punto di misurazione anemometrica (Piattaforma Azalea "B") è pari a 2,8 km;
- rispetto al precedente, sono state studiate delle alternative localizzative e di configurazione che interessano in parte l'areale del layout "A" e in parte una zona immediatamente contigua e disposta verso il largo sino alle 18 MN; in tale ambito sono state verificate 3 configurazioni degli aerogeneratori; tra le alternative ne è stata approfondita una in particolare, il "Layout B", vista la sostanziale parità di implicazioni ambientali e di producibilità energetica rispetto agli altri 2 layout proposti e denominati "C" e "D", che in ogni caso vanno considerati come alternative possibili;
- Il **Layout "B"** esemplificativo delle alternative considerate e contiguo al layout "A", occupa un'area a cavallo delle 12 MN ed è compreso tra le 9 e le 18 MN; gli aerogeneratori si dispongono lungo le direttrici di tre archi, in questo caso paralleli e distanti tra loro 3 km, occupando posizioni con profondità del fondale variabile e compresa tra -22 e -43 m; l'interdistanza tra le torri è regolare e pari a 720 m; la minima distanza dal punto di misurazione anemometrica (Piattaforma Azalea "B") è pari a 6 km;
- gli altri layout considerati sono il layout "C", anch'esso organizzato su tre archi, ma concavi verso Nord Ovest e il Layout "D" che è l'unico organizzato "a freccia" su tre rette che si svasano verso il largo; la distanza minima dal punto di misurazione è rispettivamente pari a circa 2,7 km e 3 km;
- per tutti i layout proposti, la profondità e la natura dei fondali fanno sì che le opere di fondazione siano del tipo a monopilone, con elementi cilindrici in acciaio di circa 7,5 m di diametro e infissi al di sotto del fondale con profondità variabili in base alla batimetria.
- Per quanto riguarda l'elettrodotta interrato AT terrestre il progetto prevede che il tracciato, a partire dalla buca giunti di collegamento tra il cavo marino e quello terrestre, segua prevalentemente la viabilità esistente secondaria con un percorso preferenziale di circa 11,7 km, di cui circa 380 m in TOC per il superamento della SS N. 72 Rimini/San Marino e del Torrente Ausa; si prevede anche un percorso alternativo che si distacca e si ricongiunge al precedente e segue viabilità primaria, per una lunghezza complessiva di 11,6 km.

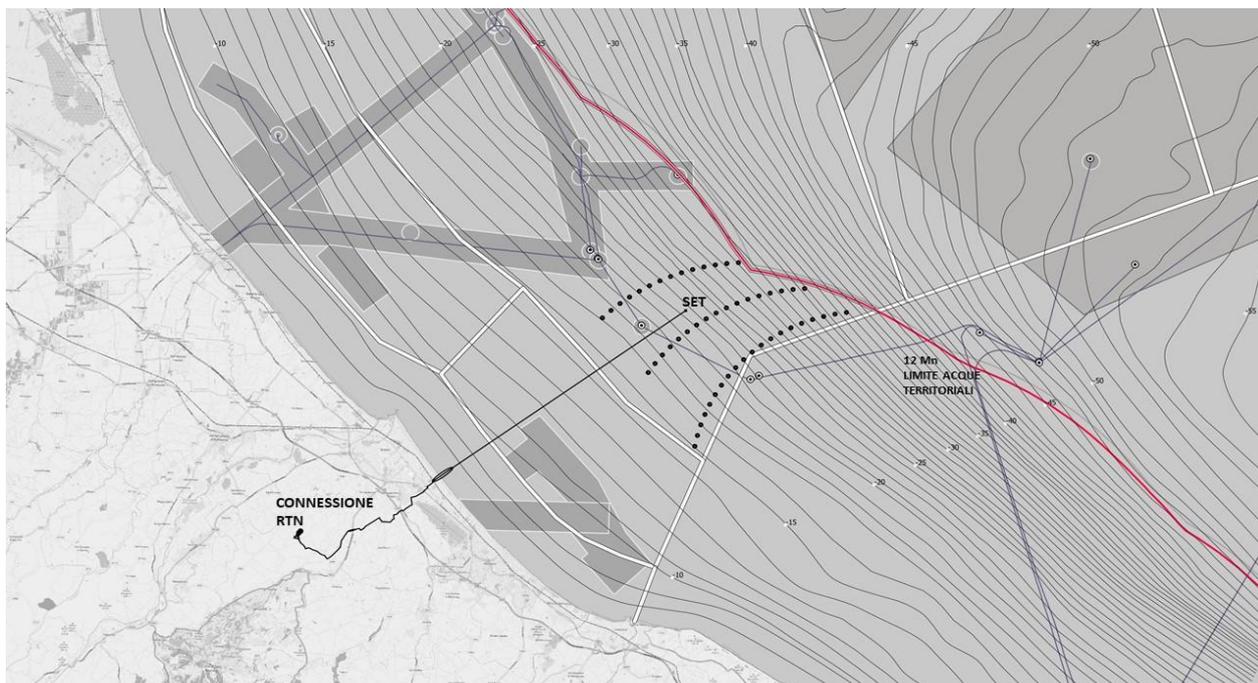


Figura 1.2 –Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT A

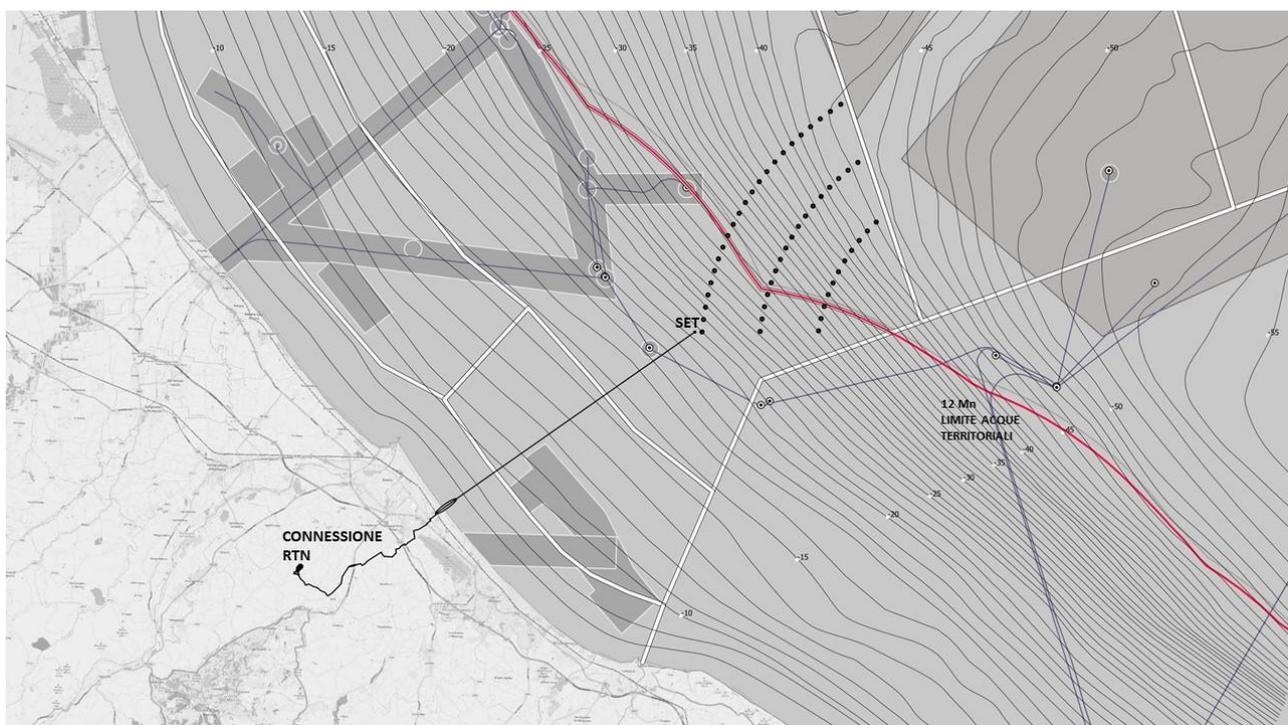


Figura 1.3 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT B

1.4 Opere principali

Si riporta di seguito l'elenco sintetico delle principali opere previste dal progetto.

OPERE IN MARE:

- **51 aerogeneratori di potenza nominale unitaria pari a 6,45 MW, per una capacità complessiva di 330 MW, ancorati al fondale con fondazione del tipo monopilone in acciaio;**

gli aerogeneratori presi come riferimento tecnologico per il progetto sono del tipo MingYang MySE 6.45-180, con hub a 110/125 m di altezza, diametro del rotore pari a 180 m, tronco di transizione con parte fuori acqua pari a 9/10 m, per un range di altezza complessiva massima compreso tra 210/220 m dal medio mare (in tali range di potenza e dimensionali rientrano altri aerogeneratori simili che potrebbero essere considerati in fase di progettazione esecutiva); gli aerogeneratori vengono proposti in configurazioni alternative, comparate per aspetti ambientali in merito alla localizzazione;

- **Una rete elettrica sottomarina a tensione nominale pari a 66 kV che collega gli aerogeneratori in serie, raggruppandoli in 8 sezioni principali, per poi connettersi alla Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) offshore 66/380 kV ;**
- **Una piattaforma marina che ospita la Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) 66/380 kV, attrezzata con 2 trasformatori da 180/200 MVA, 1 reattore per la compensazione della potenza reattiva, apparecchiature, quadri di controllo e manufatti di servizio e accessori;**
- **Un elettrodotto sottomarino di collegamento tra la Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) offshore e la buca giunti terra-mare, costituito da un cavo in AT 380 kV di lunghezza pari a 18,15 km di cui 1,45 km realizzato con HDD (Horizontal Directional Drilling) per la parte di transizione terra_mare);**

la parte di approdo e atterraggio (transizione terra-mare del cavo marino realizzata con HDD) inizia in mare a circa 930 m dalla linea di battigia e raggiunge la buca giunti dopo aver bypassato la spiaggia (in corrispondenza del nuovo circolo velico di Bellariva ubicato tra il bagno 98 e 99), il lungomare Giuseppe Di Vittorio, gli edifici prospicienti, la rete ferroviaria e la linea Metro_Mare;

OPERE A TERRA PER LA CONNESSIONE ALLA RTN:

- **Una buca giunti interrata, in cui avviene la giunzione tra la l'elettrodotto sottomarino e quello terrestre, interrata e posizionata nello slargo compreso tra il sottopasso di Viale Portofino e Viale Siracusa, immediatamente a sud ovest della linea Metro_Mare e della Rete Ferroviaria adriatica;**
- **Un elettrodotto terrestre interrato costituito da una terna di cavi isolati in AT 380 kV, di lunghezza pari a circa 11,7 km (con buche giunti ogni 500/600 m), che raggiunge la Stazione di Transizione cavo-aereo adiacente alla SE TERNA 380/150 kV "San Martino in Venti", dove avviene la connessione alla RTN;**

il progetto prevede che il tracciato, a partire dalla buca giunti di collegamento tra il cavo marino e quello terrestre, segua prevalentemente la viabilità esistente secondaria con un percorso preferenziale di circa 11,7 km, di cui circa 380 m in TOC per il superamento della SS N. 72 Rimini/San Marino e del Torrente Ausa; si prevede anche un percorso alternativo che si distacca e si ricongiunge al precedente e segue viabilità primaria, per una lunghezza complessiva di 11,6 km.

- **Una Stazione di Transizione cavo-aereo da realizzarsi in prossimità della stazione elettrica TERNA "San Martino in Venti", che ospiterà il reattore, le apparecchiature elettromeccaniche, i locali quadri e misure e il portale di partenza della linea aerea di collegamento alla stazione RTN;**

verrà realizzato un breve tratto stradale di lunghezza pari a circa 130 m e larghezza pari a 7 m incluso banchine laterali, di collegamento tra Via San Martino in Venti e la Stazione Utente;

- **Un elettrodotto aereo trifase lungo circa 450 m, in conduttori nudi binati alla tensione di 380 kV, di connessione con lo stallo a 380 kV nella stazione elettrica "San Martino in Venti" 150/380 kV esistente e di proprietà TERNA S.p.A.;**
- **Un nuovo stallo a 380 kV, previo ampliamento della stazione TERNA "San Martino in Venti", nella parte nord-ovest, e interrimento di un tratto di linea in cavo aereo esistente;**

per la realizzazione del nuovo stallo, come indicato dal gestore della rete TERNA, è previsto l'interrimento dell'ultima campata di un elettrodotto aereo a 132 kV "San Martino-Gambettola" esistente; l'elettrodotto aereo, lungo circa 170 m, e il traliccio di arrivo saranno eliminati e sostituiti da un elettrodotto interrato AT 150 kV, di lunghezza pari a circa 230 m, da realizzare all'interno dell'area di ampliamento della Stazione Elettrica San Martino in Venti.

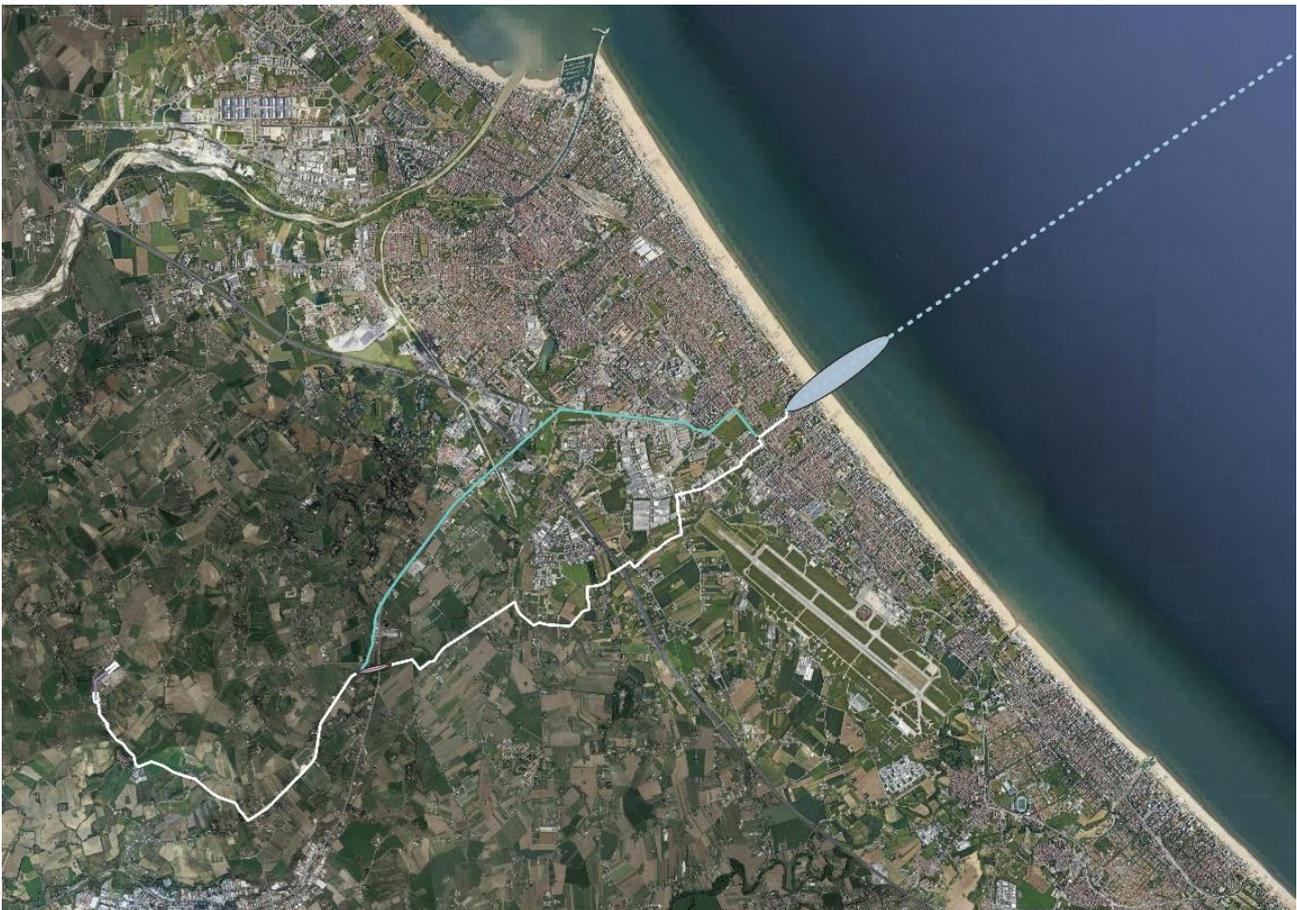


Figura 1.4 – Opere terrestri di connessione alla RTN; in evidenza, l'approdo del cavo marino con HDD (ellisse grigia)

2 OGGETTO E SCOPO

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

In particolare, per l'impianto saranno valutate le emissioni elettromagnetiche dovute ai cavidotti interni alla centrale eolica, alla stazione utente per la trasformazione 66/380 kV, all'elettrodotto in cavo interrato a 380kV, alla stazione di transizione cavo-aereo ed all'elettrodotto aereo a 380kV. Si individueranno, in base al DM del MATTM del 29.05.2008, le DPA per le opere sopra elencate.

Nel presente studio sono state prese in considerazione le condizioni maggiormente significative al fine di valutare la rispondenza ai requisiti di legge dell'impianto in oggetto.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [1] 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".
- [2] DL 9 aprile 2008 n° 81 "Testo unico sulla sicurezza sul lavoro"
- [3] 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"
- [7] Delibera della Giunta ER n.2088/2013 del 23.12.2013, "Direttiva per l'attuazione dell'art. 2 della LR n. 10/1993 e l'aggiornamento delle disposizioni di cui alle deliberazioni n. 1965/1999 e n. 978/2010 in materia di linee ed impianti elettrici fino a 150.000 Volt"
- [8] P. Pettersson, N. Schonborg, "Predicting the Magnetic Field from Twisted Three- Phase Arrangement", IEEE 1997 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 18-22 Aug 1997, Austin, TX, USA
- [9] P. Pettersson, N. Schonborg, "Reduction of Power System magnetic Field by Configuration Twist", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, pp. 1678-1683, Ottobre 1997

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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 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 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 eolico trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima produzione (circa 330.000 kW ac).

5 CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLA PARTE MARINA

5.1 Linee elettriche in corrente alternata (66 e 380 kV)

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

Non sono stati eseguiti i calcoli del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo.

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

Per il calcolo del campo magnetico relativo ai collegamenti della parte marina sono state prese in esame le configurazioni più significative:

- collegamento tra gli aereogeneratori e la stazione di utenza: 1 terna di cavi a 66 kV, con l'utilizzo di cavi tripolari di sezione pari al massimo a 400 mm².
- collegamento tra la stazione di utenza e la buca giunti terra-mare: 1 terna di cavi a 380 kV con l'utilizzo di cavi tripolari di sezione pari a 630 mm².

La corrente massima che può interessare la linea di collegamento è la seguente:

Tratto	Vn (kV)	In (A)	Portata Max (A)	Tipo Cavo
WTG44-SE	66	502	549	1x(3x1x400) mm ²
SE-BGTM	380	528	740	1x(3x1x630) mm ²

Nel calcolo, essendo il valore della induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione il valore di corrente pari alla portata massima di ciascuna linea elettrica in cavo nelle condizioni normali, senza correzioni, secondo la Norma CEI 20-21, che risulta essere uguale a 549 A per il conduttore da 400 mm² e 740 A per il conduttore da 630 mm². Le condizioni di impiego sono quindi inferiori a quelle di calcolo, che usano il valore della portata effettiva del cavo.

La tipologia di cavidotti presenti nell'impianto prevede all'interno del parco eolico l'utilizzo esclusivo di cavi tripolari assimilabili a cavi elicordati. Per quanto riguarda il modello per il calcolo dell'induzione magnetica generata da una terna di conduttori avvolti ad elica, non è possibile utilizzare la semplice trattazione basata sull'ipotesi di conduttori rettilinei e paralleli. Per questo calcolo esiste in bibliografia ([8]-[9]) una formula approssimata utilizzabile a partire da una certa distanza dall'asse della terna di conduttori. Già a distanze paragonabili al passo dell'elica, la formula fornisce una buona approssimazione, ed è infatti utilizzata nelle principali trattazioni di interesse della tutela della salute.

In particolare la formulazione del calcolo del campo di induzione magnetica è:

$$B = \frac{3}{2} B_0 \gamma^2 I'_n(\eta) \left[K_1^2(\gamma) + \frac{1+\gamma^2}{\gamma^2} K_1'^2(\gamma) \right]^{1/2}$$

Dove si può approssimare:

$$K_1(\gamma) \approx -K_1'(\gamma) \approx \sqrt{\frac{2}{\pi\gamma}} e^{-\gamma}$$

$$B \approx F \cdot \frac{3}{4} \sqrt{2} B_0$$

con

$$F = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \gamma^{3/2} e^{-\gamma}, \quad \text{'twist factor'}$$

Essendo inoltre:

$$k = \frac{2\pi}{p}, \quad \gamma = kr, \quad \text{con } r \text{ distanza del punto di calcolo e } p \text{ passo dell'elica}$$

$$\eta = k\alpha, \quad \text{con } \alpha \text{ il raggio del conduttore.}$$

Sulla base delle formule riportate in [8] e [9], è stato quindi implementato un software di calcolo (basato su MS excel) che consente di determinare il valore del campo di induzione magnetica generato da cavi elicordati (anche in presenza di più linee in parallelo).

Per le tipologie considerate di cavi sono state considerate le seguenti caratteristiche geometriche:

- cavi da 400mm²: p=2,0 m; a=0.045 m
- cavi da 630mm²: p=2,5 m; a=0.096 m

I risultati delle simulazioni sono riportati nel seguito, dove è raffigurato l'andamento dell'induzione magnetica rispetto all'asse della linea.

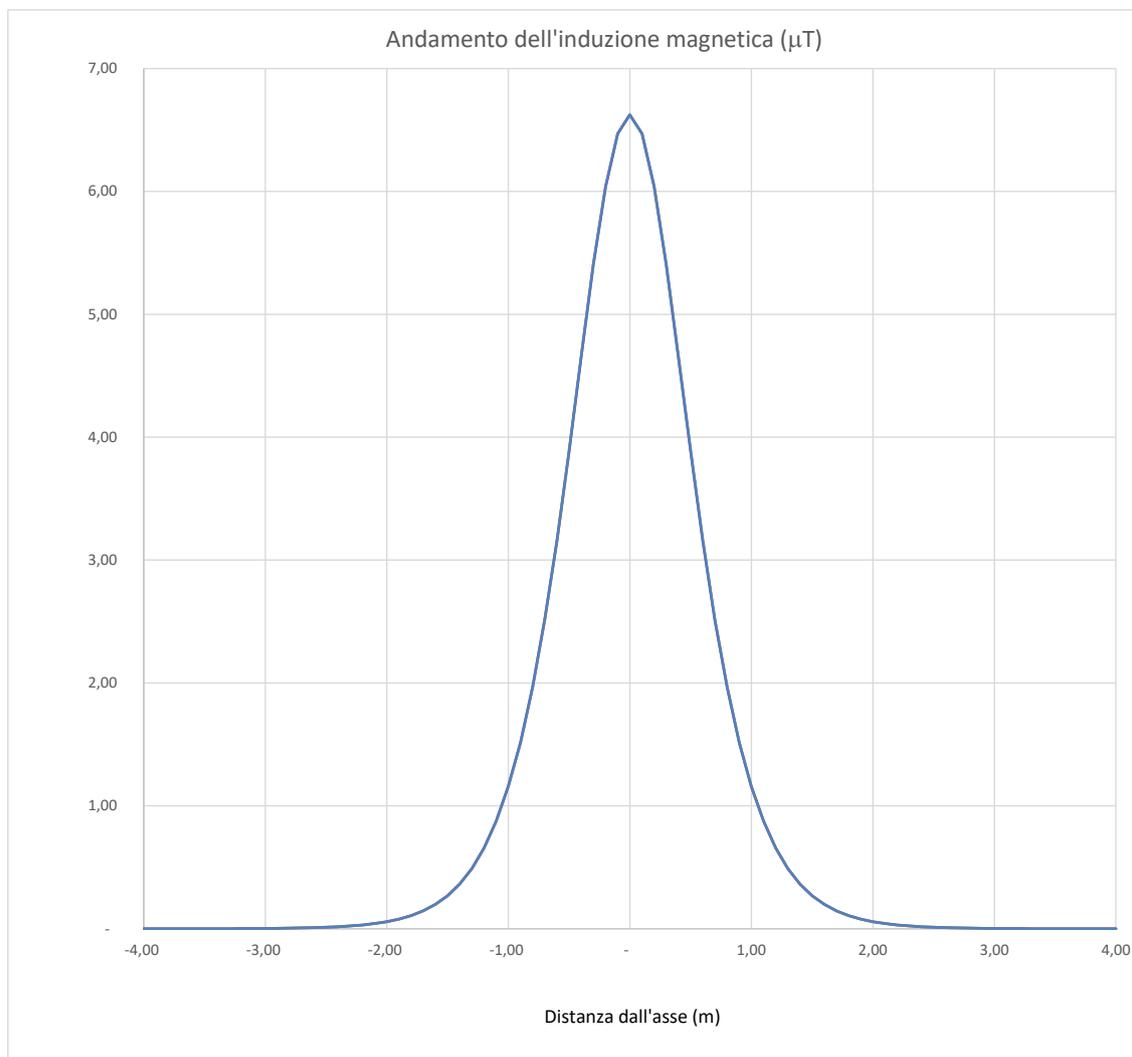


Figura 5.1 _ Andamento dell'induzione magnetica al suolo prodotta dalla linea in cavo a 66 kV da 400 mm², posata a -1m

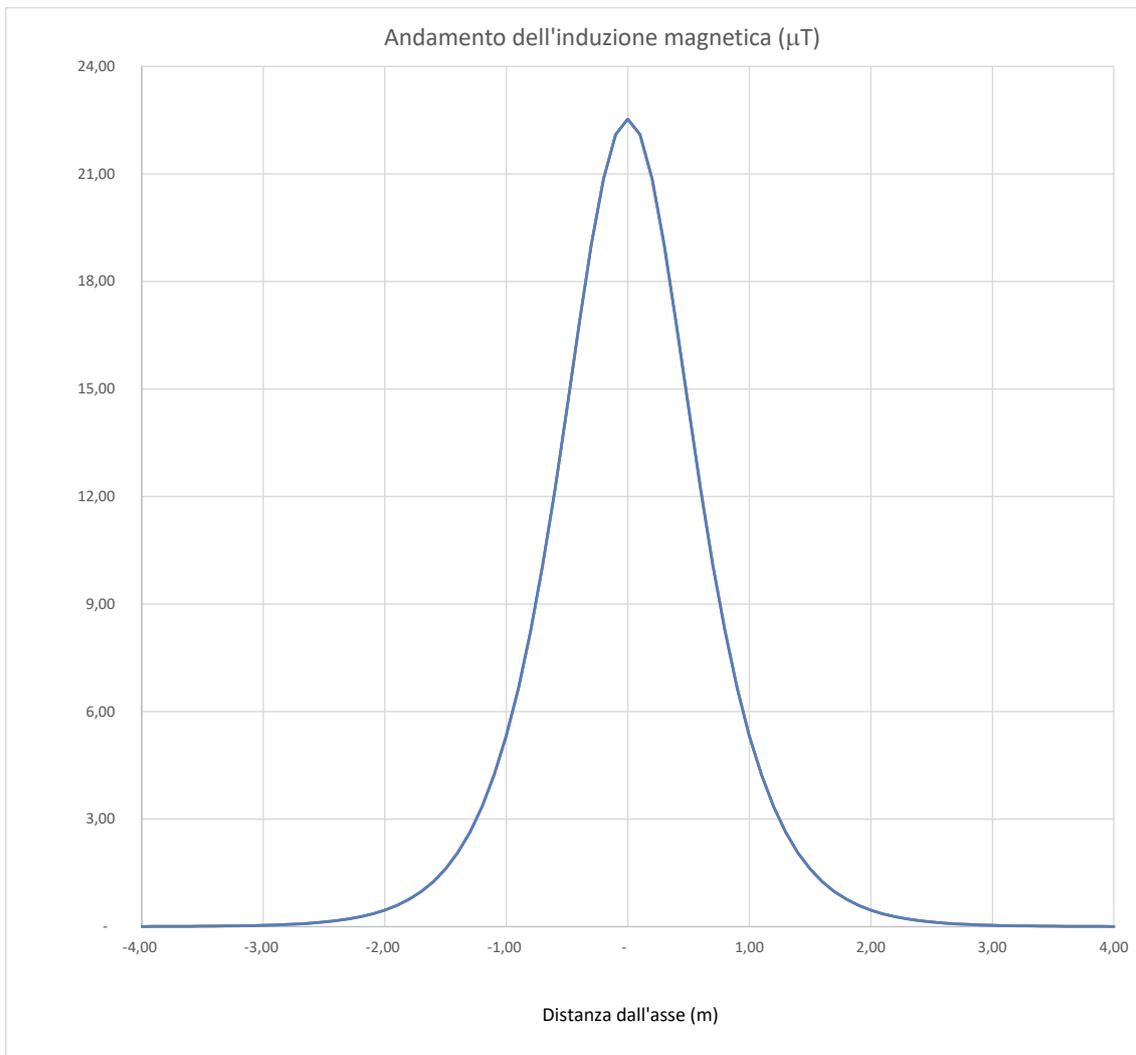


Figura 5.2 _ Andamento dell'induzione magnetica al suolo prodotta dalla linea in cavo a 380 kV da 630 mm², posata a -1m

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 poco oltre 1m, a cavallo dell'asse del cavidotto.

5.2 Stazione di utenza offshore 66/380 kV

L'impianto sarà progettato e costruito in modo da rispettare i valori di campo elettrico e magnetico, previsti dalla normativa statale vigente (Legge 36/2001 e D.P.C.M. 08/07/2003). Si rileva che nella stazione, che sarà normalmente esercitata in teleconduzione, non è prevista la presenza di personale se non per interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria.

Data la standardizzazione dei componenti e della disposizione geometrica, si può affermare che i campi elettrici e magnetici esternamente all'area di stazione sono riconducibili ai valori generati dalle linee entranti e quindi l'impatto determinato dalla stazione stessa è compatibile con i valori prescritti dalla vigente normativa.

6 CALCOLO CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLA PARTE TERRESTRE

6.1 Elettrodotto a 380 kV in cavo interrato in corrente alternata

Ciascun cavo d'energia a 380 kV sarà costituito da un conduttore in rame compatto di sezione indicativa pari a circa 630 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 grafitatura esterna.

DATI TECNICI DEL CAVO

Tipo di conduttore	Unipolare in XLPE (polietilene reticolato)
Sezione	630 mm ²
Materiale del conduttore	Unipolare in rame
Schermo semiconduttore interno	A base di polietilene drogato
Materiale isolamento	Polietilene reticolato
Schermo semiconduttore esterno (sull'isolante)	A base di polietilene drogato
Materiale della guaina metallica	Rame corrugato
Materiale della blindatura in guaina anticorrosiva	Polietilene, con grafite refrigerante (opzionale)
Materiale della guaina esterna	Polietilene
Tensione di isolamento	380 kV

Tali dati potranno subire adattamenti comunque non essenziali dovuti alla successiva fase di progettazione esecutiva e di cantierizzazione, anche in funzione delle soluzioni tecnologiche adottate dai fornitori e/o appaltatori.

DATI CONDIZIONI DI POSA E DI INSTALLAZIONE

Posa	Interrata in letto di sabbia a bassa resistività termica o letto di cemento magro h 0,50 m
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 o in Piano
Tipologia di riempimento dello scavo	In sede stradale: secondo disposizioni degli enti proprietari delle strade interessate. Furori da sede stradale: terreno vegetale
Profondità del riempimento	Minimo 1,10 m
Copertura con piastre di protezione in C.A.	spessore minimo 6 cm
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 1,6 m, con un valore di corrente pari a 740 A, dove la configurazione dell'elettrodotto è quella in assenza di schermature, con il campo magnetico calcolato al suolo.

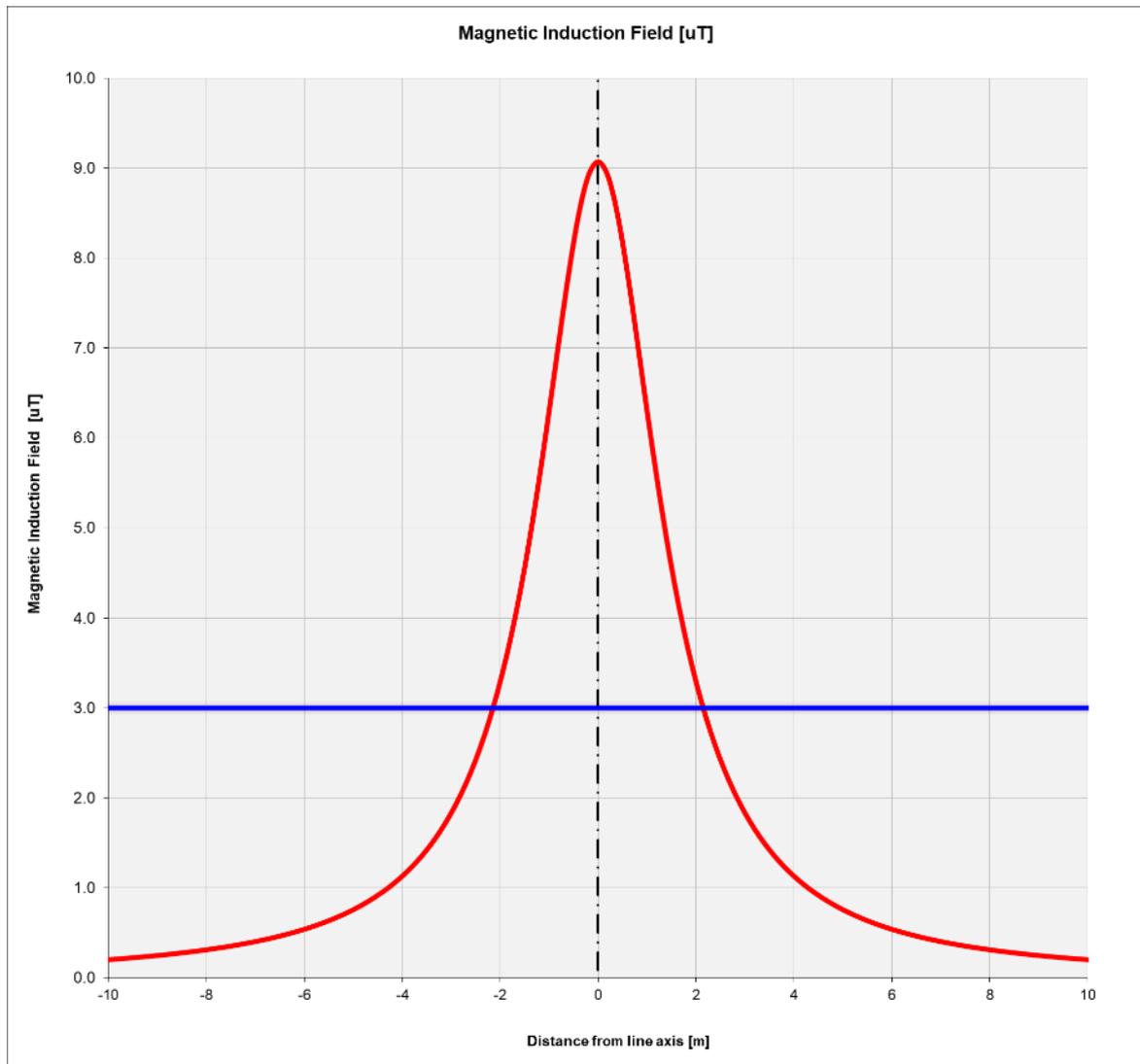


Figura 6.1 _ Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo AT

Il limite di 3 μT si raggiunge nel caso peggiore ad una distanza dall'asse linea di circa 1 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.

Con riferimento alle figure sotto riportate, si ottengono i seguenti valori di DPA, riferiti all'asse dello scavo:

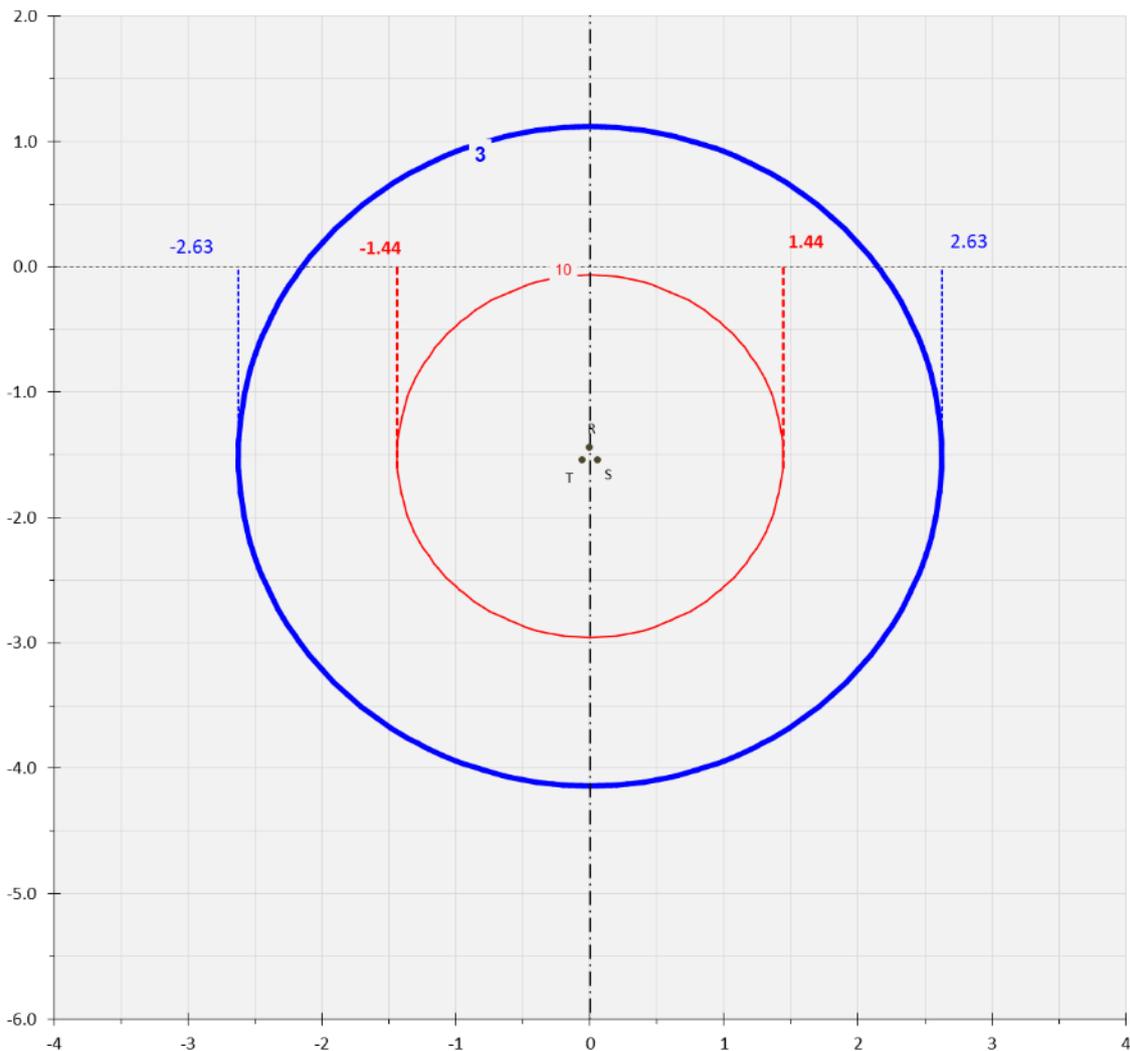


Figura 6.2 _ Curve di isolivello dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo AT a 380 kV con posa a trifoglio

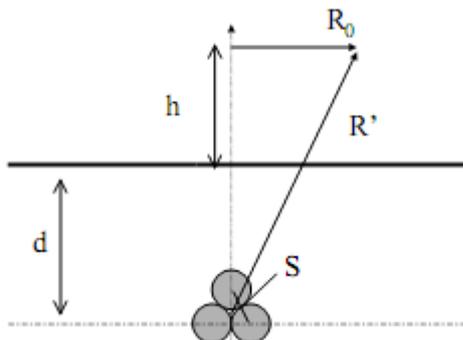
Un'ulteriore verifica può essere eseguita secondo quanto riportato nel DM del MATTM del 29.05.2008, il calcolo delle fasce di rispetto può essere effettuato usando le formule della norma CEI 106-11, che prevedono l'applicazione dei modelli semplificati della norma CEI 211-4.

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 $3 \mu\text{T}$.

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:

$$S = 0.114 \text{ m}$$

$$I = 740 \text{ A}$$

Si ottiene:

$$R' = 2,62 \text{ m}$$

Approssimando per eccesso la **DPA risulta pari a 3m**.

6.1.1 Buche giunti

Di seguito si riporta il calcolo delle Distanza di Prima Approssimazione per le buche giunti, necessarie per la giunzione di due tratte di cavo, normalmente della lunghezza di 500/600 m.

Le dimensioni di una buca giunti sono di circa 8 m x 2,5 m, come rappresentato nella seguente figura.

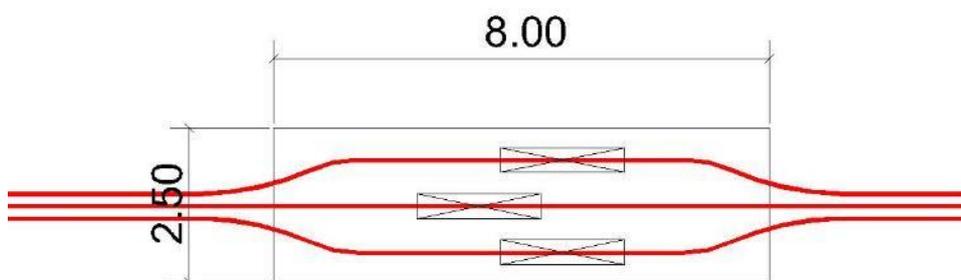
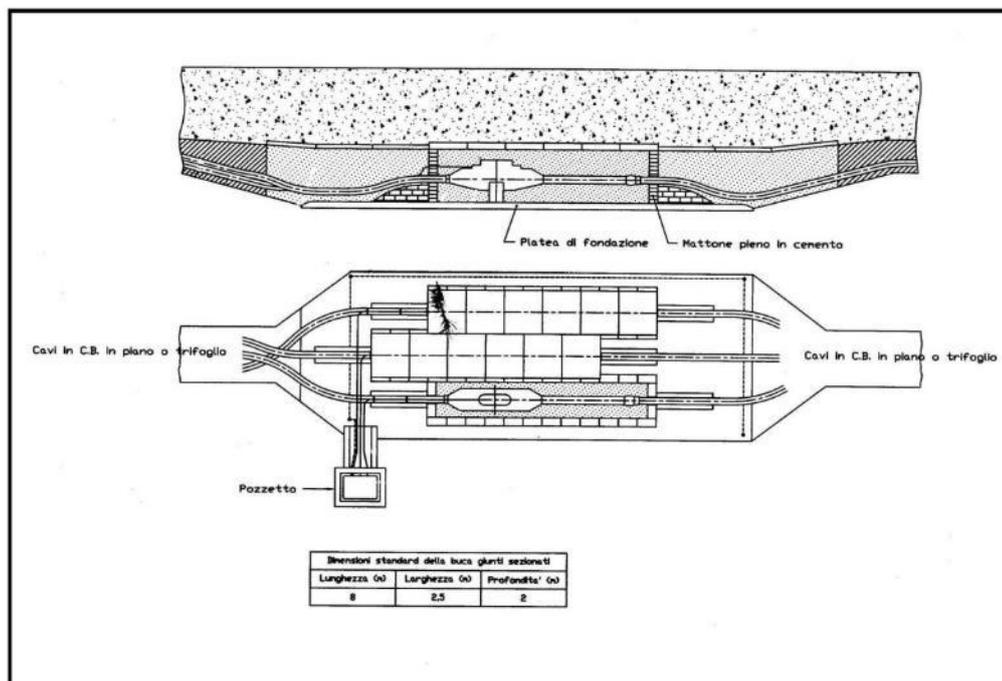


Figura 6.3 _ Schema planimetrico buca giunti

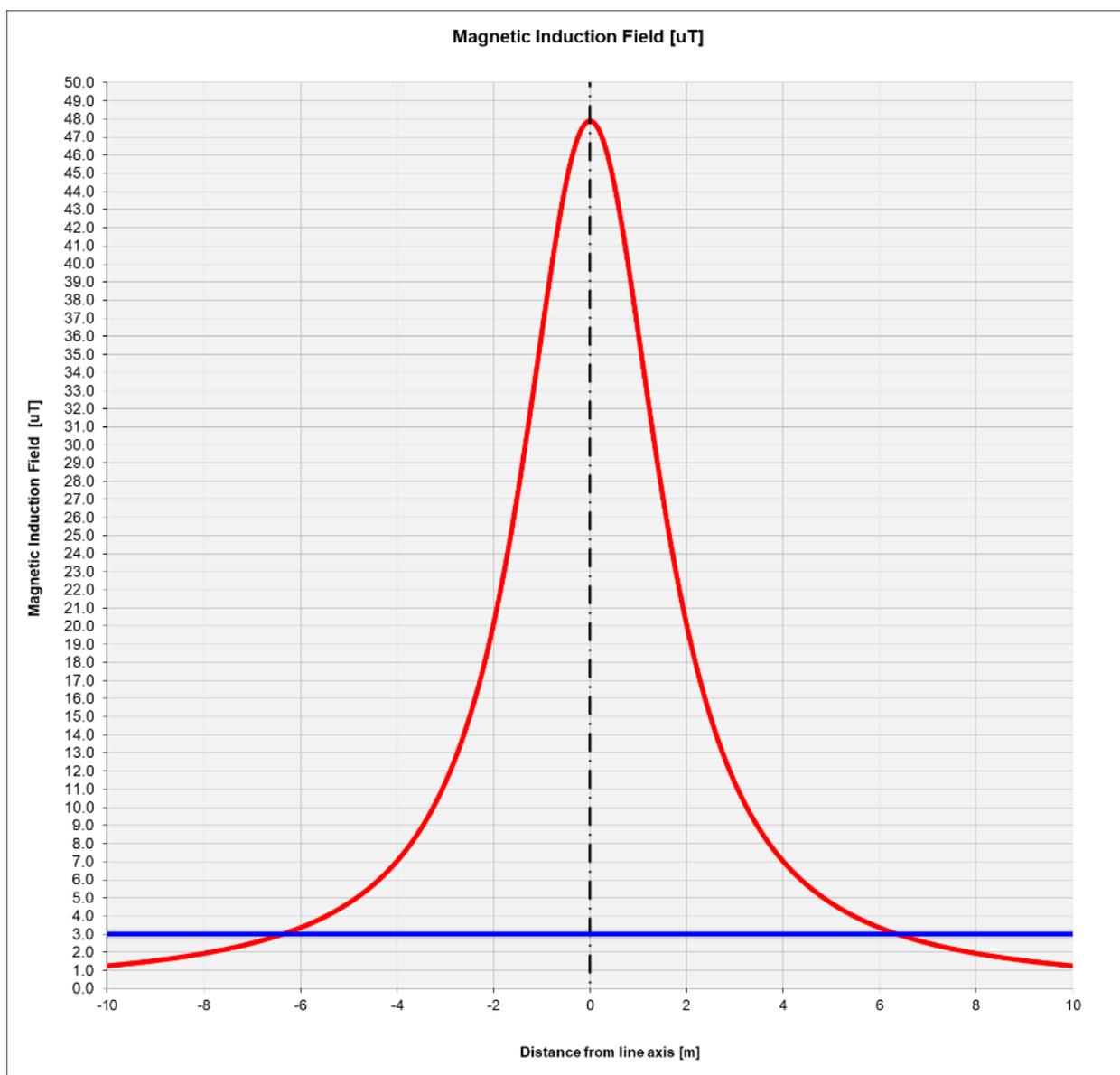


Figura 6.4 _ Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo AT in corrispondenza della buca giunti

Il limite di 3 μ T si raggiunge ad una distanza dall'asse della buca giunti di circa 6,5 m.

Le DPA, in corrispondenza di questo tipo di buca per la giunzione, risultano essere di circa **7,00** metri dall'asse della linea in cavo interrato, come riportato nelle figure seguenti.

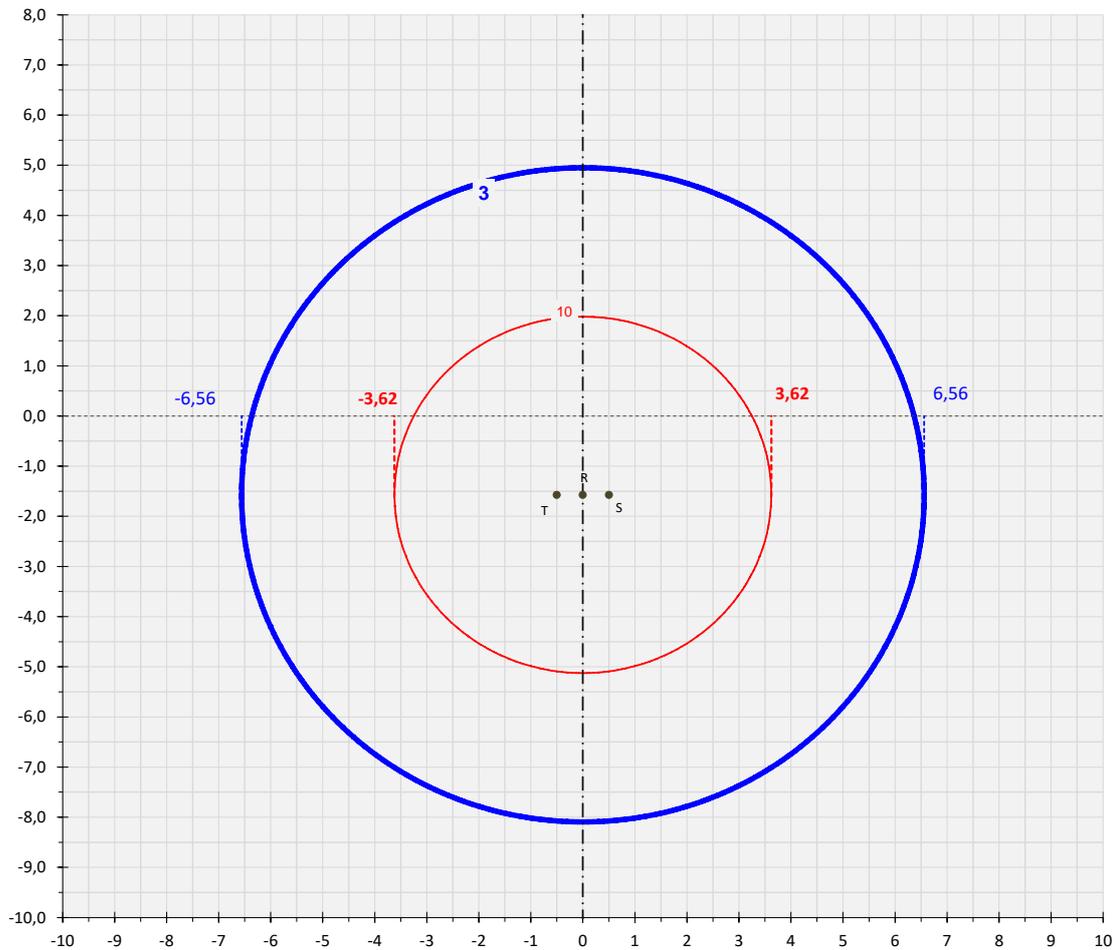


Figura 6.5 _ Curve di isolivello dell'induzione magnetica linea in cavo AT in corrispondenza della buca giunti

6.1.2 Considerazioni sulla ulteriore mitigazione dei cem indotti

Come visto dal calcolo le emissioni del campo di induzione magnetica della linea considerata sono sempre molto contenute e tali da consentire di rispettare i limiti di legge in ogni condizione di funzionamento.

In ogni caso, in alcuni tratti ritenuti maggiormente sensibili (ad es. i tratti in corrispondenza di scuole o asili, ecc.) il progetto prevede l'adozione di sistemi passivi di schermatura della linea interrata e delle buche giunti (che rappresentano i punti dove la dpa calcolata assume i valori maggiori). Questi sistemi consentono di ridurre il campo di induzione magnetica a valori circa 10 volte inferiori a quelli in assenza di schermatura, come dimostrano alcune installazioni effettuate in ambienti urbani da parte di TERNA.

Le tecniche più comuni sono quelle di installazione di loop passivi, che sfruttano le leggi della fisica elettromagnetica, provocando all'interno dei loop una forza elettromotrice indotta che contrasta il campo che l'ha generata, ottenendo un effetto di riduzione del campo magnetico al di fuori del loop; o l'uso di materiali schermanti che contengono il campo di induzione magnetica (canali schermanti).

In questo caso si può assumere che i valori della DPA tendano ad essere comparabili all'ingombro stesso del cavidotto, e quindi estremamente contenuti.



Figura 6.6 _esempio di installazione di loop passivi in corrispondenza della buca giunti



Figura 6.7 _ esempio di installazione buca giunti in canale schermante



Figura 6.8 _ esempio di installazione di loop passivi in corrispondenza dei cavi AT



Figura 6.9 _ esempio di installazione cavi AT in canale schermante

6.2 Stazione di transizione aereo-cavo a 380 kV

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 380 kV con valori attorno a qualche kV/m, ma si riducono a meno di 1 kV/m a ca. 20 m di distanza da queste ultime, come rappresentato nella seguente figura.

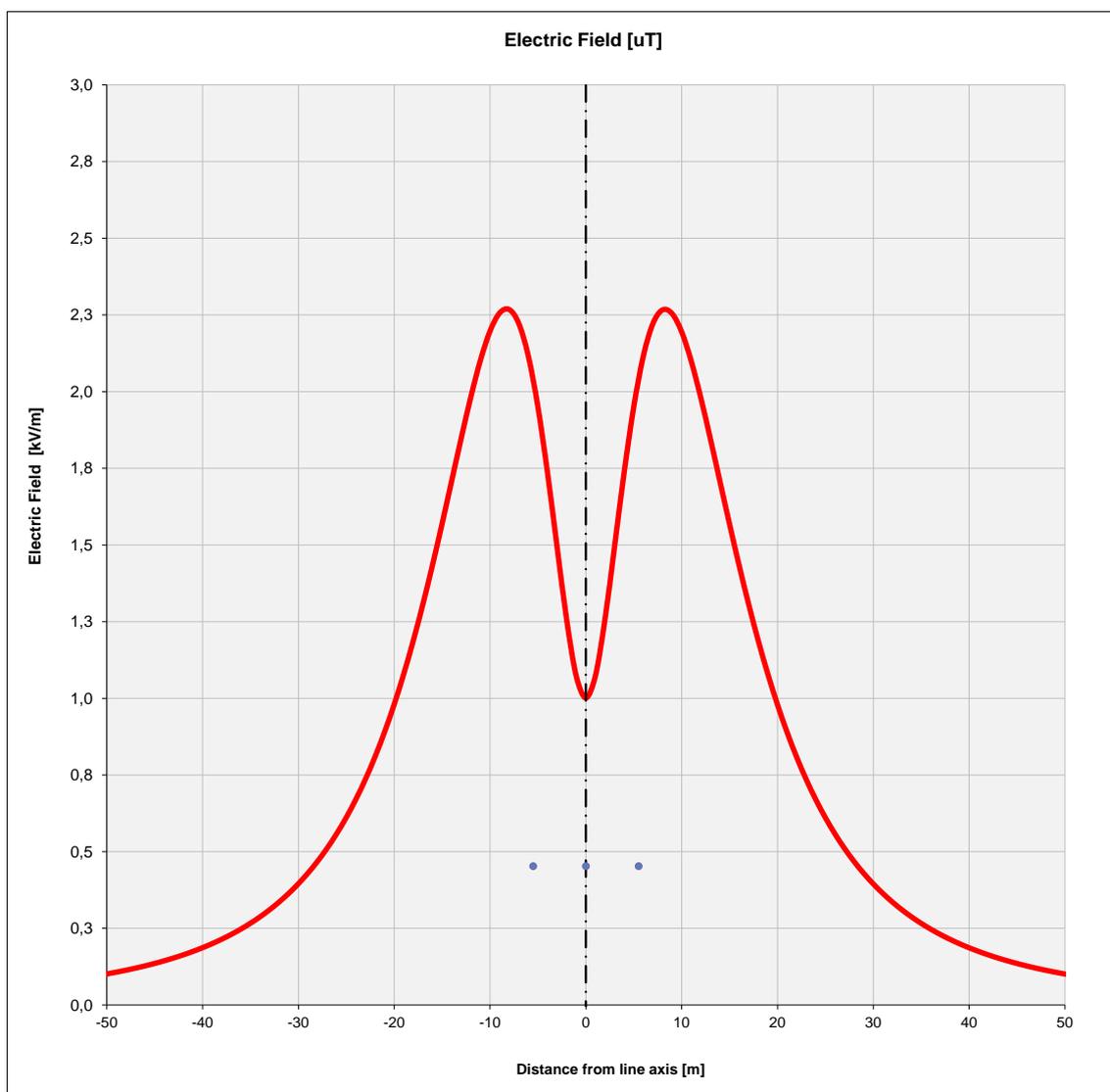


Figura 6.10 _ Andamento del campo elettrico totale sbarre a 380 kV

I valori di campo magnetico al suolo sono massimi nelle stesse zone di cui sopra ed in corrispondenza delle via 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 μT 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.

A titolo orientativo nel seguito si riporta il profilo di campo magnetico dovuto ad un sistema trifase con caratteristiche e disposizione dei conduttori analoghe a quelle dei condotti sbarre presenti in stazione. Considerando una corrente massima di 2000 A (pari alla corrente massima sopportabile dalle sbarre stesse), condizione estremamente cautelativa rispetto alla massima corrente reale, si ha un andamento di campo magnetico come riportato nella figura seguente.

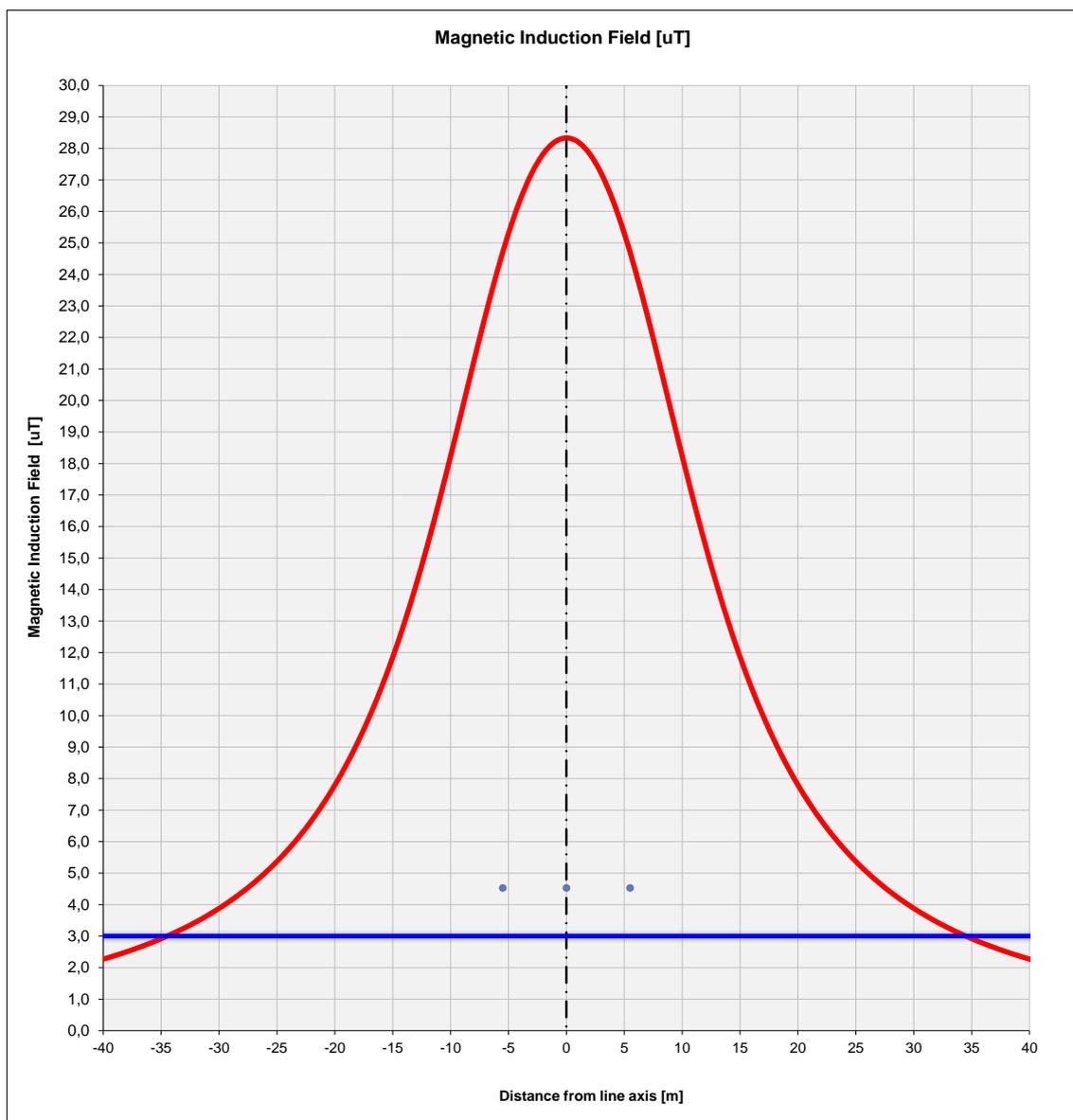


Figura 6.11 _ Andamento del campo di induzione magnetica per I = 2000 A

Si può notare che ad una distanza di circa 35 m dall'asse del sistema di sbarre l'induzione magnetico è inferiore al valore di 3 μ t.

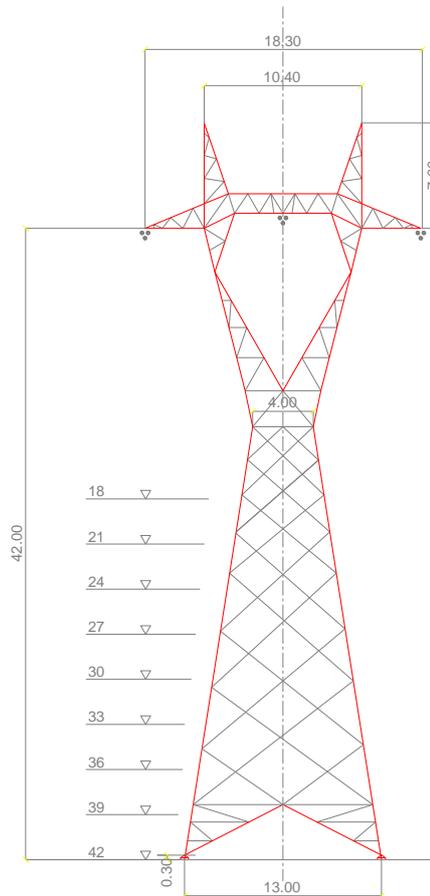
Data la localizzazione della stazione non si rilevano recettori sensibili a distanze inferiori a quella sopra calcolata.

6.3 Elettrodotto aereo a 380 kV in corrente alternata

La stazione di transizione aereo-cavo è collegata alla stazione di rete 150/380 kV "S. Martino in Venti" mediante linea trifase in cavo aereo a 380 kV, della lunghezza di circa 450 m, costituita da un fascio di 2 conduttori (binato) collegati fra loro da distanziatori. Ciascun conduttore di energia sarà costituito da una corda di alluminio-acciaio della sezione complessiva di 585,3 mm² composta da n. 19 fili di acciaio del diametro 2,10 mm e da n. 54 fili di alluminio del diametro di 3,50 mm, con un diametro complessivo di 31,50 mm. Nelle campate comprese tra i sostegni capolinea ed i portali della stazione elettrica ciascuna fase sarà costituita da un fascio di 2 conduttori collegati fra loro da distanziatori (fascio binato). I conduttori di energia saranno in corda di alluminio di sezione complessiva di 999.70 mm², composti da n. 91 fili di alluminio del diametro di 3.74 mm, con un diametro complessivo di 41.1 mm.

La linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico ed un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale alla corrente che vi circola. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza, come riportato nei grafici seguenti.

A titolo di esempio si riporta l'andamento dell'induzione magnetica lungo il tracciato generata da una linea a 380 kV, considerando un sostegno di tipo C a semplice terna con disposizione dei conduttori in piano e fasi ottimizzate.



Le condizioni di carico che sono presentate sono quelle della norma CEI 11-60, per la zona A e la zona B nel periodo freddo e nel periodo caldo, come indicato nella seguente tabella

TENSIONE NOMINALE	PORTATA IN CORRENTE (A) DEL CONDUTTORE SECONDO CEI 11-60			
	ZONA A		ZONA B	
	PERIODO C	PERIODO F	PERIODO C	PERIODO F
380 kV	740	985	680	770

L'elettrodotto in esame si trova in zona B ed è equipaggiato con due conduttori per fase, pertanto la corrente massima di riferimento per il calcolo è pari a **1540 A**.

Come si nota le condizioni utilizzate per i calcoli sono conservative rispetto al valore di corrente di normale utilizzo.

Per il calcolo è stato utilizzato un programma apposito sviluppato in conformità alla norma CEI 211-4; i calcoli dei campi elettrico e magnetico sono stati eseguiti secondo quanto disposto dal D.P.C.M. 08/07/2003.

I valori esposti si intendono calcolati ad una distanza di 1,5 metri dal suolo.

Per il calcolo delle intensità dei campi elettrico e magnetico si è considerata un'altezza minima dei conduttori dal suolo pari a 21 m, come da progetto della linea. I conduttori sono ancorati ai sostegni, come da disegno schematico riportato nella figura precedente. Tra due sostegni consecutivi il conduttore si dispone secondo una catenaria, per cui la sua altezza dal suolo è sempre maggiore del valore preso a riferimento, tranne che nel punto di vertice della catenaria stessa. Anche per tale ragione l'ipotesi di calcolo assunta risulta conservativa.

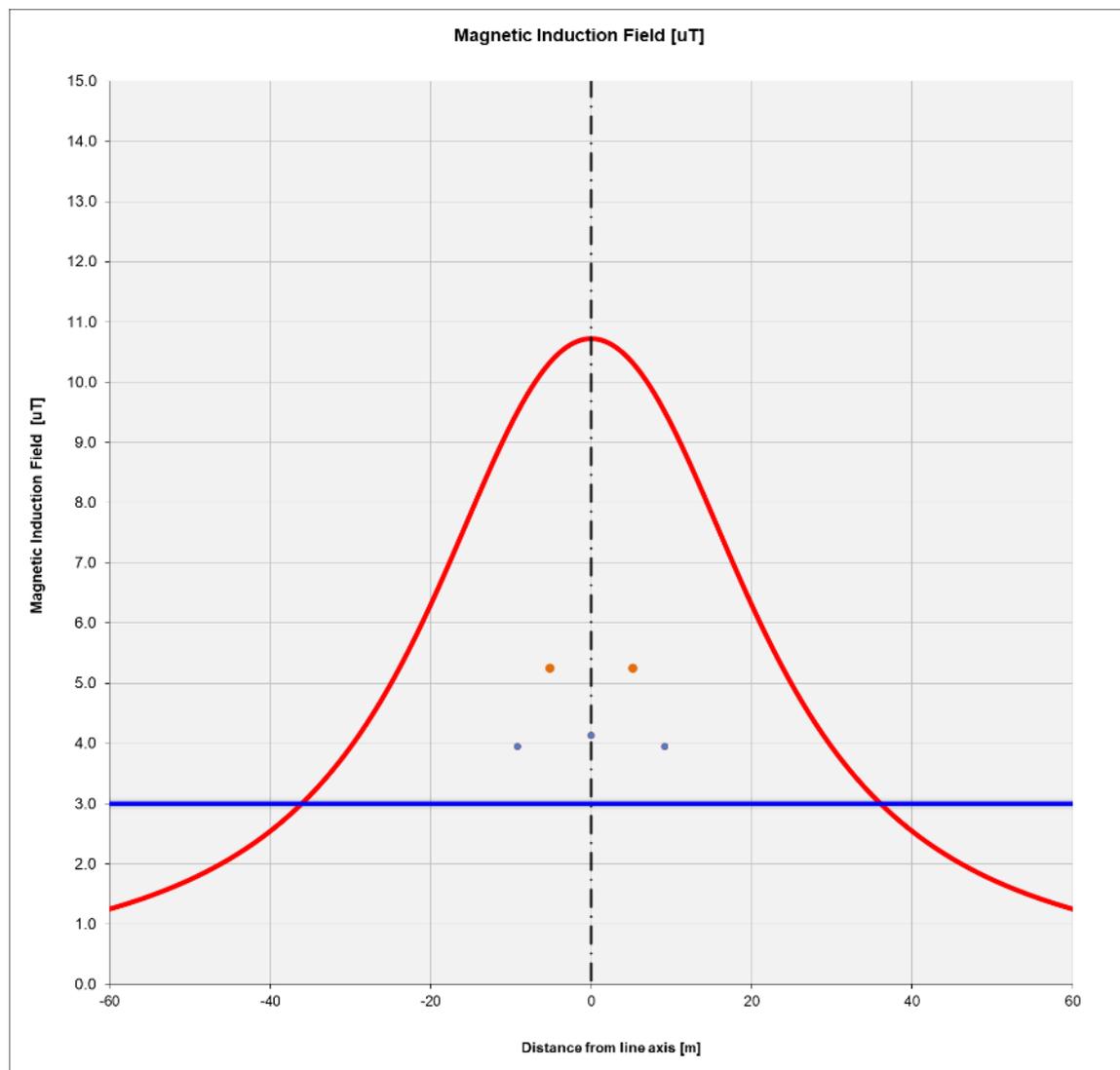


Figura 6.12 _ Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea aerea AT calcolata ad 1,5m dal suolo

Come si vede dal grafico nei casi di carico previsti dalla norma CEI 11-60 e con le geometrie sopra indicate si raggiunge l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ intorno ai 38 metri dall'asse linea.

Dalle valutazioni su esposte, considerate le distanze delle abitazioni e dei luoghi destinati a permanenza prolungata della popolazione dell'elettrodotto in progetto, si dimostra ovunque il rispetto con margine dei limiti di esposizione stabiliti dalla normativa vigente.

Di seguito è riportato il calcolo del campo elettrico generato dalla linea 380 kV semplice terna presa in considerazione:

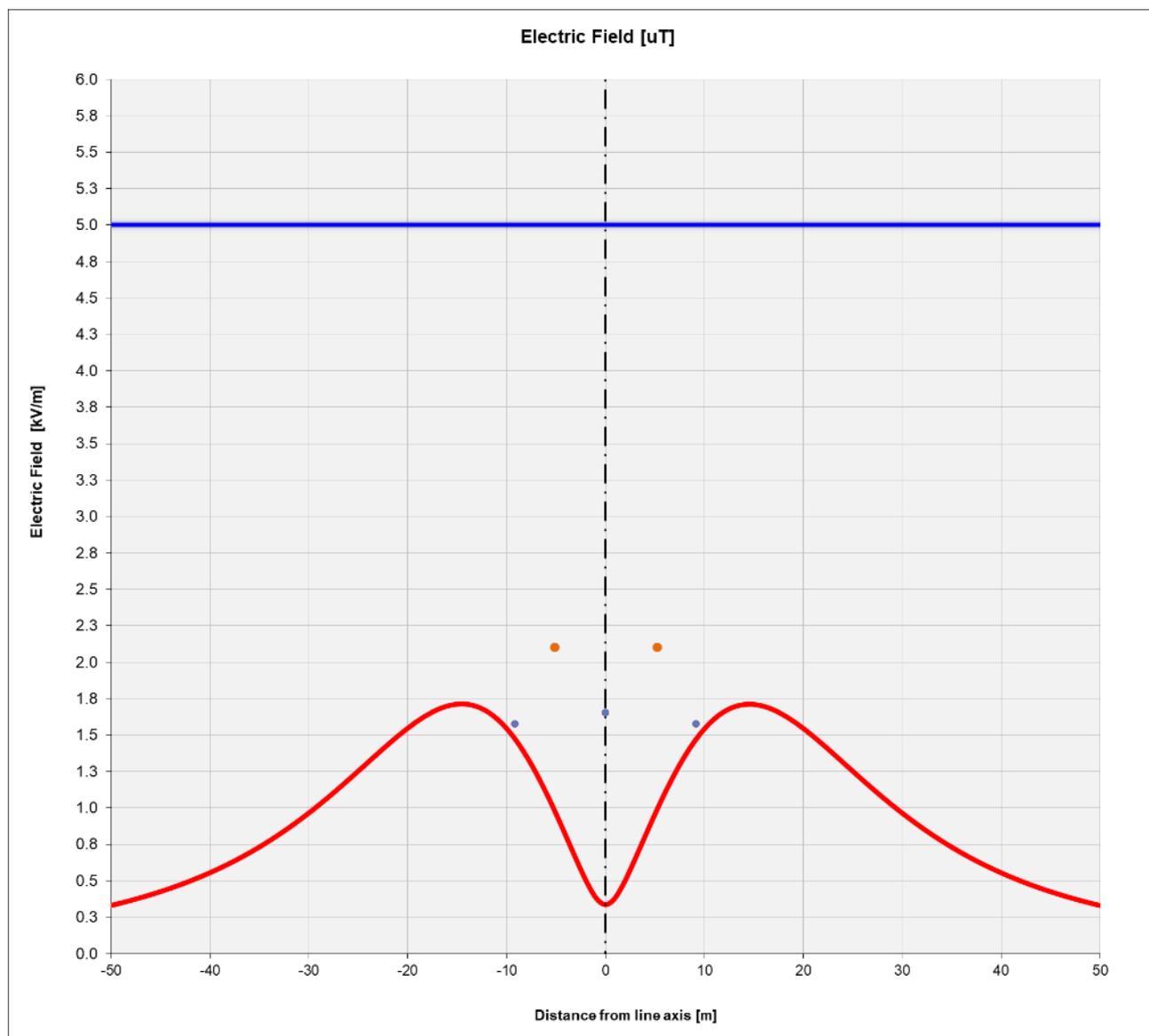


Figura 6.13 _ Andamento del campo elettrico prodotto dalla linea aerea AT

Come si vede i valori di campo elettrico sono sempre inferiori al limite di 5 kV/m imposto dalla normativa.

Per quanto riguarda il calcolo della DPA, essa si può ricavare dal grafico di figura seguente.

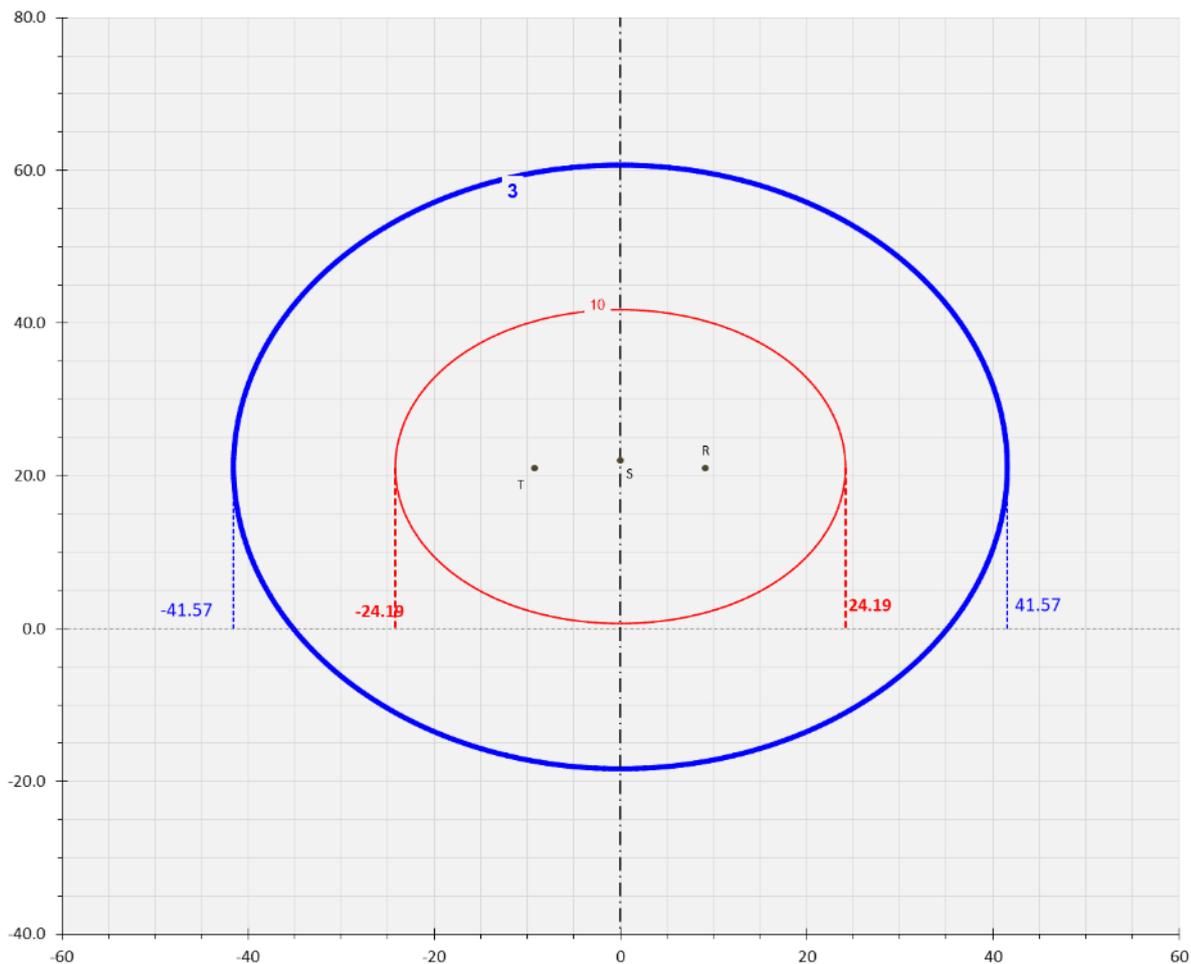


Figura 6.14 _ Andamento del campo elettrico prodotto dalla linea aerea AT

Si può quindi concludere che la DPA in questo caso è pari a **42 m**, considerando gli arrotondamenti.

7 Riepilogo dei risultati

Si riporta di seguito il riepilogo dei risultati del calcolo dei cem indotti dalle opere di connessione dell'impianto eolico, ed in particolare dei valori di DPA calcolati per le singole sezioni di impianto.

Valori DPA calcolati (m)	Linea in cavo interrato		Linea aerea
	66 kV	380 kV	380 kV
Tratta Marina	<1	<1	-
Tratta Terrestre	-	3-7(*)	42

(*) il valore maggiore si riferisce alla DPA della buca giunti

8 Campi elettromagnetici per l'ampliamento stazione TERNA esistente

La figura seguente mostra la planimetria di una tipica stazione di trasformazione 380/132 kV all'interno della quale è stata effettuata una serie di misure di campo elettrico e magnetico al suolo.

Nella stessa figura si fornisce l'indicazione delle principali distanze fase – terra e fase – fase, nonché la tensione sulle sbarre e le correnti nelle varie linee confluenti nella stazione, registrate durante l'esecuzione delle misure. Sono inoltre evidenziate le aree all'interno delle quali sono state effettuate le misure; in particolare, sono evidenziate le zone ove i campi sono stati rilevati per punti utilizzando strumenti portabili (aree A, B, C, e D), mentre sono contrassegnate in tratteggio le vie di transito lungo le quali la misura dei campi è stata effettuata con un'opportuna unità mobile (furgone completamente attrezzato per misurare e registrare con continuità i campi).

Va sottolineato che, grazie alla modularità degli impianti della stazione, i risultati delle misure effettuate nelle aree suddette, sono sufficienti a caratterizzare in modo abbastanza dettagliato tutte le aree interne alla stazione stessa, con particolare attenzione per le zone di più probabile accesso da parte del personale.

Nella Tabella 8.1 è riportata una sintesi dei risultati delle misure di campo elettrico e magnetico effettuate nelle aree A, B, C e D.

Per quanto riguarda le registrazioni effettuate con l'unità mobile, la Figura 8.2 illustra i profili del campo elettrico e di quello magnetico rilevati lungo il percorso n. 1, quello cioè che interessa prevalentemente la parte a 380 kV della stazione. I valori massimi di campo elettrico e magnetico si riscontrano in prossimità degli ingressi linea a 380 kV. I valori del campo elettrico e di quello magnetico riscontrati al suolo all'interno delle aree di stazione sono risultati compatibili con i limiti di legge.

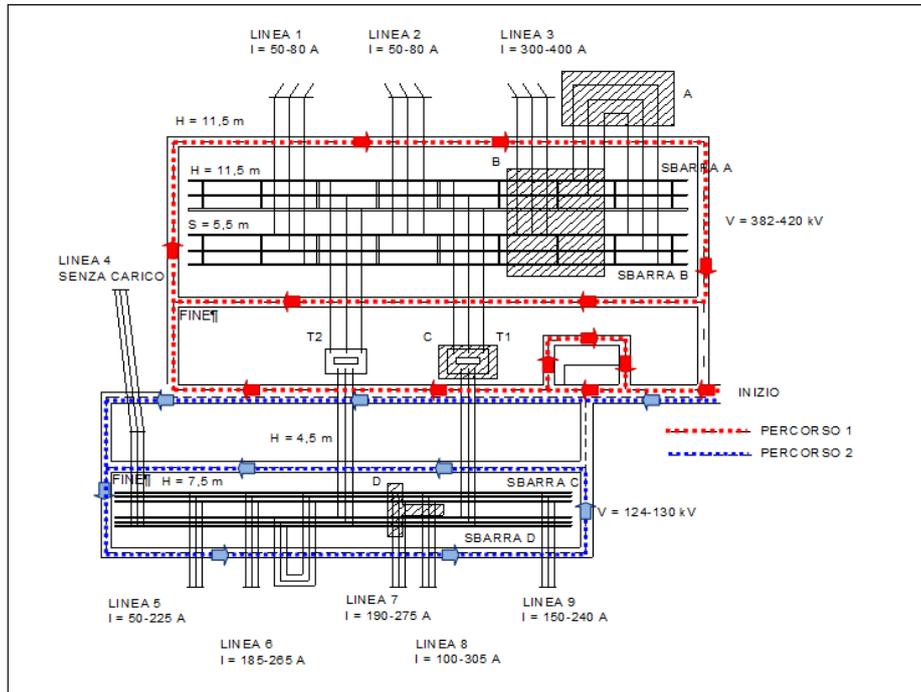


Figura 8.1 _ Pianta di una tipica stazione 380/132 kV con l'indicazione delle principali distanze fase-fase (S) e fase-terra (H) e delle variazioni delle tensioni e delle correnti durante le fasi di misurazioni di campo elettrico e magnetico.

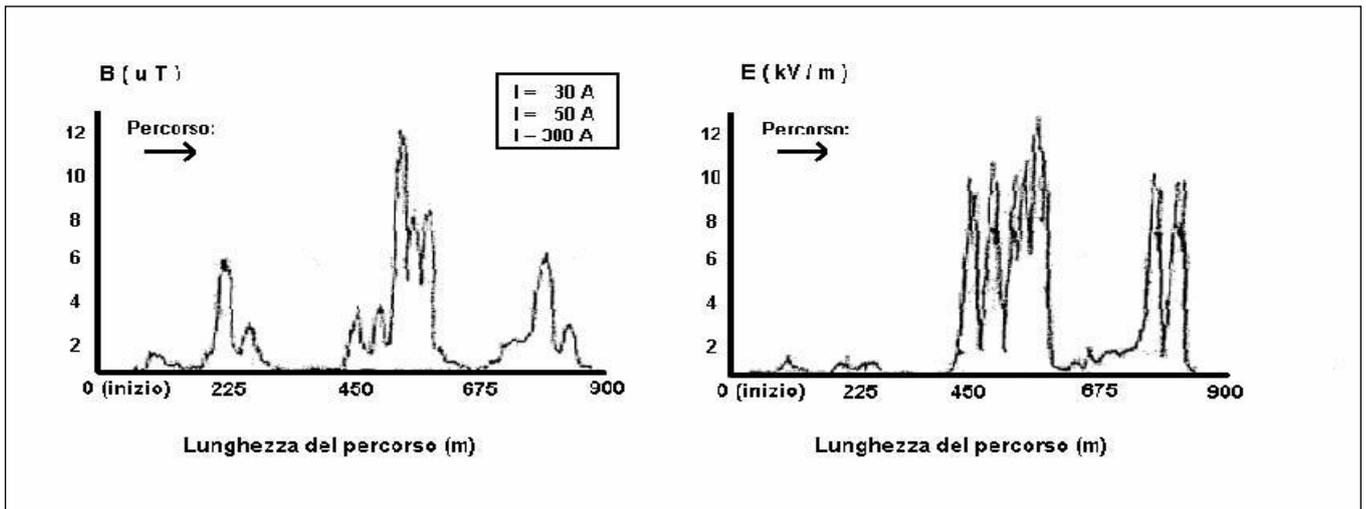


Figura 8.2 _ Risultati della misura dei campi elettrici e magnetici effettuate lungo le vie interne della sezione a 380 kV della stazione riportata in figura 8.1

Area	Numero di punti di misura	Campo Elettrico (kV/m)			Induzione Magnetica (μT)		
		E max	E min	E medio	B min	B max	B medio
A	93	11,7	5,7	8,42	8,37	2,93	6,05
B	249	12,5	0,1	4,97	10,22	0,73	3,38
C	26	3,5	0,1	1,13	9,31	2,87	5,28
D	19	3,1	1,2	1,96	15,15	3,96	10,17

Tabella 8.1_ Risultati della misura del campo elettrico e del campo di induzione magnetica nelle aree A, B, C, e D riportate in Figura 8.1