



PROGETTO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN
IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 92,4 MW
DENOMINATO "MONTESECCO" DA REALIZZARSI NEI
COMUNI DI SERRACAPRIOLA E CHIEUTI (FG) CON LE
RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ELETTRICHE

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

Rev. 01

Data: Dicembre 2023

QQR-WIND-025.REL005b

Committente:

Repsol Montepuccio 1 S.r.l.

via Michele Mercati n. 39

00197 Roma (RM)

C. F. e P. IVA: 17293391003

PEC: repsolMontesecco1@pec.it

Progetto e sviluppo:

Queequeg Renewables, ltd

2nd Floor, the Works,

14 Turnham Green Terrace Mews,

W41QU London (UK)

Company number: 11780524

email: mail@quren.co.uk

SOMMARIO

1. GENERALITÀ	3
1.1 Descrizione del progetto.....	3
1.1 Tipo e ubicazione dell'immobile	3
1.2 Caratteristiche generali	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3. FONTI DI EMISSIONE.....	6
3.1 Elettrodotto 36 KV	6
3.2 Aerogeneratori	8
3.3 Cabina di raccolta	10
4. VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO	10
4.1 Valori limite del campo magnetico	11
4.2 Valori limite del campo elettrico.....	11
5. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI.....	12
5.1 Elettrodotti con cavo ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare cordato ad elica visibile.....	12
5.2 ELETTRODOTTI CON CAVO ARE4H5E 20,8/36KV UNIPOLARE	13
6. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI AEROGENERATORI.....	13
7. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALLA CABINA DI RACCOLTA 36 kV.....	14
8. CONCLUSIONI.	14
8.1 – Elettrodotti 36 KV	14
8.2 – Aerogeneratore	14
8.3 – Cabina 36 KV/AT utente (SSEU).	15
9. DOCUMENTO DI VALIDAZIONE SOFTWARE DI CALCOLO.	16

1. GENERALITÀ

1.1 Descrizione del progetto

La presente relazione descrittiva riguarda la valutazione dei campi elettromagnetici (radiazioni non ionizzanti) relativi all'impianto elettrico interno, dal sito di produzione fino al punto di consegna dell'energia, di un parco eolico costituito da n. 14 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno, per una potenza totale di 92,4 MW. Il parco eolico è denominato "Montesecco".

L'impianto sarà del tipo grid-connected e l'energia elettrica prodotta sarà riversata completamente in rete, salvo gli autoconsumi di centrale. La connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) avverrà direttamente a 36 kV mediante collegamento in antenna alla nuova stazione elettrica di Terna S.p.A. A bordo impianto eolico sarà realizzata, a cura del Produttore, una nuova cabina di raccolta che conterrà i quadro a 36 kV dai quali partirà la linea di connessione tra il parco eolico e la SE di Terna.

Il progetto è redatto secondo le norme CEI ed in conformità a quanto indicato nelle prescrizioni di Terna S.p.A.

1.1 Tipo e ubicazione dell'immobile

L'impianto eolico è situato in località "Montesecco" in agro del Comune di Serracapriola e Chieuti (FG). L'intero parco eolico è situato all'interno del territorio comunale di Serracapriola e Chieuti (FG). La linea elettrica 36 KV a 36 kV interrata, che connette il sito di produzione alla Sottostazione Elettrica Utente (SSEU), si sviluppa nei Comuni di Serracapriola e Chieuti entrambi in Provincia di Foggia. La Sottostazione Elettrica Utente si trova nel comune di Serracapriola e Chieuti (SS).

1.2 Caratteristiche generali

Si prevede l'installazione di n. 14 aerogeneratori con potenza nominale di 6,6 MW ciascuno per una potenza nominale totale di 92,4 MW.

L'impianto è suddiviso in 4 sottocampi secondo il seguente schema:

- Sottocampo 1
 - Aerogeneratore WTG-A
 - Aerogeneratore WTG-B
 - Aerogeneratore WTG-E
- Sottocampo 2
 - Aerogeneratore WTG-C
 - Aerogeneratore WTG-D
 - Aerogeneratore WTG-F
- Sottocampo 3
 - Aerogeneratore WTG-G
 - Aerogeneratore WTG-M
 - Aerogeneratore WTG-L
 - Aerogeneratore WTG-N
- Sottocampo 4

- Aerogeneratore WTG-H
- Aerogeneratore WTG-I
- Aerogeneratore WTG-O
- Aerogeneratore WTG-P

Lo schema di collegamento degli aerogeneratori è riportato sul documento di progetto WIND025.ELB008c.

Ai 4 sottocampi corrispondono **4 linee 36 kV in cavo unipolare ARE4H5E 20,8/36KV** interrato che collegano l'impianto allo stallo a 36 kV della SE Terna.

All'interno di ciascun sottocampo, gli aerogeneratori sono collegati tra loro, con distribuzione radiale, mediante **linee a 36 kV in cavo ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato** interrato.

Ciascun aerogeneratore contiene al suo interno:

- Un alternatore asincrono da 6,6 MW nominali posto nella navicella a 134 metri di altezza;
- Un trasformatore 0,69/36 kV da 7 MVA posto anch'esso nella navicella;
- Un quadro 36 KV dislocato alla base della torre;
- Quadro BT di potenza dislocato nella navicella;
- Quadro BT ausiliari alla base della torre.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel presente progetto si è fatto riferimento, tra l'altro, alla seguente normativa:

- Regio Decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 "Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici;
- Legge 23 luglio 2009, n°99, "Disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia";
- Decreto del 27/02/09 , Ministero della Sviluppo Economico;
- Decreto del 29/05/08, "Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica";
- DM del 29.5.2008, "Approvazione della metodologia di calcolo delle fasce di rispetto per gli elettrodotti";
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 08/07/2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti", G.U. 28 agosto 2003, n. 200;
- Legge quadro 22/02/2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", G.U. 7 marzo 2001, n.55;
- 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";
- Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche";
- Norma CEI 211-6 "Guida per la misura e la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana".
- Norma CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo.

3. FONTI DI EMISSIONE

Le apparecchiature elettromeccaniche previste nella realizzazione del parco eolico in oggetto generano normalmente, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici con radiazioni non ionizzanti.

In particolare, sono da considerarsi come sorgenti di campo elettromagnetico le seguenti componenti del parco:

Linee elettriche a servizio del parco:

- elettrodotto 36 KV di interconnessione fra gli aerogeneratori;
- elettrodotto 36 KV di vettoriamento dell'energia prodotta dal parco eolico verso la cabina di raccolta 36 kV;
- elettrodotto 36 KV di vettoriamento dell'energia prodotta dalla cabina di raccolta 36 kV allo stallo 36 kV della SE di Terna S.p.A.;
- gli aerogeneratori;
- la cabina di raccolta a 36 kV.

Le rimanenti componenti dell'impianto (impianto di illuminazione BT, impianto TVCC e apparecchiature del sistema di controllo) sono state giudicate non significative dal punto di vista delle emissioni elettromagnetiche e, pertanto, non verranno trattate ai fini della valutazione.

Di seguito verrà data una caratterizzazione delle sorgenti appena individuate.

3.1 Elettrodotto 36 KV

Tutti i cavi di cui si farà utilizzo, sia per il collegamento interno dei sottocampi che per la connessione alla SE Terna, saranno delle seguenti tipologie:

- Cavi tripolari con anime disposte ad elica visibile e conduttori in alluminio. Tali cavi saranno utilizzati in posa direttamente interrata per l'interconnessione fra gli aerogeneratori (vedi WIND025.ELB008c e WIND025.ELB010a).
- Cavi unipolari con conduttori in alluminio riuniti in fasci tripolari a trifoglio. Tali cavi saranno utilizzati in posa direttamente interrata per il vettoriamento dell'energia prodotta dal parco eolico verso la SE Terna (vedi WIND025.ELB008c e WIND025.ELB010a).

L'isolante dei cavi è costituito da miscela in elastomero termoplastico HPTE, e fra esso e il conduttore è interposto uno strato di miscela estrusa. Il cavo presenta uno schermo metallico. Sopra lo schermo metallico è presente una guaina protettiva. In generale, per tutte le linee elettriche 36 kV, si prevede la posa direttamente interrata dei cavi ad una profondità di 1,50 m dal piano di calpestio. Nel progetto in esame è stata ipotizzata l'utilizzazione di cavi 36 KV già dotati di protezione meccanica; questo cavo consente di evitare la posa di una protezione meccanica supplementare (Norma CEI 11-17 art. 4.3.11

lettera b). In fase esecutiva potrà essere comunque utilizzato un cavo senza armatura a patto di inserire, nella sezione di scavo, una protezione meccanica supplementare (Norma CEI 11-17 - posa tipo M).

L'elettrodotto utente a 36 kV sarà interamente interrato. Lungo il percorso dell'elettrodotto sono presenti Fiumi Torrenti e corsi d'acqua (art. 142 D.Lgs. 42/04) censiti aree non idonee nel Regolamento 24/2010 (R.R. 24/2010). E' inoltre previsto l'attraversamento della Strada Provinciale Chieuti-Serracapriola SS16ter. Per tutte le suddette intersezioni della linea 36 kV con fumi e strade pubbliche, è previsto l'utilizzo della Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) in luogo dello scavo a cielo aperto.

In caso di particolari attraversamenti o di risoluzione puntuale di interferenze, le modalità di posa saranno modificate in conformità a quanto previsto dalla norma CEI 11-17 e dagli eventuali regolamenti vigenti relativi alle opere interferite, mantenendo comunque un grado di protezione delle linee non inferiore a quanto garantito dalle normali condizioni di posa.

Per il dettaglio dei tipologici di posa, si rimanda all'elaborato QQR-WIND-025.ELB010a - Tracciato elettrodotti (interno) 36 KV.

La tensione di esercizio dei cavi è pari a 36 kV. Le correnti nominali per ciascuna linea sono funzione della potenza vettoriata .

La tabella che segue riporta le tipologie e le formazioni dei cavi 36 KV utilizzati nelle diverse sezioni di impianto (la sigla WTG indica l'aerogeneratore). Tutte le linee in cavo soddisfano la verifica termica prevista dalla normativa vigente, sia per quanto concerne le correnti di cortocircuito che per la tenuta termica dei cavi.

CONNESSIONE ALLA SE TERNA			
Partenza linea	Arrivo Linea	Tipo di cavo	Formazione
STALLO 36 kV SE TERNA	CABINA DI RACCOLTA 36 kV	ARE4H5E 20,8/36KV unipolare a trifoglio	3x(4x1x500) mmq
SOTTOCAMPO 1			
Partenza linea	Arrivo Linea	Tipo di cavo	Formazione
CABINA DI RACCOLTA 36 kV	WTG-A	ARE4H5E 20,8/36KV unipolare a trifoglio	3x(2x1x500) mmq
WTG-A	WTG-B	ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato	1x(3x240) mmq
WTG-A	WTG-E	ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato	1x(3x240) mmq
SOTTOCAMPO 2			
Partenza linea	Arrivo Linea	Tipo di cavo	Formazione
CABINA DI RACCOLTA 36 kV	WTG-F	ARE4H5E 20,8/36KV unipolare a trifoglio	3x(2x1x500) mmq
WTG-F	WTG-C	ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato	1x(3x240) mmq
WTG-F	WTG-D	ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato	1x(3x240) mmq
SOTTOCAMPO 3			
Partenza linea	Arrivo Linea	Tipo di cavo	Formazione
CABINA DI RACCOLTA 36 kV	WTG-M	ARE4H5E 20,8/36KV unipolare a trifoglio	3x(2x1x500) mmq
WTG-M	WTG-L	ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato	1x(3x240) mmq
WTG-M	WTG-N	ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato	1x(3x240) mmq
WTG-M	WTG-G	ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato	1x(3x240) mmq
SOTTOCAMPO 4			
Partenza linea	Arrivo Linea	Tipo di cavo	Formazione
CABINA DI RACCOLTA 36 kV	WTG-I	ARE4H5E 20,8/36KV unipolare a trifoglio	3x(2x1x500) mmq
WTG-I	WTG-H	ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato	1x(3x240) mmq
WTG-I	WTG-O	ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato	1x(3x240) mmq
WTG-I	WTG-P	ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare elicordato	1x(3x240) mmq

3.2 Aerogeneratori

Sono previsti n. 14 aerogeneratori con le seguenti caratteristiche:

Rotore:

Tipo	Asse orizzontale a 3 pale
Posizione	Sopravento
Diametro	172 m
Superficie spazzata	22698 m ²
Regolazione della Potenza	Regolazione del passo e della coppia con velocità variabile
Inclinazione del rotore	6 gradi

Pala:

Tipo	Autoportante
Lunghezza della lama	84,35 m
Cordezza massima	4,5 m
Materiale	G (fibra di vetro) - CRP (plastica rinforzata con carbonio)

Generatore:

Tipo.	Asincrono, DFIG
Potenza nominale di base	6,6 MW
Tensione nominale	690 V
Frequenza	50 Hz

Sistema di imbardata:

Tipo	Attivo
Cuscinetto d'imbardata	Orientato esternamente
Trasmissione di imbardata	Motoriduttori elettrici
Freno di imbardata	Freno ad attrito attivo

Sistema di controllo:

Tipo	Sistema di controllo integrato (ICS)
Sistema SCADA	Sistema SGRE SCADA

Freno aerodinamico:

Tipo	Pitching a campata piena
Attivazione	Idraulica

Freno meccanico:

Tipo	Freno a disco idraulico
Posizione Gearbox	Posteriore

Torre:

Tipo	Tubolare in acciaio
Altezza al mozzo	135 m

Dati operativi

Velocità del vento di Cut-in	3 m/s
Velocità nominale del vento	11,0 m/s (vento costante senza turbolenza, come definito da IEC61400-1)
Velocità del vento Cut-out	25 m/s

In ogni aerogeneratore sono contenute le seguenti apparecchiature elettriche:

- Un alternatore asincrono da 6,6 MW nominali posto nella navicella a 134 metri di altezza;
- Un trasformatore 0,69/36 kV da 7 MVA posto anch'esso nella navicella;
- Un quadro 36 KV dislocato alla base della torre;
- Quadro BT di potenza dislocato nella navicella;
- Quadro BT ausiliari alla base della torre.

Le caratteristiche elettriche dell'alternatore sono:

Parametri nominali e di interfacciamento alla rete:

Potenza nominale.	6600 kW
Tensione nominale.	690V
Correzione del fattore di potenza	Controllato da inverter
Gamma del fattore di potenza	da 0,9 capacitivo a 0,9 induttivo a tensione nominale bilanciata

Generatore:

Tipo	Asincrono a doppia alimentazione
Potenza massima	6760 kW alla temperatura esterna di 30°C
Velocità nominale	1120 giri/min-6p (50Hz)

Protezione:

Classe di isolamento	Statore H/H - Rotore H/H
Rilevamento temperature di avvolgimento	6 sensori Pt 100
Rilevamento temperature dei cuscinetti	3 Pt 100
Rilevamento temperature anelli scorrevoli	1 Pt 100

Raffreddamento:

Sistema di raffreddamento	Raffreddamento ad aria
Ventilazione interna	Aria
Parametri di controllo	Temperature di avvolgimento e dei cuscinetti.

Inverter:

Tipo	4Q carico parziale B2B
Commutazione	PWM
Frequenza di commutazione lato rete	2,5 kHz
Raffreddamento	Liquido / Aria

Protezione del circuito principale:

Protezione da corto circuito	Interruttore automatico
Scaricatore di sovratensione	varistori

Livelli di potenza di picco:

10 min di media	Limitato al nominale
-----------------	----------------------

Specifiche di interfacciamento alla rete:

Frequenza nominale della rete	50 Hz
Tensione minima	85 % del nominale
Tensione massima	113 % del nominale
Frequenza minima	92 % del nominale
Frequenza massima	108 % del nominale
Massimo squilibrio di tensione (sequenza negativa della tensione dei componenti)	≤5 %
Livello massimo di cortocircuito ai morsetti della rete del regolatore (690 V)	82 kA

Consumo di energia da rete (stimato):

In stand-by, senza imbardata	10 kW
In stand-by, imbardata	50 kW

Alimentazione del sistema di controllo:

Sistema di alimentazione	UPS online, batteria Li-Ion
Tempo di back-up	1 min

Specifiche di messa a terra

Sistema di messa a terra	Secondo IEC62305-3 ED 1.0:2010
Ferri di armatura della fondazione	Devono essere collegati ai dispersori
Collegamento HV	Lo schermo del cavo HV deve essere collegato al sistema di messa a terra

Le caratteristiche elettriche del trasformatore sono:

Parametri elettrici:

Potenza nominale	7MVA
Tipo	In olio
Corrente massima	7,23 kA + armoniche alla tensione nominale $\pm 10\%$.
Tensione nominale	30/0,69 kV
Frequenza	50 Hz
Tensione di cortocircuito	6% $\pm 8,3\%$
Perdite (P0 /Pk75°C)	4.77/84.24 kW
Gruppo vettoriale	Dyn11
Standard	IEC 60076 - Direttiva ECO Design

Sistema di monitoraggio:

Sensore di temperatura massima dell'olio	PT100
Sensore di monitoraggio del livello dell'olio	Ingresso digitale
Relè di sovrappressione	Ingresso digitale

Raffreddamento:

Tipo di raffreddamento...	KFAF
Liquido all'interno del trasformatore	Liquido di Classe K
Liquido di raffreddamento allo scambiatore di calore	Glystantin

Sistema di messa a terra del neutro:

Centro stella	il centro stella del trasformatore è collegato a terra
---------------	--

3.3 Cabina di raccolta

E' prevista una cabina di raccolta a 36 kV che conterrà:

- Un quadro a 36 kV
- Un trasformatore 0.4/36 kV per alimentazione dei servizi ausiliari

Ciascun componente interno alla cabina di campo fornirà, in misura differente, un contributo al campo elettromagnetico esterno alla stessa. Per la valutazione degli effetti elettromagnetici all'esterno della cabina di raccolta, è stata considerata la sovrapposizione delle componenti derivanti da ciascuna apparecchiatura interna.

L'edificio ospitante la cabina 36 KV, come già detto in precedenza, è ubicato in prossimità della SE Terna.

La massima corrente presente sui quadri 36 kV della cabina di raccolta è pari a 1590 A.

4. VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO

Nella redazione della relazione tecnica sui campi elettromagnetici è stato tenuto conto della normativa vigente in materia. In particolare, sono state recepite le indicazioni contenute nel DPCM 08/07/2003, il quale fissa i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete generati dagli elettrodotti. Si è, inoltre, tenuto conto di quanto previsto dal DM 29/05/2008 per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti (metodologia di calcolo indicata dall'APAT), e della Legge quadro

22/02/2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", G.U. 7 marzo 2001, n.55.

4.1 Valori limite del campo magnetico

Per quanto concerne il campo magnetico generato dagli elettrodotti, esistono tre diverse soglie cui fare riferimento, fissate attraverso il DPCM 8/07/2003. L'art. 3 del citato decreto indica come soglie i valori dell'induzione magnetica mostrati in tabella.

Soglia	Valore limite del campo magnetico
Limite di esposizione	100 μT (da intendersi come valore efficace)
Valore di attenzione (misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere)	10 μT intendersi come mediana dei valori 4 ore nelle normali condizioni
Obiettivo di qualità (nella progettazione di nuovi elettrodotti in aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità delle linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio)	3 μT (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)

Poiché nel presente progetto sono presenti solo impianti di nuova costruzione, il valore limite di riferimento per l'induzione magnetica è pari a **3 μT** con particolare riferimento ai luoghi per i quali siano previste permanenze superiori alle 4 ore giornaliere. L'obiettivo della presente trattazione è quello di determinare, per ogni componente di impianto in grado di generare campi magnetici apprezzabili, la distanza, valutata dai confini del componente di impianto stesso, oltre la quale il valore della induzione magnetica è:

$$B < 3 \mu\text{T}$$

Tale distanza si definisce Distanza di Prima Approssimazione (DPA).

4.2 Valori limite del campo elettrico

Per quanto concerne il campo elettrico, il DPCM 8/07/2003 stabilisce il valore limite di tale campo pari a 5kV/m, inteso come valore efficace.

5. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI

Quella che viene presentata in questo paragrafo è una valutazione analitica del campo magnetico generato dagli elettrodotti, basata sulle metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, e specificate dalla Guida CEI 106-11 (Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6)). La Guida CEI fornisce la metodologia operativa per l'utilizzo degli algoritmi normalizzati definiti nella Norma CEI 211-4.

Per la valutazione del campo magnetico generato dall'elettrodotto occorre innanzitutto distinguere gli elettrodotti in funzione della tipologia dei cavi utilizzati.

Sotto questo aspetto il progetto prevede l'utilizzo di due tipologie:

- cavi in alluminio schermati tripolari a elica visibile posati direttamente interrati;
- cavi in alluminio schermati unipolari disposti a trifoglio e posati direttamente interrati.

La tabella che segue mostra le differenti tipologie di cavi da utilizzare e le caratteristiche di posa:

Tipo di cavo	ARE4H5EX 20,8/36KV-36 kV tripolare cordato ad elica visibile	ARE4H5E 20,8/36KV-36 kV unipolare
Sezione (mm²)	240	500
Tipo posa	Direttamente interrato	Direttamente interrato disposto a trifoglio
Profondità posa (m)	1,50	1,50

5.1 Elettrodotti con cavo ARE4H5EX 20,8/36KV tripolare cordato ad elica visibile.

Dalla normativa citata, le particolarità costruttive di questi cavi, ossia la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione dovuta alla cordatura, fanno sì che il campo magnetico prodotto sia notevolmente inferiore a quello prodotto da cavi analoghi posati in piano o a trifoglio. In aggiunta a questa prima considerazione, si fa notare come le metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, con le quali verranno condotti i calcoli nel seguito, fanno esplicito riferimento al caso in questione come un caso per il quale non è richiesto alcun calcolo delle fasce di rispetto.

All'art. 3.2 dell'allegato al suddetto decreto viene infatti detto che:

"sono escluse dall'applicazione della metodologia:

-
- *Le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);*
-

In tutti questi casi le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dal Decreto interministeriale n. 449/88 e dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991".

Per quanto sopra non è necessario alcuno studio circa i campi magnetici generati dai cavi di sezione 240 mm². Per questi elettrodotti è sufficiente quindi **una semplice analisi qualitativa per affermare che l'induzione magnetica è sempre inferiore ai valori limite richiesti dalla normativa e dalle leggi vigenti.**

5.2 Elettrodotti con cavo ARE4H5E 20,8/36KV unipolare

Per questi elettrodotti è necessario determinare la DPA secondo le modalità descritte in precedenza, non essendo tale distanza definita a priori come per gli elettrodotti trattati nel precedente paragrafo.

L'analisi è stata condotta per tutte le combinazioni di posa presenti in impianto che sono riportate nel documento di progetto QQR-WIND-025.ELB010a e replicate nella tavola QQR-WIND-025.ELB009c dedicata agli effetti elettromagnetici.

L'analisi del campo magnetico generato dalle linee 36 KV interrate, è stata condotta utilizzando un software specifico che utilizza le metodologie di calcolo della Norma CEI 211-4. In appendice alla presente relazione è allegato il "Documento di Validazione" dei calcoli fornito dal produttore del software stesso (Beshielding S.r.l.). I risultati di tale analisi sono riportati graficamente nel documento QQR-WIND-025.ELB009c. Da tale documento si ricava che, per i cavidotti in questione, induzione magnetica $B < 3 \mu T$ già all'interno dello scavo. Tale risultato è stato ottenuto tramite opportuna trasposizione delle fasi delle diverse linee secondo quanto indicato nelle sezioni di posa nel documento di progetto QQR-WIND-025.ELB009c.

6. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI AEROGENERATORI

Anche l'analisi del campo magnetico generato dagli aerogeneratori è stata condotta utilizzando il software Beshielding descritto nel precedente paragrafo e quindi secondo le metodologie di calcolo della Norma 211-4.

I valori dell'induzione magnetica all'esterno di ciascun aerogeneratore sono stati ricavati considerando il componente interno che è in grado di determinare i campi magnetici più intensi. Tale componente è il trasformatore 36 KV/690 V posizionato nella navicella a 134 metri di altezza. Il motivo di tale scelta è giustificato dal fatto che, nel suddetto trasformatore e nei cavi che da esso si dipartono, circolano le massime correnti (lato BT a 690V) e gli effetti dei campi magnetici prodotti non possono essere compensate con la trasposizione delle fasi. Il risultato ottenuto è rappresentato nei grafici del documento di progetto WIND025.ELB009c. Essi mostrano che, all'esterno di ciascun aerogeneratore, la distanza oltre la quale il valore dell'induzione magnetica $B < 3 \mu T$ è sempre inferiore a 12 metri sia in orizzontale sia in

verticale. Si assume pertanto, per tutti gli aerogeneratori, una **DPA = 12 m sia in orizzontale sia in verticale a partire dalle pareti dell'aerogeneratore stesso.**

7. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALLA CABINA DI RACCOLTA 36 kV.

L'analisi del campo magnetico generato dalla cabina di raccolta 36 kV è stata condotta impiegando il software specifico che utilizza le metodologie di calcolo della Norma 211-4. In appendice (cap. 9) alla presente relazione è allegato un "Documento di Validazione" fornito dal produttore del software stesso ("Beshielding").

I valori dell'induzione magnetica all'esterno della cabina di raccolta cabina di campo sono stati ricavati inserendo, all'interno della cabina, tutti i componenti in grado di generare campi magnetici apprezzabili. Il risultato ottenuto è rappresentato nei grafici della induzione magnetica nel documento di progetto WIND025.ELB009c. Esso mostra che, all'esterno di ciascuna cabina di campo, la distanza oltre la quale il valore dell'induzione magnetica $B < 3 \mu T$ è sempre inferiore a 4 metri sia in orizzontale sia in verticale. Si assume pertanto, per tutte le cabine di campo, **una DPA=4 m sia in orizzontale sia in verticale a partire dalle pareti della cabina di campo stessa.**

8. CONCLUSIONI.

Nella presente relazione è stato condotto uno studio analitico volto a valutare l'impatto elettromagnetico delle opere da realizzare, e, sulla base delle risultanze, individuare eventuali fasce di rispetto da apporre al fine di garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici, secondo il vigente quadro normativo. Una volta individuate le possibili sorgenti dei campi elettromagnetici, per ciascuna di esse è stata condotta una valutazione, volta a determinare la consistenza dei campi generati dalle sorgenti e l'eventuale distanza di prima approssimazione (DPA).

Di seguito i principali risultati:

8.1 – Elettrodotti 36 KV

Per tutti i cavidotti 36 KV, siano essi costituiti da cavi tripolari ad elica visibile (sezioni 240 mm²) o da cavi unipolari posati a trifoglio, i valori della induzione magnetica all'esterno dello scavo sono **inferiori a 3 μT** . Per tale motivo non è necessaria l'apposizione di alcuna fascia di rispetto. Le risultanze grafiche dei calcoli effettuati sono riportate nel documento di progetto WIND025.ELB009c.

8.2 – Aerogeneratore

Per il suddetto componente è stata ricavata, mediante l'utilizzo di software specifico una **DPA = 12 m** sia in orizzontale sia in verticale a partire dalle pareti della navicella. Trovandosi la navicella ad

una altezza di 134 metri dal piano di campagna, le aree di rispetto individuate (aree con $B > 3 \mu\text{T}$), non interessano zone di territorio frequentate da persone.

Per la rappresentazione grafica, fare riferimento alla tavola WIND025.ELB009c.

8.3 – Cabina 36 KV/AT utente (SSEU).

Per il suddetto componente è stata ricavata, mediante l'utilizzo di software specifico ("Beshielding", in allegato i risultati della simulazione) una DPA di 4 m sia in orizzontale sia in verticale a partire dalle pareti della cabina di campo stessa. All'esterno della cabina di raccolta sarà realizzata una recinzione distante 4 m dalle pareti della cabina in maniera tale da confinare le aree con $B > 3 \mu\text{T}$ all'interno delle pertinenze dell'impianto.

Per la rappresentazione grafica, fare riferimento alla tavola WIND025.ELB009c.

A conclusione del presente studio, è possibile affermare che, per tutte le sorgenti di campi elettromagnetici individuate, le aree soggette alla "Distanza di prima approssimazione dalle linee elettriche (DPA ai sensi del DM del 29/05/2008)" sono confinate all'interno del perimetro degli impianti di pertinenza del proponente e risultano avere una destinazione d'uso compatibile con quanto richiesto nel DPCM 8 luglio 2003, nonché un tempo di permanenza delle persone (popolazione) all'interno delle stesse non superiore alle 4 ore continuative giornaliere. Si rammenta inoltre che all'interno dell'aree di pertinenza degli impianti, di competenza del proponente, il DPCM non si applica essendo espressamente finalizzato alla tutela della popolazione e non ai soggetti esposti al campo magnetico per ragioni professionali.

9. DOCUMENTO DI VALIDAZIONE SOFTWARE DI CALCOLO.



Documento di Validazione

Algoritmi di calcolo del software MAGIC® (MAGnetic Induction Calculation)

Data:09/01/2020

Rev.02

BEShielding S.r.l. - Via Ferrero, 10 - 10098 Rivoli (TO) Italy - Tel. +39.011.95.90.111 - Fax +39.011.95.90.230 - shielding@beshielding.com - busbar@beshielding.com - www.beshielding.com
Codice Fiscale e P.IVA IT10105760010 - Codice Destinatario: SRI.O82D - Capitale Sociale € 100.000,00 i.v. - Registro delle Imprese di Torino - R.E.A. n° TO 1105991 - Foro Competente Torino
BEShielding S.r.l. a socio unico - società soggetta a direzione e coordinamento di Sati Italia S.p.A.





Sommario

Premessa	3
1 Verifica del modulo bidimensionale	3
1.1 Confronto con CEI 211-04.....	3
1.2 Confronto con codice CESI	4
2 Verifica del modulo tridimensionale	8
2.1 Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato	8
2.2 Validazione sperimentale del modulo tridimensionale	9
3 Verifica del modulo tridimensionale:trasformatore di potenza	10
3.1 Verifica del modello MAGIC della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method)	10
3.2 Verifica del modello MAGIC del trasformatore completo con misure sperimentali.....	13
Conclusioni	14



Premessa

Il presente documento riporta le verifiche funzionali del software MAGIC® attraverso il confronto con software già esistenti e di comprovata validità e con rilievi sperimentali.

Il confronto si sviluppa in tre parti:

- 1) verifica del modulo bidimensionale
- 2) verifica del modulo tridimensionale
- 3) verifica del modulo tridimensionale di configurazioni impiantistiche con particolare riferimento al trasformatore di potenza

Le principali caratteristiche del software MAGIC® sono:

- a) software bi-tridimensionale
- b) integrazione della formula di Biot-Savart
- c) dominio infinito (nessuna condizione al contorno necessaria)
- d) trascurati effetti di mitigazione del campo dovuto a schermatura di fatto (analisi conservativa)
- e) sovrapposizione degli effetti
- f) analisi in regime simbolico (calcolo dei moduli e delle fasi)

Il software è stato sviluppato da tecnici specializzati con la collaborazione e la supervisione di docenti e ricercatori del Politecnico di Torino – Dipartimento Energia (prof. Aldo Canova e Ing. Luca Giaccone).

1 Verifica del modulo bidimensionale

La verifica del modulo bidimensionale è stata condotta mediante confronto con la formulazione analitica, come indicato dalla CEI 211-04, e mediante confronto con un codice di calcolo sviluppato dal CESI.

1.1 Confronto con CEI 211-04

Una possibile validazione del programma utilizzato può essere effettuata confrontando il campo calcolato con il programma stesso e quello calcolato per via analitica, secondo la norma CEI 211-4 paragrafo 4.3, su di un caso in cui questa seconda procedura è applicabile in modo esatto. Tale caso si riferisce ad un sistema di conduttori rettilinei, paralleli e indefiniti.

Sotto queste ipotesi l'induzione magnetica \mathbf{B} è data dall'espressione:

$$\bar{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=1}^N \frac{\bar{I}_k}{d_k} \bar{u}_l \times \bar{u}_r \quad (1)$$

in cui N è il numero dei conduttori, d è la distanza tra il conduttore k -esimo e il punto di calcolo; i vettori \bar{u}_l e \bar{u}_r indicano, rispettivamente, il verso della corrente e della relativa normale; \times indica il prodotto vettoriale.

In particolare è stato analizzato il caso, che verrà riportato successivamente, relativo ad una linea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di

**BESHIELDING**

Condizioni di carico e relazioni di fase:

- Terna B: $I_{eff} = 1500$ A (RST)
- Terna A: $I_{eff} = 1500$ A (TSR)

La configurazione analizzata mediante il codice sviluppato dal CESI porta alla distribuzione di campo riportata in Figura 3.

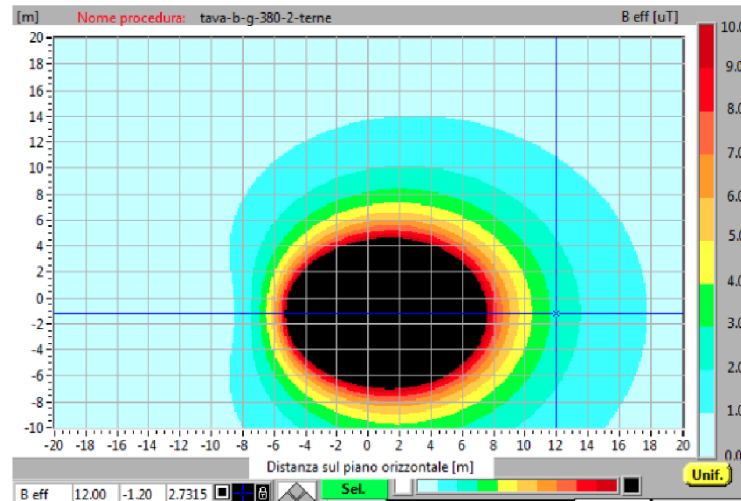


Figura 3: Mappa cromatica delle induzioni magnetiche calcolata mediante software CESI

La stessa configurazione è stata analizzata mediante il codice MAGIC® e può essere studiata attraverso due possibili funzioni messe a disposizione dal software:

- Terne parallele
- Multiconduttori 2D

In questo documento verrà utilizzato il Multiconduttore 2D (Fig. 4) che permette di definire un sistema di N conduttori posizionati arbitrariamente in cui viene applicata una corrente arbitraria.



BESHIELDING

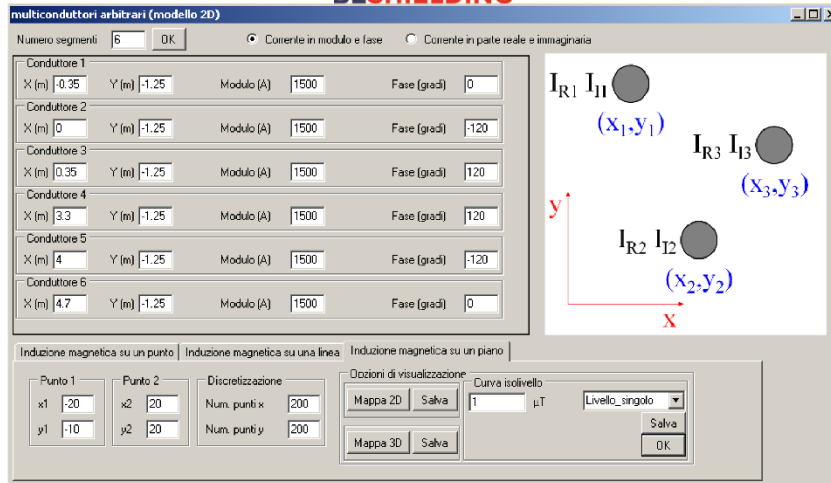


Figura 4:Schermata di ingresso modulo “multiconduttori arbitrari (modello 2D)”: dati definizione geometria e sorgenti

Nella seguente Fig. 5 è riportata la “geometria” del sistema che può essere visualizzata al termine dell’inserimento dati.

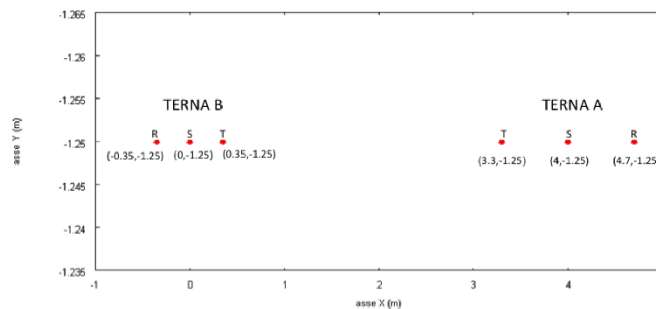


Figura 5: Geometria sorgenti

In Fig. 6 è riportata la mappa cromatica dell’induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):

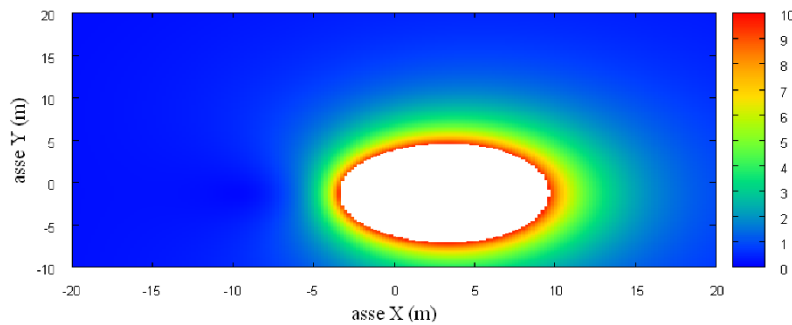


Fig. 6: Mappa cromatica dell’induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):

**BESHIELDING**

In Fig. 7 sono riportate le linee isolivello dell'induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) visualizzabili dal software MAGIC®.

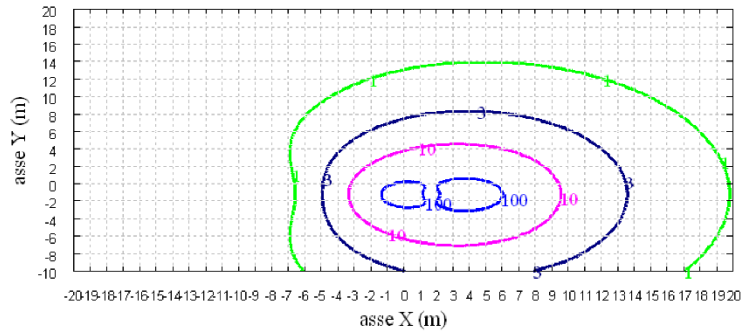


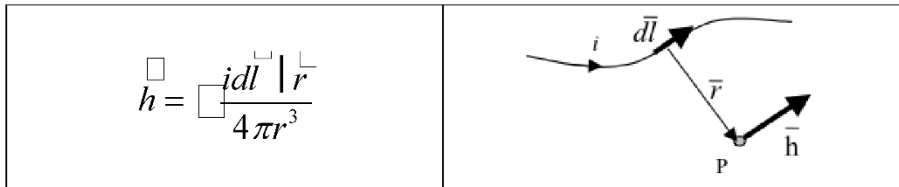
Fig. 7 Linee isolivello dell'induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) da software MAGIC®.

Come si può osservare le mappe cromatiche dei due modelli risultano essere in perfetto accordo.



2 Verifica del modulo tridimensionale

Il modulo tridimensionale del MAGIC® si basa principalmente sull'integrazione della formula di Biot-Savart:



Nelle configurazioni impiantistiche si ha spesso a che fare con fasci di cavi che il cui profilo copre percorsi approssimabili con buona precisione a delle spezzate tridimensionali. Ogni spezzata è quindi modellabile mediante una successione di segmenti opportunamente orientati nello spazio. Ne consegue che, sapendo valutare il campo di un segmento arbitrariamente orientato nello spazio, è possibile calcolare il campo prodotto da un fascio di cavi mediante la sovrapposizione degli effetti di tutti i segmenti costituenti il fascio.

2.1 Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato

Si consideri il segmento rappresentato nella Fig. 8.

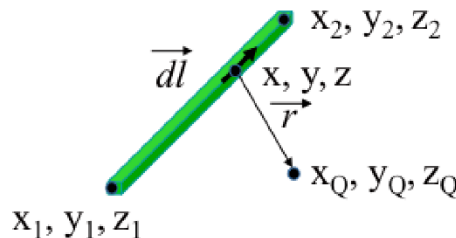


Fig. 8: Modello del segmento.

L'equazione del segmento in forma parametrica diventa la seguente:

$$x = x_1 + (x_2 - x_1)t$$

$$y = y_1 + (y_2 - y_1)t$$

$$z = z_1 + (z_2 - z_1)t$$

Si consideri inoltre che:

$$\vec{r} = (x_Q - x)\vec{a}_x + (y_Q - y)\vec{a}_y + (z_Q - z)\vec{a}_z$$

$$d\vec{l} = dx\vec{a}_x + dy\vec{a}_y + dz\vec{a}_z$$

Facendo le opportune sostituzioni, la formula di Biot-Savart può essere risolta conducendo ad una formula chiusa per il calcolo delle tre componenti di campo



BESHIELDING

H_x , H_y e H_z (ovvero B_x , B_y e B_z). L'integrazione, sebbene sia macchinosa e porti ad espressioni analitiche poco compatte, può essere semplicemente risolta mediante l'utilizzo di un processore simbolico. Per tutti i dettagli circa l'integrazione si consideri la seguente referenza:

Canova A.; F. Freschi; M. Repetto; M. Tartaglia, (2005), *Description of Power Lines by Equivalent Source System*. In: *COMPEL*, vol. 24, pp. 893-905. - ISSN 0332-1649

2.2 Validazione sperimentale del modulo tridimensionale

In Fig. 9 viene rappresentata una spira costituita da 4 conduttori rettilinei che ben rappresenta una sorgente di tipo tridimensionale.

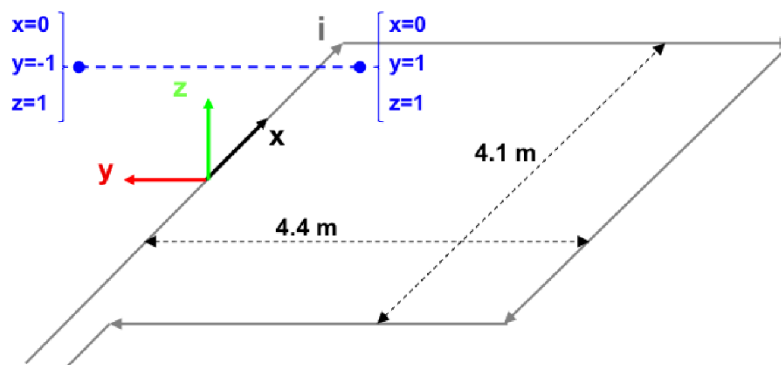


Fig. 9: Schema di spira quadrata.

Nella stessa immagine viene rappresentata una linea di confronto con le seguenti caratteristiche:

- È posta a 1 m da terra → $z = \text{costante} = 1 \text{ m}$
- Si estenda lungo l'asse y → $x = \text{costante} = 0 \text{ m}$
- È lunga due metri: → $y \text{ minimo} = -1 \text{ m}$, $y \text{ massimo} = 1 \text{ m}$

Su tale linea di confronto sono state eseguite delle misure sperimentali mediante sistema composto da sonda PMM-EHP50 C le cui caratteristiche sono riportate nel seguente elenco:

- Range di frequenze 5Hz – 100 kHz
- Range di campo elettrico 0.01 V/m – 100 kV/m
- Range di campo magnetico 1 nT – 10 mT
- Risoluzione 0.01 V/m - 1 nT
- Tempo di campionamento 30, 60 sec
- Massima acquisizione 1600 ore con acquisizione ogni 60 sec.
- SPAN 100, 200,500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 10 kHz, 100 kHz

Viene infine eseguito il confronto tra misure sperimentali e calcolo eseguito mediante software MAGIC®. I risultati di confronto sono riassunti nella seguente figura.

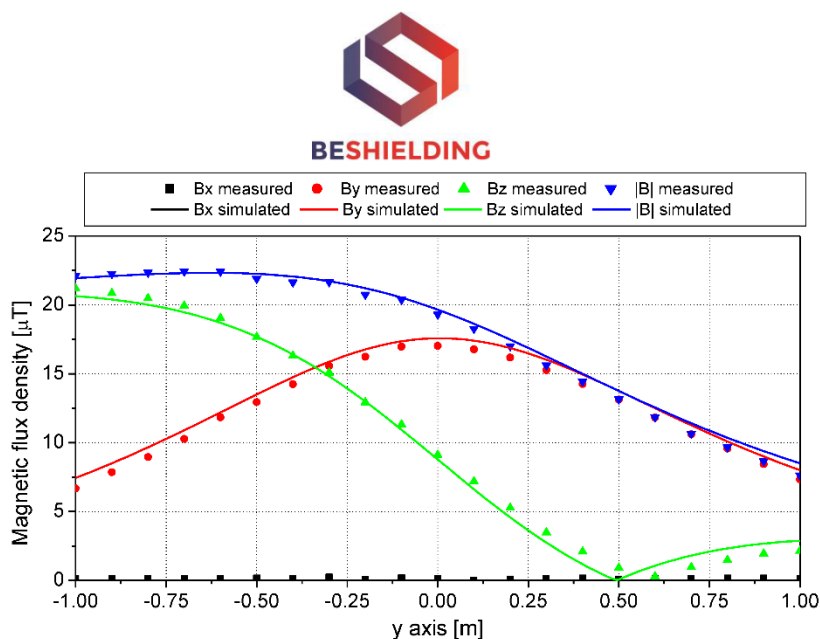


Fig. 10: Induzione magnetica misurata e calcolata mediante software MAGIC®.

Si dimostra quindi che le misure sperimentali sono in perfetto accordo con il modello implementato nel software MAGIC®.

3 Verifica del modulo tridimensionale:trasformatore di potenza

In questa sezione vengono riportati i principali risultati ottenuti utilizzando il software MAGIC® nella simulazione dei campi generati da un trasformatore in resina (il trasformatore in olio rappresenta una situazione semplificata rispetto a quello in resina).

La validazione è condotta in due step:

- Verifica del modello MAGIC della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method)
- Verifica del modello MAGIC del trasformatore completo con misure sperimentali

Maggiore dettaglio sui confronti sono riportati nella seguente referenza:

A. Canova, L. Giaccone, M. Manca, R. Turri, P. Casagrande, "Simplified power transformer models for environmental magnetic impact analysis", 2° Int. Conf. on EMF-ELF, Paris, 24-25 Marzo 2011.

3.1 Verifica del modello MAGIC della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method)

MAGIC® propone due diversi modelli per il trasformatore: il primo di tipo semplificato e valido a partire da circa 0.5-1m dal trasformatore, il secondo più



BESHIELDING

rigoroso valido anche a piccole distanze dal trasformatore. Nel seguito i due modelli verranno indicati come Modello 1 e Modello 2.

Un primo confronto tra i due modelli è stato effettuato con un codice agli elementi finiti (FEMM) di tipo assialsimmetrico. In Figura 11 sono riportate le principali dimensioni del caso analizzato: avvolgimento primario e secondario di un trasformatore di 630 kVA in resina e l'indicazione delle linee di calcolo.

Nei calcoli che seguono i due avvolgimenti sono caratterizzati dalle stesse amperspire in opposizione ($N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2$) e verranno considerate, come sorgenti, le correnti nominali.

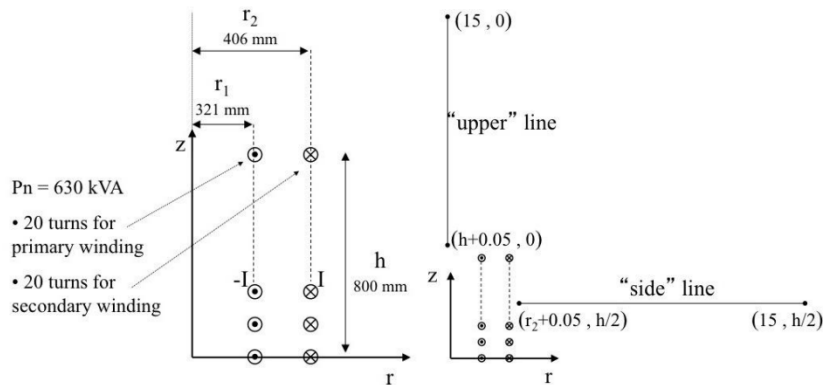


Fig. 11. Geometria del sistema (1) e linee di calcolo (2)

Le Fig. 12 e 13 mostrano, rispettivamente, i valori di induzione magnetica lungo la linea ad 1m dal lato degli avvolgimenti e lungo la linea ad 1.5 m sopra gli avvolgimenti. Le figure mettono a confronto il "modello 1 e 2" ed il calcolo, assunto come riferimento, effettuato mediante codice FEM.

Si può osservare un ottimo accordo tra i "modelli 1 e 2" adottati nel MAGIC® lungo entrambe le linee mentre per distanze inferiori al metro il modello semplificato, con particolare riferimento al campo lungo la linea verticale, risulta portare a delle discrepanze significative. Per tali distanze e pertanto conveniente utilizzare il "modello 2" che risulta più accurato a spese di un maggiore peso computazionale (nell'ordine comunque delle decine di secondi).

I modelli inseriti nel MAGIC® sono inoltre confrontati con il modello proposto da un altro software commerciale (EFC-400) che verrà denominato "Modello 3". Tale modello è basato sull'ipotesi che il campo magnetico disperso, essendo correlato con la reattanza di dispersione del trasformatore, risulta quantitativamente correlato alla tensione di corto circuito. Il modello proposto da EFC-400 è quindi costituito da un unico avvolgimento (che sintetizza il primario ed il secondario) percorso da una corrente ridotta, rispetto alla corrente nominale, secondo la seguente formula:

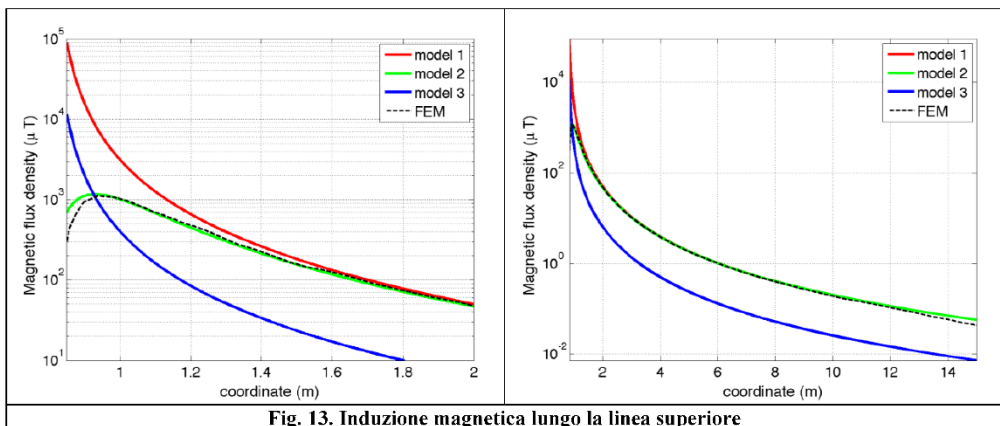
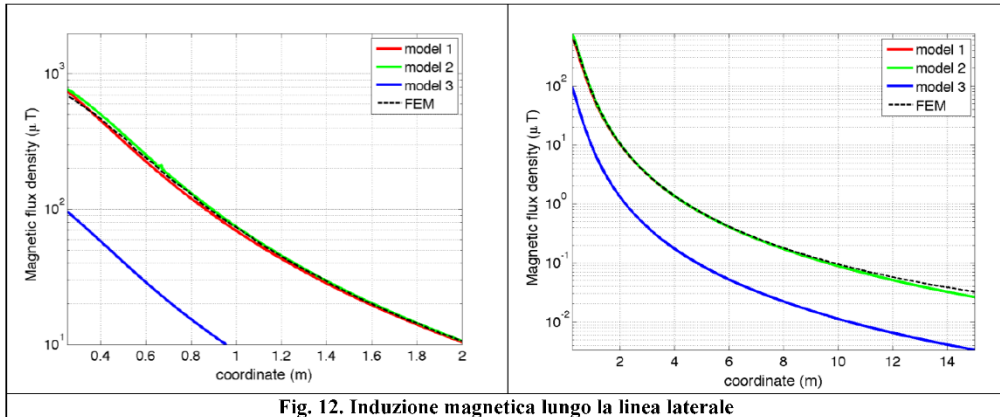
$$I = I_R \cdot \frac{V_{SC} \%}{100} \quad (14)$$

in cui I_R è la corrente nominale (di primario o secondario) e V_{SC} è la tensione di cortocircuito percentuale. Può essere utilizzata la corrente di primario o di



BESHIELDING

secondario (I_{R1} o I_{R2}) e corrispondentemente occorre considerare le spire di primario o secondario (N_1 e N_2).



Come si può osservare dai profili di induzione magnetica il modello 3 risulta scarsamente idoneo a modellare i due avvolgimenti concentrici di primario e secondario.



3.2 Verifica del modello MAGIC del trasformatore completo con misure sperimentali

In questo paragrafo il modelli vengono confrontati con dati sperimentali. Il caso analizzato si riferisce ad un trasformatore in resina da 630 kVA, 15kV/400V, funzionante in condizioni di corto circuito (Fig. 14). Il trasformatore viene alimentato con una tensione che fa circolare negli avvolgimenti una corrente pari al 42% della corrente nominale, si ha quindi 10.4 A di primario (lato MT) e 390 A di secondario (lato BT). Il modello del trasformatore risulta quindi completo e costituito da tutti gli avvolgimenti delle tre fasi.

Le linee di calcolo S1 ed S2 (Fig. 15) sono poste ad 1.5m dal piano di appoggio del trasformatore. E' importante sottolineare che il contributo dei terminali di BT influisce significativamente il campo magnetico ambientale, specialmente nella direzione S1. Pertanto, l'introduzione di tali sorgenti addizionali agli avvolgimenti porta ad una riduzione degli scostamenti tra i vari modelli.

In Fig. 16 e 17 sono riportati i confronti tra le induzioni magnetiche, lungo le linee S1 ed S2, misurate e calcolate con i diversi modelli.

Come si può osservare, in particolare per la linea S2 (dove il contributo delle connessioni è trascurabile) il modello 1 ed il modello 2 approssimano in modo soddisfacente i dati sperimentali.

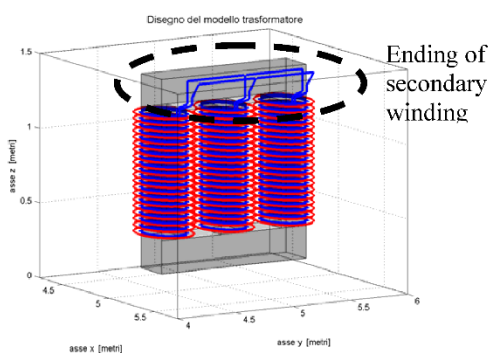


Fig. 14: Connessioni elettriche considerate ai lati BT.

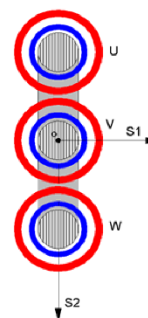


Fig. 15: Linee di calcolo S1 ed S2



BESHIELDING

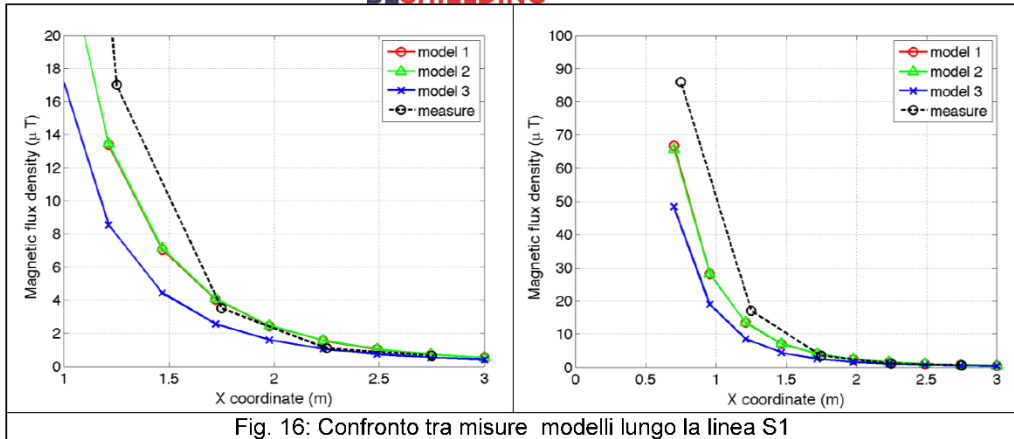


Fig. 16: Confronto tra misure modelli lungo la linea S1

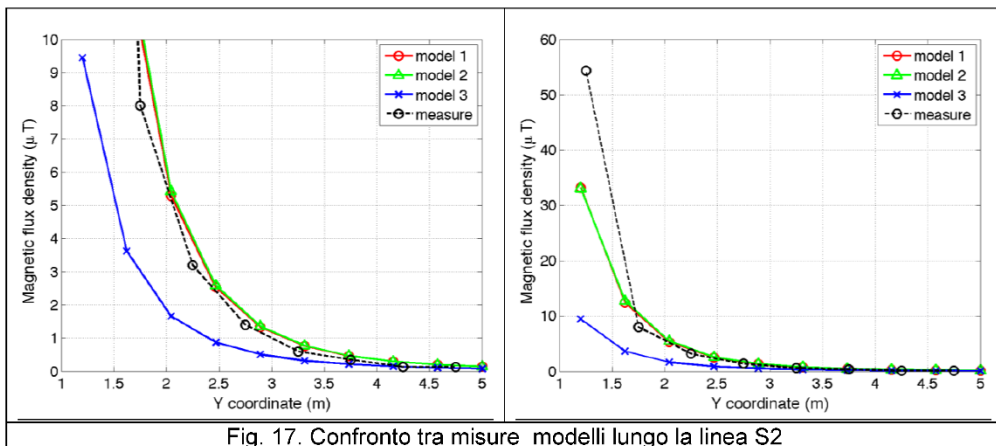


Fig. 17: Confronto tra misure modelli lungo la linea S2

Conclusioni

Il presente documento si propone di fornire alle autorità competenti tutti gli elementi necessari affinché il software MAGIC® possa essere validato secondo quanto richiesto dal Decreto Ministeriale (160) del 29/05/2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti".

Come indicato nell'art. 5.1.2 (Calcolo delle fasce di rispetto per linee elettriche) del decreto del 29/05/2008, i modelli tridimensionali non sono ancora standardizzati, tuttavia un software in cui i modelli soddisfino ai seguenti requisiti indicati nel decreto:

"...i modelli utilizzati devono essere descritti in termini di algoritmi implementati, condizioni al contorno e approssimazioni attuate. Essi devono essere validati attraverso misure o per confronto con modelli che abbiano subito analogo processo di verifica. La documentazione esplicativa e

**BESHIELDING**

comprovante i criteri di cui sopra deve essere resa disponibile alle autorità competenti ai fini dei controlli", può essere ritenuto idoneo allo scopo e, a tal fine, è stato redatto il presente documento.

Per quanto concerne in particolare le cabine elettriche, la complessità delle sorgenti in esame richiede una valutazione accurata che tenga conto principalmente della tridimensionalità delle singole sorgenti e l'effetto prodotto dalla combinazione delle stesse (sovrapposizione degli effetti). Nelle analisi precedentemente svolte sono stati analizzati e validati i principali componenti costituenti le cabine quali linee elettriche di connessione (tratti di conduttori di lunghezza finita), quadri elettrici (tratti conduttori di lunghezza finita) e trasformatori (elementi toroidali e tratti di conduttore di lunghezza finita).

Dai risultati ottenuti e presentati è quindi possibile concludere che il Software MAGIC® ha le caratteristiche per essere rispondente alle indicazioni richieste dal Decreto Ministeriale (160) del 29/05/2008, lasciando ovviamente alle autorità competenti la verifica ed il giudizio finale.