



Comune di CASTELLANETA

prov. di Taranto
REGIONE PUGLIA

Impianto Agrovoltaico "Castellaneta"

della potenza di 78,004 MW in DC

PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:

castellaneta

CASTELLANETA srl
Via Monte di Pietà, 19 - 20121 MILANO
e-mail: castellaneta.srl@legalmail.it

PROGETTAZIONE:



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



PROGETTISTA:

Dott. Ing. Renato Pertuso
(Direttore Tecnico)

LEGALE RAPPRESENTANTE:

dott. Renato Mansi

CONSULENTE:

dott. Pasquale Fantasia



PD

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE SUI CAMPI ELETTRROMAGNETICI

Tavola:

RE09

Filename:

TKA855-PD-RE09-Relazione sui campi elettromagnetici-R0.docx

Data 1°emissione:

Settembre 2023

Redatto:

P. FANTASIA

Verificato:

G. PERTUSO

Approvato:

R. PERTUSO

Scala:

Protocollo Tekne:

n° revisione

1
2
3
4

TKA855

INDICE

<u>1.</u>	<u>PREMESSA, DESCRIZIONE DEI LUOGHI E INDIVIDUAZIONE DELLE SORGENTI CEM</u>	<u>2</u>
<u>2.</u>	<u>DISPOSIZIONI LEGISLATIVE E NORMATIVE DI SETTORE:</u>	<u>2</u>
<u>3.</u>	<u>Disposizioni Specifiche per Lavoratori Portatori di Protesi o Dispositivi Elettronici Impiantati</u>	<u>4</u>
<u>4.</u>	<u>Identificazione delle Sorgenti e CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</u>	<u>7</u>
<u>5.</u>	<u>CALCOLO FASCIA DI RISPETTO CAVIDOTTI MT E SIMULAZIONE DPA</u>	<u>Errore. Il segnalibro non è definito.</u>
<u>6.</u>	<u>ANALISI DELL'ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI E CONCLUSIONI</u>	<u>214</u>

ELENCO ALLEGATI

- A. Normativa di riferimento
- B. Effetti dei campi elettromagnetici sugli esseri umani
- C. Stralcio Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche" di ENEL DIVISIONE INFRASTRUTTURE E RETI QSA/IUN
- D. DOCUMENTO DI VALIDAZIONE SOFTWARE "MAGIC" DI BESHIELDING

1. PREMESSA, DESCRIZIONE DEI LUOGHI E INDIVIDUAZIONE DELLE SORGENTI CEM

A seguito di incarico ricevuto da Castellaneta S.R.L., con sede legale a Milano (MI), Via Monte di Pietà, 19 - CAP 20121, il sottoscritto Dott. Ing. Pasquale Fantasia, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Bari al n°6178, nonché all'Albo dei Consulenti Tecnici del Tribunale di Bari al n°2097, ha condotto indagini finalizzate all'analisi dell'impatto ambientale e dei livelli di esposizione ai campi elettromagnetici generati dal realizzando impianto agrivoltaico, denominato "CASTELLANETA", installato su strutture metalliche ancorate su terreno agricolo nel comune di Castellaneta (TA) - Catasto Terreni, Foglio 16 p.lla 419, Foglio 18 p.lle 25-94-97-38-333-464-465-331-37-217-332-554-197-198-561-560-555-558-33-34-42-541-542-93-41-540-43-150-199-122-31-59-95-563-564; Stazione utente con cabina di elevazione: Fg. 17, p.la 210, e delle relative opere ed infrastrutture connesse e necessarie per la realizzazione dell'impianto stesso, ossia le cabine di utenza e le cabine di raccolta con relativi raccordi a mezzo di cavidotti alla RTN c/o la Stazione elettrica Terna esistente denominata "Castellaneta". Detto impianto avrà una potenza nominale complessiva di **78 MW in DC** e sarà realizzato così come dettagliatamente specificato nel Progetto Definitivo prodotto dalla Tekne ed a firma dell'Ing. Renato Pertuso **a cui questa relazione fa riferimento per i dati tecnici**. La presente relazione, quindi, è propedeutica alla valutazione dell'impatto elettromagnetico prodotto dalle cabine elettriche di trasformazione e consegna, e dalle linee interrate che costituiscono l'intero impianto fino al conferimento nella Stazione Primaria esistente del gestore nazionale denominata "Castellaneta".

2. DISPOSIZIONI LEGISLATIVE E NORMATIVE DI SETTORE:

A. esposizione della popolazione

A livello nazionale la norma di riferimento in materia di inquinamento elettromagnetico è rappresentata dalla **Legge n°36 del 22/02/2001** ("*Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*"),

Tale Legge oltre a stabilire le competenze in materia di Stato, Regioni e Province, introduce i concetti di **limite di esposizione**, di **valore di attenzione** e di **obiettivi di qualità**: i primi due rappresentano i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico che rispettivamente non devono essere superati in situazione di esposizione acuta e di esposizione prolungata, mentre gli obiettivi di qualità comprendono tutte le prescrizioni che consentono una progressiva minimizzazione dell'esposizione ai suddetti campi. Detti valori vengono definiti in due decreti attuativi successivi emanati uno nel luglio 2003 (**D.P.C.M. 8/07/2003**), l'altro nel maggio 2008 (**D.M. 29 maggio 2008** - "*Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti*") ed hanno lo scopo di stabilire la procedura da adottarsi per la determinazione delle **fasce di rispetto e distanze di prima approssimazione (DPA)** pertinenti alle **linee elettriche aeree e interrate** e delle **cabine, esistenti e in progetto**.

Per maggiori informazioni sugli **Effetti dei campi elettromagnetici sugli esseri umani** si veda l'**Allegato C** di questa relazione. Il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e valori di attenzione, per la

Data :	Redattore e responsabile delle misure:	Oggetto:	Pagina
SETTEMBRE 2023	DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA IN CONVERSANO (BA)	RELAZIONE SPECIALISTICA VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	2/22

protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti, in particolare:

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

- All'art.3 comma 2: 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.4 comma 1. 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. Lo stesso DPCM, all'art. 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità ($B=3\mu$ T) di cui all'art. 4 sopra richiamato ed alla portata della corrente in servizio normale. L'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti) definisce quale sia la fascia di rispetto nello spazio circostante l'elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità. Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che è sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica.

I **valori ed i limiti** stabiliti su tutto il territorio nazionale sono riportati nella seguente tabella:

<i>Frequenza 50 Hz</i>	<i>Intensità di Campo Elettrico E</i>	<i>Induzione Magnetica B</i>
Limite di esposizione <i>(da non superare mai)</i>	5,000 V/m	100 μT
Valore di attenzione <i>(da non superare nei luoghi adibiti a permanenze superiori a 4 ore/giorno)</i>	Non previsto	10 μT
Obiettivo di qualità <i>(da non superare per i nuovi elettrodotti/cabine o le nuove abitazioni in prossimità di elettrodotti/cabine esistenti)</i>	Non previsto	3 μT

Fare riferimento all' Allegato - A per dettaglio descrizione valori da rispettare

I limiti di esposizione sono stati introdotti a tutela della salute umana contro l'insorgenza degli effetti acuti, immediatamente conseguenti all'esposizione, mentre i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità hanno l'intento di tutelare la popolazione da eventuali effetti a lungo termine sulla salute umana.

B. esposizione professionale

In considerazione della possibile presenza di personale tecnico a vario titolo all'interno dell'impianto sia in fase di esecuzione che di esercizio di seguito si riporta una tabella indicante i **valori di azione** per diverse grandezze che dovranno essere verificate nel caso di lavoratori esposti:

Tab. 1: Valori di azione.

Data :	Redattore e responsabile delle misure:	Oggetto:	Pagina
SETTEMBRE 2023	DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA IN CONVERSANO (BA)	RELAZIONE SPECIALISTICA VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	3/22

Intervallo di frequenza	Intensità di campo elettrico o E(V/m)	Intensità di campo magnetico o H(A/m)	Induzione magnetica B (μT)	Densità di potenza di onda piana S _{eq} (W/m ²)	Corrente di contatto, I _c (mA)	Corrente indotta attraverso gli arti I _i (mA)
0 - 1 Hz	/	1,63 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	/	1,0	/
1- 8 Hz	20000	1,63x10 ⁵ /f ²	2 x 10 ⁵ /f ²	/	1.0	/
8 - 25 Hz	20000	2 x 10 ⁴ /f	2,5 x 10 ⁴ /f	/	1,0	/
0,025 - 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	/	1,0	/
0,82 - 2,5kHz	610	24,4	30,7	/	1,0	/
2,5 - 65kHz	610	24,4	30,7	/	0,4f	/
65 - 100kHz	610	1600/f	2000/f	/	0,4f	/

“f” è la frequenza espressa nelle unità indicate nella colonna relativa all'intervallo di frequenza.

Considerato che la frequenza della corrente f = 0,050 kHz, risultano i seguenti valori di riferimento per l'esposizione dei lavoratori:

- Intensità del campo elettrico: 10 kV/m
- Intensità del campo di induzione magnetica: 500 μT

Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei pertinenti limiti di esposizione dettati dal CAPO IV (Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici) del **D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 (Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro)** all'Articolo 209 - Valutazione dei rischi e identificazione dell'esposizione, così come modificato dal recente **Decreto Legislativo 1 agosto 2016, n. 159 (GU n.192 del 18/08/2016, in vigore dal 02/09/2016)**.

Il valore massimo della tensione di esercizio presente nell'impianto, pari a 20 kV per la linea MT di allaccio, è tale che i corrispondenti limiti di esposizione al campo elettrico (10kV/m) sono raggiunti a distanze dai conduttori già reclusi all'accesso.

Nel seguito della relazione l'analisi pertanto sarà concentrata sulla dimostrazione del rispetto del limite di azione di 500 μT per il campo di induzione magnetica, relativamente alle aree il cui accesso è limitato al personale esposto per ragioni professionali, altresì si è proceduto parimenti alla valutazione dell'esposizione tenendo come riferimento limiti molto più cautelativi per la popolazione tutelanti anche i soggetti portatori di dispositivi medici impiantati, attivi o passivi, oltre gli utenti di dispositivi medici portatili e le lavoratrici in stato di gravidanza.

3. DISPOSIZIONI SPECIFICHE PER LAVORATORI PORTATORI DI PROTESI O DISPOSITIVI ELETTRONICI IMPIANTATI

Un lavoratore portatore di un dispositivo medico (come per esempio un pacemaker) o di una protesi impiantata è da considerarsi, in generale, come lavoratore particolarmente sensibile al rischio (art.183 del D.Lgs. 81/2008) e deve pertanto essere trattato individualmente, prendendo in considerazione la sua situazione specifica e le caratteristiche pertinenti (in particolare il grado di

immunità elettromagnetica) del dispositivo impiantato. Occorre infatti ricordare che il rispetto dei livelli di riferimento per la popolazione non garantisce in assoluto l'assenza di effetti indiretti, come riportato sia nelle linee guida ICNIRP del 1998, sia nelle premesse della Raccomandazione Europea 1999/519.

Sono state recentemente pubblicate due norme riguardanti la valutazione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici per i lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili; la prima di esse (CEI EN 50527-1) ha validità generale, mentre la seconda (CEI EN 50527-2-1) si applica in modo specifico ai portatori di pacemaker. In queste norme si assume, in linea di massima, che i dispositivi impiantati funzionino correttamente fintantoché sono rispettati i livelli di riferimento per la popolazione definiti nelle linee guida ICNIRP del 1998; ma non si esclude che in alcune situazioni particolari possano avvenire interazioni significative anche per livelli di campo inferiori, confermando così la necessità di una valutazione individuale.

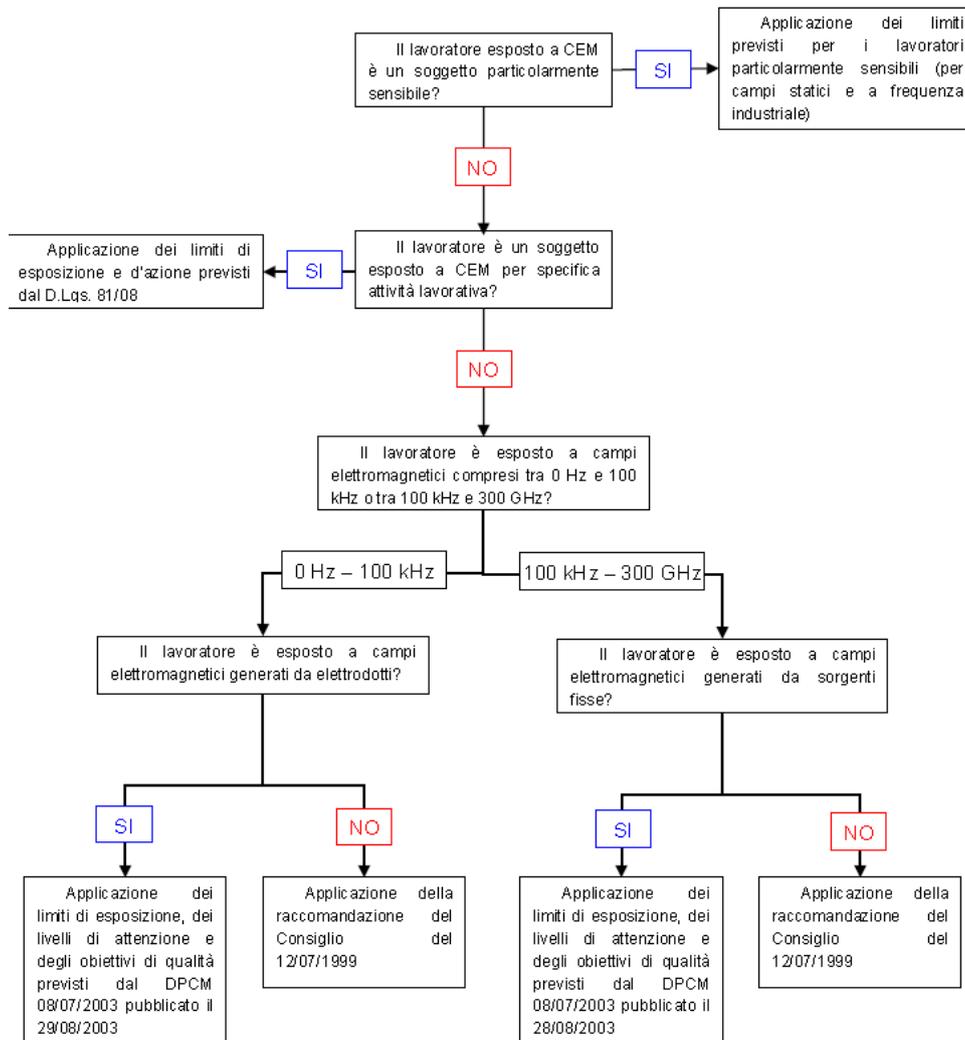
La norma CEI EN 50527-1 riporta una tabella dei luoghi di lavoro e delle attrezzature conformi ed una seconda tabella delle attrezzature potenzialmente interferenti. Le due tabelle, pur riprendendo quelle della norma CEI EN 50499, aggiungono considerazioni e note specifiche per i portatori di dispositivi medici impiantati. Esempi di sistemi potenzialmente interferenti sono i seguenti:

- motori elettrici;
- metal detector;
- sistemi radiotrasmittenti;
- apparecchi elettromedicali per applicazioni di campi elettrici, magnetici elettromagnetici o di corrente;
- sistemi antitaccheggio;
- telefoni cellulari.

La norma **CEI EN 50527-1** propone inoltre una procedura approfondita di valutazione, da adottare nel caso in cui si verificano condizioni diverse da quelle riportate nella tabella delle situazioni conformi.

Infine, la norma elenca una serie di misure di tutela, da adottare al fine di ridurre il rischio di interferenze, tra le quali:

- fornire una corretta informazione ai lavoratori;
- apporre adeguata segnaletica di avviso in prossimità delle sorgenti di campi elettromagnetici potenzialmente interferenti con i dispositivi elettronici impiantati;
- creare percorsi alternativi per i portatori di pacemaker nel caso di presenza di sorgenti con emissioni potenzialmente nocive.



FLOW CHART (SCHEMA DI FLUSSO) PER LA VALUTAZIONE RISCHI CEM

Si evidenzia che le misure previste dal titolo VIII del D.Lgs. 81/2008 sono specificamente mirate alla protezione degli effetti certi che hanno una ricaduta in termini sanitari (*“rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti nocivi a breve termine conosciuti nel corpo umano derivati dalla circolazione di correnti indotte e dall’assorbimento di energia, a da correnti di contatto”*), mentre non vengono normati gli effetti a lungo termine.

4. IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI E CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

PREMESSA

CAMPI ELETTRICI

Come noto il campo Elettrico, a differenza del campo Magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato. Considerando che la grossa parte dell'impianto è a bassa tensione, che la massima tensione elettrica all'interno ed all'esterno è di 30.000V e che i campi elettrici sono schermati dal suolo, dalle recinzioni, dalle murature del fabbricato, dagli alberi, dalle strutture metalliche porta-moduli, dalle guaine metalliche dei cavi a media tensione, ecc.; quindi, tenendo conto delle schermature dei cavi e della blindatura degli scomparti validi elementi di schermatura le situazioni più critiche sarebbero rappresentate solo da eventuali linee elettriche aeree, nel caso in questione, essendo tutte le linee MT interrate si può trascurare completamente la valutazione dei campi elettrici che, si ricorda, sono generati dalla tensione elettrica.

CAMPI MAGNETICI

Per quanto concerne invece i campi magnetici è necessario identificare nella centrale fotovoltaica le possibili sorgenti emissive e le loro caratteristiche. Una prima sorgente emissiva è rappresentata dal generatore fotovoltaico e dai relativi cavidotti di collegamento con la cabina elettrica dove avviene la conversione e trasformazione.

IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI

Le parti che compongono il sistema fotovoltaico sono:

- generatore fotovoltaico
- strutture tracker e strutture fisse
- cavi, cavidotti
- inverter di stringa cc/ca
- quadri in cc
- gruppo di conversione cc/ca
- trasformatori MT/bt
- cabine di raccolta MT
- trasformatori AT/mt

Il generatore fotovoltaico sarà costituito da strutture tracker. Le strutture tracker sono costituite da 3.910 stringhe da 30 moduli, per un totale di 117.300 moduli fotovoltaici con una potenza di 665 Wp cadauno. La potenza complessiva installata sarà pari a **78 MWp**.

Da un punto di vista elettrico il sistema fotovoltaico è stato suddiviso in 26 sottocampi indipendenti. Ciascun sottocampo dispone di una Cabina di Campo (Trasformatore + Inverter). All'interno delle aree di impianto sono state previste 3 cabine di raccolta collegate ad 1 cabina di raccolta generale la quale risulta connessa alla stazione di consegna dove avviene la trasformazione in AT per poi annettersi alla rete del TSO. All'interno del campo sono state inoltre previste anche 6 Cabine per Servizi Ausiliari.

I sottocampi sono costituiti ciascuno da 12 o 18 quadri parallelo (QP) composti da stringhe fotovoltaiche collegate in parallelo all'interno del quadro stesso e dotate di sezionatori, in modo da essere singolarmente sezionabili, di un fusibile e di uno scaricatore di sovratensione.

Le uscite delle stringhe, collegate in parallelo nei quadri, vengono portate all'ingresso dell'inverter. I campi presentano inverter da 1.500 kVA, 2.500 kVA o da 3125 kVA con l'uscita di ciascun inverter a 550 Vac. Ogni inverter risulta collegato al rispettivo trasformatore MT/bt alloggiato in adiacenza, su un'unica piazzola, mediante tutte le necessarie protezioni previste dalla normativa e con un cavo in uscita a 30 kV. La tensione continua verrà così convertita in alternata trifase ed elevata.

Data :	Redattore e responsabile delle misure:	Oggetto:	Pagina
SETTEMBRE 2023	DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA IN CONVERSANO (BA)	RELAZIONE SPECIALISTICA VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	7/22

La rete MT interna ai campi prevede 1 Ring e 7 Feeder i quali saranno costituiti da un numero variabile di sottocampi così come descritto qui di seguito:

- Ring 1: TR15-TR16-TR17-TR18-TR19-TR20-TR21
- Feeder 1: TR1-TR2-TR3-TR4
- Feeder 2: TR10-TR11
- Feeder 3: TR12-TR13-TR14
- Feeder 4: TR5-TR6
- Feeder 5: TR7-TR8-TR9
- Feeder 6: TR22-TR23-TR24
- Feeder 7: TR25-TR26

Tutti i sottocampi presentano cabine MT/BT collegate in entra-esci.

Tutta la distribuzione, BT e MT, avviene tramite cavidotto interrato all'interno dell'impianto. Dalla Cabina di Raccolta Generale parte una linea in MT a 30kV di lunghezza pari a 1,45 km che arriva alla stazione di trasformazione MT/AT nei pressi della Stazione elettrica di Terna a 150kV.

Il campo fotovoltaico nel suo complesso sarà costituito dai seguenti elementi:

- 117.300 Moduli Fotovoltaici;
- 3.910 Stringhe Fotovoltaiche;
- 456 Quadri di Parallelo;
- 26 Cabine di Campo (Trasformatore + Inverter);
- 3 Cabine di Raccolta
- 1 Cabina di Raccolta Generale e 6 Cabine per Servizi Ausiliari;

Una descrizione dettagliata del campo fotovoltaico è riportata nella "RE05-Relazione tecnica impianto fotovoltaico" a firma dell'Ing. Renato Pertuso a cui si rimanda per maggiori specifiche.

SEZIONE CORRENTE CONTINUA

Una prima sorgente emissiva è rappresentata dal generatore fotovoltaico e dai relativi cavidotti di collegamento con la cabina elettrica dove avviene la conversione e trasformazione.

MODULI FOTOVOLTAICI

Il modulo scelto da progetto è il **RISEN Hyper-ion RSM132-8-700BHDG** le cui caratteristiche sono riportate nella Relazione Tecnica Generale.

La tecnologia dei moduli fotovoltaici prevede la generazione di tensioni e correnti continue per cui non sussistono variabilità nei campi rilevanti, poiché circostanziate in brevissimi transitori in corrispondenza di accensione e spegnimento degli inverter. Difatti, la certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) **non prevede prove e calcoli riguardanti esposizioni ai Campi Elettromagnetici.**

In conclusione considerando che:

- tale sezione di impianto è tutta esercita in corrente continua (0 Hz) in bassa tensione;
- buona esecuzione vuole che i cavi di diversa polarizzazione (+ e -) viaggino sempre a contatto, annullando reciprocamente quasi del tutto i campi magnetici statici prodotti in un punto esterno (tale precauzione viene in genere presa soprattutto al fine della protezione dalle sovratensioni limitando al massimo l'area della spira che si viene a creare tra il cavo positivo e il cavo negativo);
- i cavi di dorsale dai sottoquadri di campo ai quadri di campo e agli inverter, che sono quelli che trasportano correnti in valore significativo, sono distanti diverse decine di metri dalle recinzioni di confine;
- per la frequenza 0-1 Hz il limite di riferimento per induzione magnetica che non deve essere superato è di 40.000 pT, valore 400 volte più alto dell'equivalente per la corrente a 50 Hz;

si può certamente escludere il superamento dei limiti di riferimento dei valori di campo magnetico statico dovuti alla sezione in corrente continua.

Data :	Redattore e responsabile delle misure:	Oggetto:	Pagina
SETTEMBRE 2023	DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA IN CONVERSANO (BA)	RELAZIONE SPECIALISTICA VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	8/22

INVERTER

L'inverter è l'apparato di conversione dell'energia elettrica, da corrente continua a corrente alternata ed è costituito principalmente da:

- **sezione di arrivo** dal campo fotovoltaico con organo di sezionamento e misure;
- **convertitore statico**, provvisto di ponte a **IGBT** a commutazione forzata, logiche di comando, protezioni, autodiagnostica e misure;
- **sezione di uscita** in corrente alternata, comprendente il trasformatore di isolamento e i dispositivi di comando del parallelo.

Il convertitore si pone immediatamente in stand-by in mancanza di insolazione, e ripristina il proprio funzionamento non appena le condizioni tornano favorevoli. L'algoritmo MPPT (di inseguimento continuo del punto di massima potenza) integrato mantiene continuamente il campo fotovoltaico nelle migliori condizioni operative.

L'inverter è dotato di un proprio dispositivo di interfaccia funzionante su soglie di tensione e frequenza minima e massima conformi alla norma CEI 11-20 e DK5940.

Gli inverter previsti da progetto si riportano sinteticamente nella seguente tabella e si rimanda per i dettagli e le schede tecniche alla "RE05-Relazione tecnica impianto fotovoltaico" a firma dell'Ing. Renato Pertuso:

Numero:	12
Tipo:	SG3125HV
Range operativo di tensione:	0 ÷ 1500 Vcc
Range di tensione in MPPT:	875 ÷ 1300 Vcc
Potenza nominale lato corrente alternata:	3125 kVA @ 50°C
Tensione nominale:	600 V trifase a 50 Hz
Fattore di potenza:	1
Numero:	12
Tipo:	SG2500HV
Range operativo di tensione:	0 ÷ 1500 Vcc
Range di tensione in MPPT:	800 ÷ 1300 Vcc
Potenza nominale lato corrente alternata:	2500 kVA @ 50°C
Tensione nominale:	550 V trifase a 50 Hz
Fattore di potenza:	1
Numero:	2
Tipo:	SG1500HV
Range operativo di tensione:	0 ÷ 1500 Vcc
Range di tensione in MPPT:	800 ÷ 1300 Vcc
Potenza nominale lato corrente alternata:	1500 kVA @ 50°C
Tensione nominale:	550 V trifase a 50 Hz
Fattore di potenza:	1

TRASFORMATORI MT/BT

La trasformazione MT/bt avviene attraverso dei trasformatori, in resina, della potenza di 2500 kVA o 3150 kVA adiacenti ai rispettivi inverter con le seguenti caratteristiche:

Trafo da 3150 kVA

Potenza nominale trasformatore:	3150 kVA
Livelli di tensione bt/MT:	0,8 kV / 30 kV
Tipo di collegamento:	Dyn11
Certificazioni:	IEC 60076, IEC 62271-200, IEC 62271-202 EN 50588-1, IEC 61439-1
Sistema raffreddamento:	AN – Air Natural
Dimensioni:	2370 x 1300 x 2625 m (LxPxH) circa
Peso:	8910 kg circa

Trafo da 2500 kVA

Potenza nominale trasformatore:	2500 kVA
Livelli di tensione bt/MT:	0,8 kV / 30 kV
Tipo di collegamento:	Dyn11
Certificazioni:	IEC 60076, IEC 62271-200, IEC 62271-202, EN 50588-1, IEC 61439-1
Sistema raffreddamento:	AN – Air Natural
Dimensioni:	2280 x 1300 x 2625 m (LxPxH) circa
Peso:	8130 kg circa

CABINE MT DI CAMPO

L'indagine del campo magnetico generato all'interno e nelle immediate vicinanze delle cabine elettriche di conversione e trasformazione BT/MT, esula dagli scopi della presente relazione, trattandosi di siti interclusi alla libera circolazione e nei quali il tempo di permanenza agli addetti ai lavori è tale da non costituire significativo rischio per la salute. Ciò nonostante, se ne riporta uno studio in condizioni di portata di corrente in servizio normale, intesa, ai sensi della Norma CEI 11-60, come la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento, in quanto, ai sensi dell'art. 6 del D.P.C.M. 8 luglio 2008, i proprietari devono comunicare non solo l'ampiezza delle fasce di rispetto ma anche i dati per il calcolo delle stesse ai fini delle verifiche delle Autorità Competenti.

A valle di ciascun trasformatore sono previsti:

- un interruttore MT a 30kV – 16kA;
- due sezionatori MT a 30 kV per la gestione della apertura dell'anello con le relative protezioni.

Data :	Redattore e responsabile delle misure:	Oggetto:	Pagina
SETTEMBRE 2023	DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA IN CONVERSANO (BA)	RELAZIONE SPECIALISTICA VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	10/22

Il Quadro MT sarà composto in lamiera zincata ed elettrozincata/verniciata con grado di protezione IP2XC, con unità modulari e compatte ad isolamento in aria, equipaggiate con apparecchiature di interruzione e sezionamento isolate in SF6 o a vuoto.

Caratteristiche tecniche:

- Tensione di isolamento 36 kV;
- Tenuta al c.to c.to: 16 kA per 1 sec;
- Corrente nominale 400 A

Per approfondimenti e ulteriori dettagli si rimanda alla relazione "RE05-Relazione tecnica impianto fotovoltaico".

Considerando che per l'impianto in esame sono previste diverse cabine, ciascuna delle quali equipaggiata con trasformatori di taglia differente, a titolo cautelativo, ai fini del calcolo della DPA si è fatto riferimento alla cabina equipaggiata con i trasformatori di taglia superiore (3150 kVA), ottenendo un risultato sicuramente a vantaggio della sicurezza.

In conformità ai dettami di cui al D.C.P.M. 08/07/2003 e successive modifiche ed integrazioni, la D.p.a. (fascia di prima approssimazione o fascia di rispetto) del trasformatore MT/BT risulta rispettata in base ai valori calcolati impiegando la formula seguente:

$$Dpa = \sqrt{I} \cdot 0,40942 \cdot x^{0,524}$$

Dpa = Distanza di prima approssimazione [m]; I = corrente nominale [A]; x = diametro dei cavi [m];

Con I_{BT} (Trafo da 3150 kVA) = **2274 A** lato bassa tensione.

Tenendo conto del diametro del singolo cavo e del numero di cavi costituenti ciascuna fase BT, si ricava un diametro equivalente del fascio di cavi in uscita dai trasformatori di 200 mm, pertanto, applicando la suddetta formula si ottiene una distanza di prima approssimazione, arrotondata al mezzo metro superiore, pari a **Dpa = 8,5 m** oltre la quale l'induzione magnetica non supera i 3µT così come previsto dal Decreto M.A.T.T.M. 29 maggio 2008.

Si ricorda a tal proposito che il valore di campo magnetico generato da un sistema elettrico trifase simmetrico ed equilibrato in un punto dello spazio è estremamente dipendente dalla distanza esistente tra gli assi dei conduttori delle tre fasi. Per assurdo, infatti, se i tre conduttori coincidessero nello spazio il campo magnetico esterno risulterebbe nullo per qualsiasi valore della corrente circolante nei conduttori. Per questo motivo il problema dei campi magnetici è poco sentito nelle reti di bassa e media tensione in cavo dove gli spessori degli isolanti sono molto contenuti permettendo alle tre fasi di essere estremamente ravvicinate tra loro se non addirittura inserite nello stesso cavo multipolare (bassa tensione).

Considerando che le cabine saranno realizzate all'interno di un sito intercluso alla libera circolazione, che non saranno presidiate e che l'eventuale tempo di permanenza degli operatori in occasione di manutenzione ordinaria e/o straordinaria sarà inferiore alle 4 ore giornaliere, si può affermare che i livelli di emissione non costituiscono pericoli per la popolazione.

Data :	Redattore e responsabile delle misure:	Oggetto:	Pagina
SETTEMBRE 2023	DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA IN CONVERSANO (BA)	RELAZIONE SPECIALISTICA VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	11/22

CABINE DI RACCOLTA MT

Data l'estensione dell'impianto e la particolare articolazione nella suddivisione in molteplici lotti si è convenuto per la collocazione di più cabine di raccolta, nello specifico 3, in maniera tale da convogliare in ciascuna di esse un numero più o meno omogeneo di sottocampi e far sì che da ogni singola Cabina di Raccolta parta un cavo di collegamento verso la Cabina di Raccolta Generale.

La **Cabina di Raccolta 1** raggrupperà tra loro le cabine di campo collegate attraverso il Feeder 2 (TR10-TR11), il Feeder 3 (TR14-TR13-TR12), il Feeder 4 (TR5-TR6) e il Feeder 5 (TR9-TR8-TR7). I quattro feeder fanno capo alle rispettive sezioni collocate all'interno della cabina di raccolta.

La **Cabina di Raccolta 2** raggrupperà tra loro le cabine di campo collegate attraverso il Ring 1. Il Ring 1 raggruppa le cabine di campo TR15-TR16-TR17-TR18-TR19-TR20-TR21. Il ring fa capo alle rispettive sezioni collocate all'interno della cabina di raccolta.

La **Cabina di Raccolta 3** raggrupperà tra loro le cabine di campo collegate attraverso il Feeder 6 (TR22-TR23-TR24) e il Feeder 7 (TR25-TR26). I due Feeder faranno capo alle rispettive sezioni collocate all'interno della cabina di raccolta.

La **Cabina di Raccolta Generale** raggrupperà le 3 Cabine di Raccolta dislocate in zone significative dell'area di impianto e le cabine di campo collegate attraverso il Feeder 1. Il Feeder 1 raggruppa le cabine di campo TR1-TR2-TR3-TR4. Le 3 Cabine di Raccolta e il Feeder faranno capo alle rispettive sezioni collocate all'interno della cabina.

All'interno di tutte le cabine di raccolta è installato inoltre un Quadro MT ed un Quadro BT per la gestione dei servizi ausiliari; in tutti i casi la principale sorgente di emissione sono le stesse correnti dei quadri MT, in quanto in questo caso il trasformatore MT/bt è utilizzato solo per l'alimentazione dei servizi ausiliari (illuminazione, prese, ventilatori, condizionamento, circuito telecamere, allarme, centralina rivelazione fumi). La massima corrente BT, considerando un trasformatore da 100 kVA, è pari a 145 A. Mentre la massima corrente MT dovuta alla massima produzione è pari a circa 383 A.

Applicando la seguente formula:

$$Dpa = \sqrt{I} \cdot 0,40942 \cdot x^{0,524}$$

in cui:

I = corrente nominale (secondaria del trasformatore – lato BT) [A];

x = diametro reale (conduttore+isolante) dei cavi in uscita dal trafo – lato BT [m];

Considerato che la potenza nominale del trasformatore bt/MT installato è di 100 kVA, la corrente nominale lato BT sarà pari a 144 A.

La sezione del cavo BT (tipo FG16R16) prevista è: (3x1x70) mm².

Il cavo unipolare risulta di sezione 70 mm², con un diametro esterno di 17 mm (0,017 m).

Dal calcolo si ottiene una DPA pari a 2,58 m, da intendersi come distanza dal filo esterno del container, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 3 m. D'altra parte, anche nel caso in questione si specifica, come tali ambienti (cabinati tecnici) sono aree di accesso esclusivo agli operatori tecnici che saltuariamente vi accederanno per limitati periodi temporali (inferiore a 4 h/gg) per esigenze connesse con la manutenzione e la gestione dell'impianto. Inoltre, la zona in cui l'induzione magnetica supera il valore di 100 µT, è confinata esclusivamente all'interno del vano trasformatore e dei quadri MT che sono accessibili al personale solo in assenza di tensione.

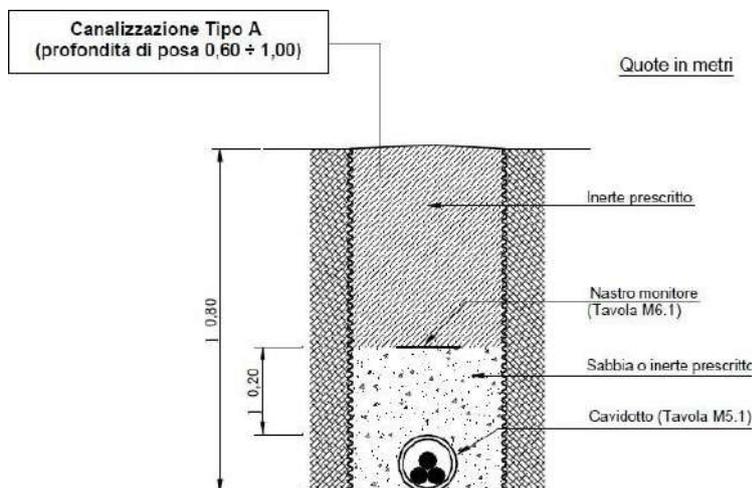
Non vi saranno, né all'interno delle fasce di rispetto individuate, né nelle immediate vicinanze luoghi destinati alla permanenza di persone per oltre 4 ore/giorno e non vi saranno nelle immediate vicinanze aree accessibili a persone diverse degli addetti professionalmente esposti. L'intero perimetro dell'impianto risulterà infatti dotato di recinzione.

Data :	Redattore e responsabile delle misure:	Oggetto:	Pagina
SETTEMBRE 2023	DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA IN CONVERSANO (BA)	RELAZIONE SPECIALISTICA VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	12/22

CAVIDOTTI MT TRA AREA DI TRASFORMAZIONE E CABINA ELETTRICA MT (SW STATION)

Tra ciascuna Area di trasformazione bt/MT e la cabina elettrica Media Tensione sarà presente un elettrodotto MT (30 kV) interrato in cavo cordato ad elica (tipo ARG7H1R 18/30 kV) con sezione (3x1x95) mm² (con posa a trifoglio).

La profondità di interramento, su area agricola, sarà pari ad 1 m dall'estradosso superiore del tubo (canalizzazione di tipo A).

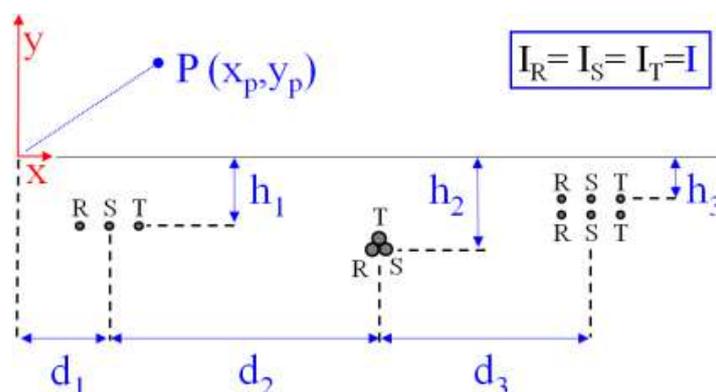


Per tale configurazione, come si evince anche dall'estratto delle Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al D.M. 29/05/08", la fascia di rispetto risulta avere un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n.4498 e s.m.i.

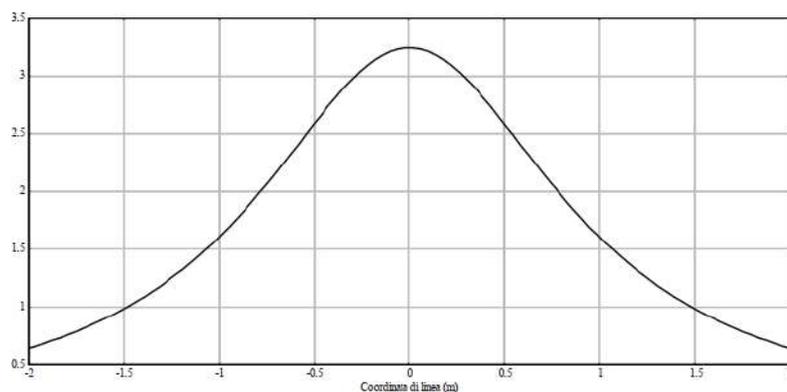


Modellizzando l'elettrodotto MT in cavo interrato mediante il software Magic della società Beshielding, il risultato viene, di seguito, proposto.

- Coordinate di riferimento: x: 0 m – y: 0 m (piano campagna).
- Elettrodotto MT: 1 terna a trifoglio con interrimento di 1 m (y=-1 m)



L'andamento dell'induzione magnetica alla quota del piano campagna (0 m), nella fascia compresa tra $x:-2$ m e $x:2$ m, è la seguente:



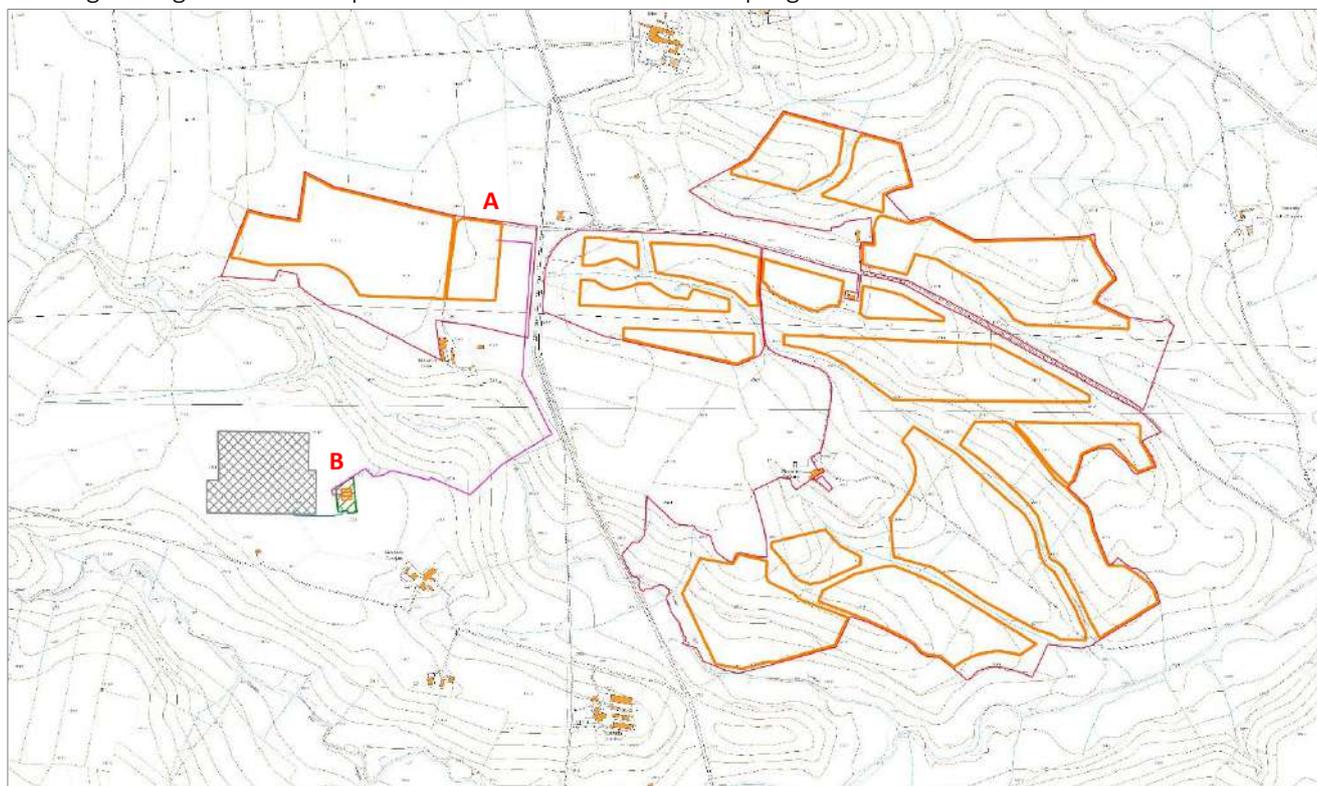
Si denota, come in corrispondenza dell'asse del cavidotto ($x: 0$ m), il valore si attesta attorno a $3,2 \mu\text{T}$, per poi decrescere simmetricamente su ambo i lati.

Anche in questo caso, se pur già rientrando nei limiti più cautelativi dei $3 \mu\text{T}$ in corrispondenza del cavidotto, non vi saranno, né all'interno delle fasce di rispetto individuate, né nelle immediate vicinanze luoghi destinati alla permanenza di persone per oltre 4 ore/giorno e non vi saranno nelle immediate vicinanze aree accessibili a persone diverse degli addetti professionalmente esposti.

CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA - CAVIDOTTI MT- CAVI INTERRATI CALCOLO FASCIA DI RISPETTO E SIMULAZIONE DPA

Dalla cabina elettrica Media Tensione presente al perimetro dell'impianto diparte l'elettrodotto MT (30 kV) interrato in cavo cordato ad elica (tipo ARG7H1R 18/30 kV) per la connessione alla rete di 132 kV che conduce alla esistente Stazione Elettrica di proprietà Terna SpA in località "Masseria Curvatta" sita a circa 1,45 km (percorso cavidotto) in direzione est dal sito oggetto d'intervento sempre in agro del Comune di Castellaneta (TA).

Nella figura seguente è ricompreso il tracciato del cavidotto in progetto:

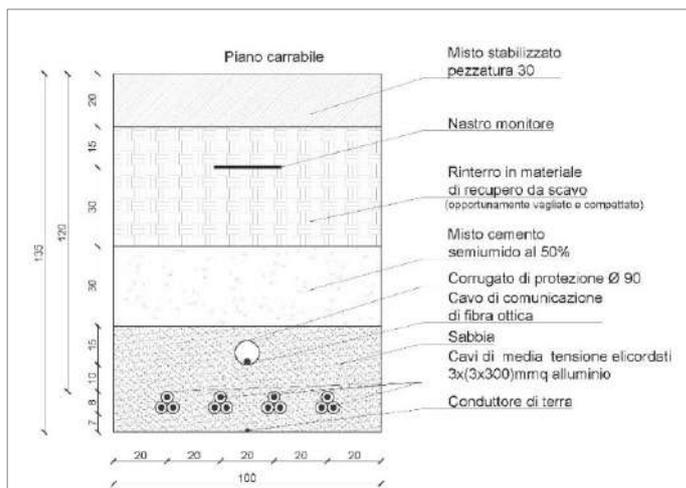


Inquadramento progetto su base CTR (rif. elaborato AR07.2)

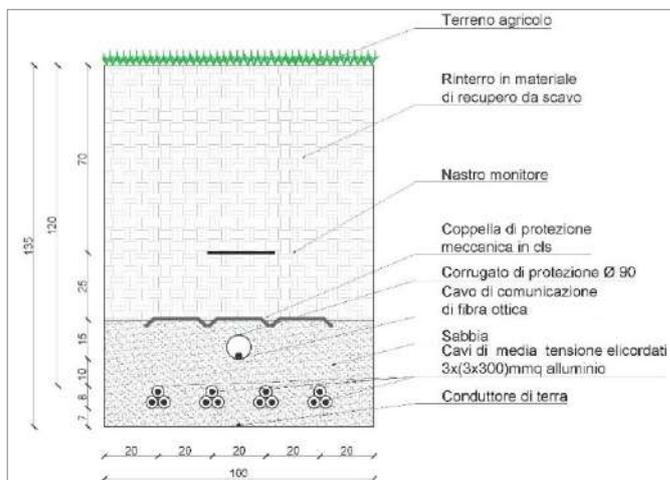
Il percorso cavidotto MT esterno prevede l'interramento di quattro terne di cavi MT lungo il seguente tratto:

CAVIDOTTO DI CONNESSIONE MT ESTERNO			
Tratto	Tipologia	Denominazione	L (m)
A-B	Tratto su terreno agricolo	-	1450

cavo ARG7H1EX 18/30 kV						
sezione mmq	portata A	n. cavi x fase teorico	n. cavi x fase	resistenza cavo Ω/km	Perdite % sulla linea	Caduta tensione %
120	295	5,1	6	0,3400	0,714%	0,712%
150	330	4,6	5	0,2770	0,698%	0,696%
185	373	4,0	5	0,2210	0,557%	0,555%
240	434	3,5	4	0,1690	0,532%	0,531%
300	489	3,1	4	0,1350	0,425%	0,424%
400	560	2,7	3	0,1060	0,445%	0,444%
500	639	2,4	3	0,0830	0,349%	0,348%
630	728	2,1	3	0,0660	0,277%	0,276%



Esempio di posa del cavidotto su strada asfaltata



Esempio di posa del cavidotto su terreno agricolo

Data :

Redattore e responsabile delle misure:

Oggetto:

SETTEMBRE 2023

DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA
IN CONVERSANO (BA)

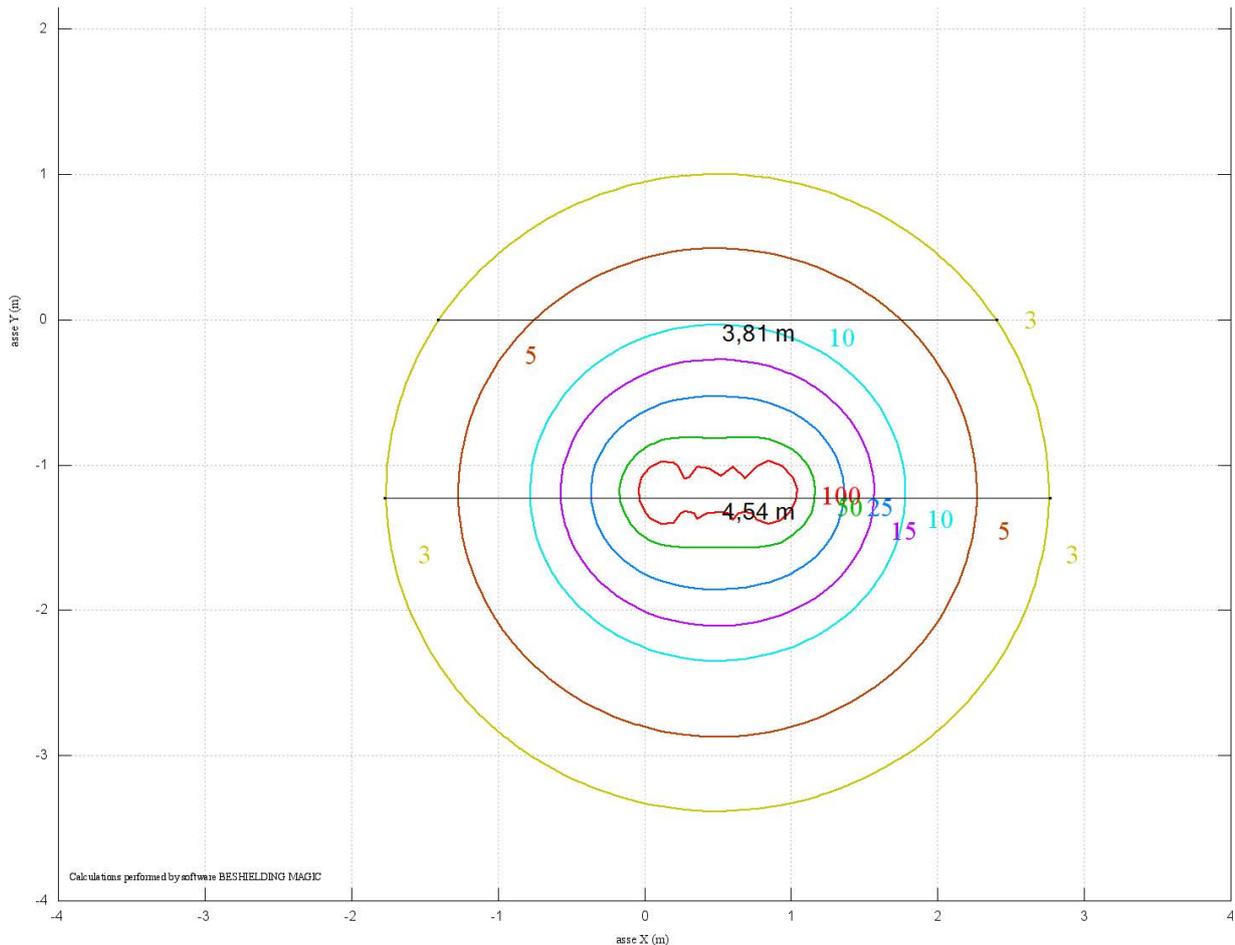
RELAZIONE SPECIALISTICA
VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

Pagina
15/22

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

Per quanto riguarda il valore del campo magnetico è stato effettuato utilizzando il software **"Magic" di BEShielding** di cui riportiamo in allegato il documento di validazione. Il software permette di calcolare i campi magnetici generati da sorgenti di tipo elettrico, quali trasformatori, sistemi di linee elettriche, cabine MT/BT, buche giunti, blindosbarre e impianti elettrici. Il software permette inoltre di determinare le fasce di rispetto per linee elettriche e cabine MT/BT, secondo quanto previsto dalla Legge Quadro n. 36/2001 (esposizione ai campi magnetici della popolazione) e dal D.Lgs. n. 81/08 (valutazione dei rischi in ambiente lavorativo). Permette inoltre di studiare le singole sorgenti (linee elettriche, cavi, sistemi multiconduttori, trasformatori) mediante configurazioni bidimensionali e tridimensionali attraverso l'integrazione della legge di Biot-Savart o lo studio di sistemi complessi, come le cabine elettriche MT/BT, tenendo conto della tridimensionalità delle sorgenti, della loro reale posizione e della sovrapposizione degli effetti delle diverse componenti.

L'intensità del campo elettromagnetico è stata calcolata utilizzando valori di corrente pari alla portata massima di ciascuna linea elettrica in cavo (quindi condizioni di calcolo molto più gravose di quelle effettive), calcolato sulla verticale dei cavidotti e nelle immediate vicinanze fino ad una distanza tra ± 5 e ± 10 m dall'asse del cavidotto; la rilevazione del campo magnetico e la determinazione delle DPA è stata fatta cautelativamente alle quote di 0m dal livello del suolo, quando invece la quota nominale cui occorrerebbe fare riferimento nelle misure di campo elettromagnetico è di +1,5m dal livello del suolo.



Al fine di fornire un valore più fruibile, si approssimerà il valore all'unità intera più vicina, in questo caso il valore della fascia di rispetto è pari a 1,6 m ca. per parte rispetto l'asse del cavidotto con una relativa DPA di 2,5 m ca sempre dall'asse del cavidotto.

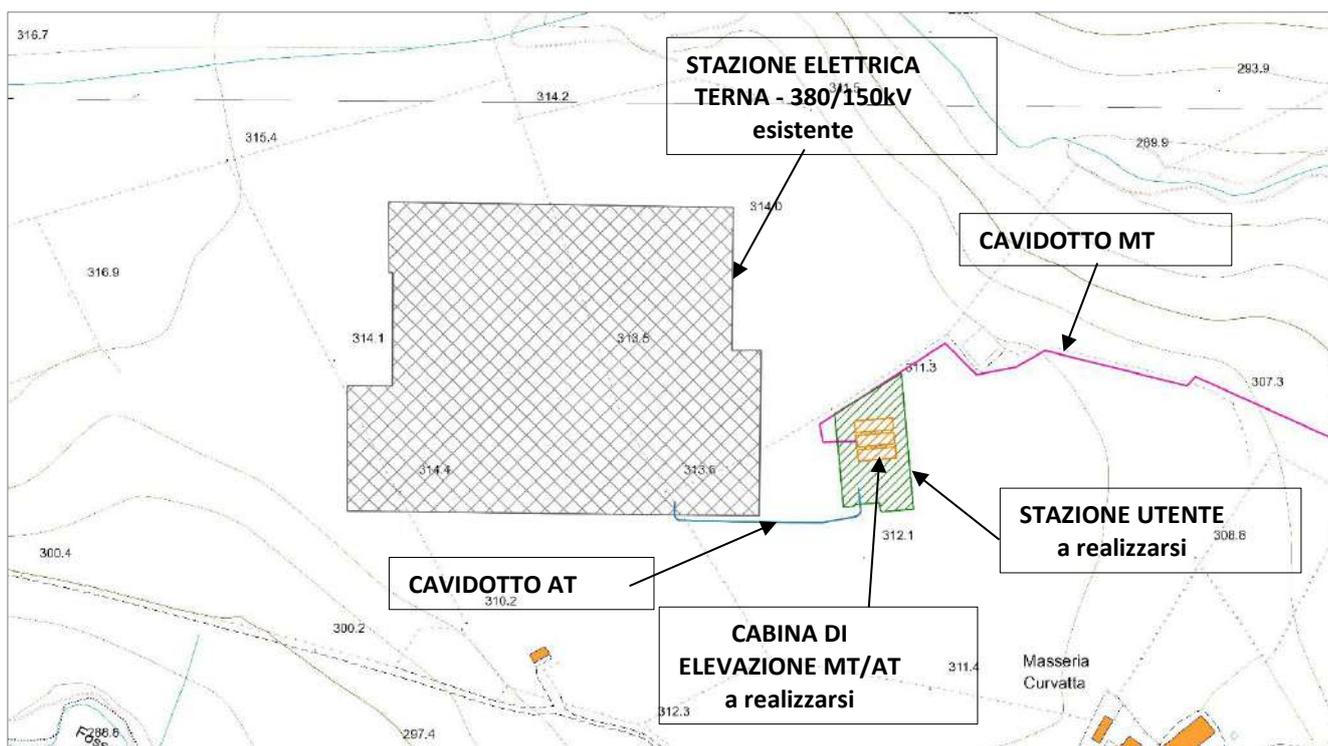
In tutto il percorso in elettrodotta (tracciato di posa dei cavi) fino al collegamento alla rete elettrica nazionale riportato nello specifico nelle pagine precedenti e nel caso si necessiti ulteriore dettaglio attraverso un confronto con le planimetrie quotate allegate al Progetto Definitivo prodotto dalla Tekne non si ravvisa all'interno della fascia di rispetto calcolata la presenza di ricettori, anche sensibili, ove è prevista la permanenza superiore alle quattro ore giornaliere al fine del rispetto dei limiti di legge fissati dal DPCM 08/07/2003 per le basse frequenze.

STAZIONE DI TRASFORMAZIONE MT/AT

La futura stazione di elevazione AT/MT a servizio dell'impianto agrovoltaico sarà ubicata in un contesto pianeggiante nell'agro del Comune di Castellaneta (TA), località "Masseria Curvatta" in prossimità dell'esistente Stazione Elettrica Terna.

Dal punto di vista catastale, la stazione utente di trasformazione 30/150 kV ricadrà nel Catasto Terreni al Foglio 17 p.lla 210, mentre il cavidotto AT 150 kV interrato ricadrà nel Catasto Terreni al Foglio 17 p.lle 101-89-167-100.

L'area di intervento è raggiungibile attraverso strade provinciali e statali, come la SP22, la SP21 e la SS7. Dal punto di vista urbanistico, l'area di progetto (per la quale valgono le considerazioni innanzi esposte in punto di sua compatibilità con l'intervento proposto) ricade in contesto rurale così come definito dal piano urbanistico generale del Comune di Castellaneta, caratterizzato da terreni attualmente destinati ad uso agricolo tra cui si evidenziano diffuse aree a seminativo semplice.



Inquadramento Stazione elettrica di elevazione AT/MT su base CTR

Per il calcolo del campo elettrico è stata seguita la metodologia illustrata nella guida di cui alla Norma CEI 211-4, considerando una superficie utile posta prima ad un'altezza di 1 m dal piano di calpestio e successivamente a 2 m dal piano di calpestio (valutazione in corrispondenza di punti in cui è possibile la presenza di un essere umano). Nella tabella che segue, che riassume i risultati ottenuti dai calcoli del campo elettrico, i valori di x ed y sono espressi in metri e si riferiscono alle due coordinate di un sistema di coordinate cartesiane (x=asse orizzontale e y=asse verticale) posto sul piano di sezione delle Sbarre A.T. avente origine sul piano di calpestio ed in corrispondenza dell'asse di simmetria delle Sbarre stesse. Data la simmetria del sistema è stato sufficiente il calcolo in una sola direzione lungo l'asse x.

I calcoli eseguiti hanno fornito i seguenti risultati per il campo elettrico:

X (m)	Y (m)	E (kV/m)
0	1	2,15
1	1	2,95
2	1	3,54
3	1	3,70
4	1	3,44

5	1	2,90
0	2	4,26
1	2	4,22
2	2	4,41
3	2	4,46
4	2	3,97
5	2	3,15

Dai risultati sopra riportati risulta evidente che anche nel punto più sfavorito (cioè sotto le Sbarre A.T.) il valore del campo elettrico risulta inferiore al limite di 5 kV/m previsto dalla normativa vigente, pertanto tali fonti di emissione non richiedono alcuna fascia di rispetto.

Per il calcolo del campo magnetico è stata seguita la metodologia illustrata nella guida di cui alla Norma CEI 211-4, considerando come superficie utile quella posta ad un'altezza di 1 m dal piano di calpestio, valutando la DPA, cioè la distanza dall'asse dell'elettrodotto, approssimata al metro per eccesso, alla quale il campo magnetico risulta inferiore al valore di 3 µT previsto dal DPCM 8 Luglio 2003 come obiettivo di qualità.

I valori ottenuti sono stati confrontati, per analogia, con quelli riportati nel caso A16 della "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08" emanata da ENEL Distribuzione S.p.A., riscontrando la congruità dei risultati ottenuti. Dai calcoli eseguiti è risultata una DPA pari a 4 m considerando la corrente di impiego.

AREA STAZIONE PRIMARIA

Non sono note le caratteristiche degli elementi posti come consegna in stazione primaria.

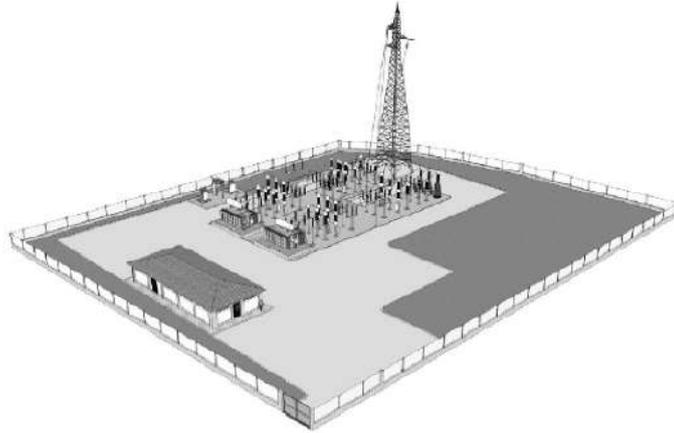
Ad ogni buon conto, nella stazione di utenza le sorgenti di campi elettrici e magnetici sono essenzialmente il trasformatore da 20 MVA, le sbarre AT e le sbarre MT del locale tecnico.

La stazione di utenza viene realizzata in accordo alle norme CEI per cui la distanza di prima approssimazione rientra nel perimetro dell'impianto in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro.

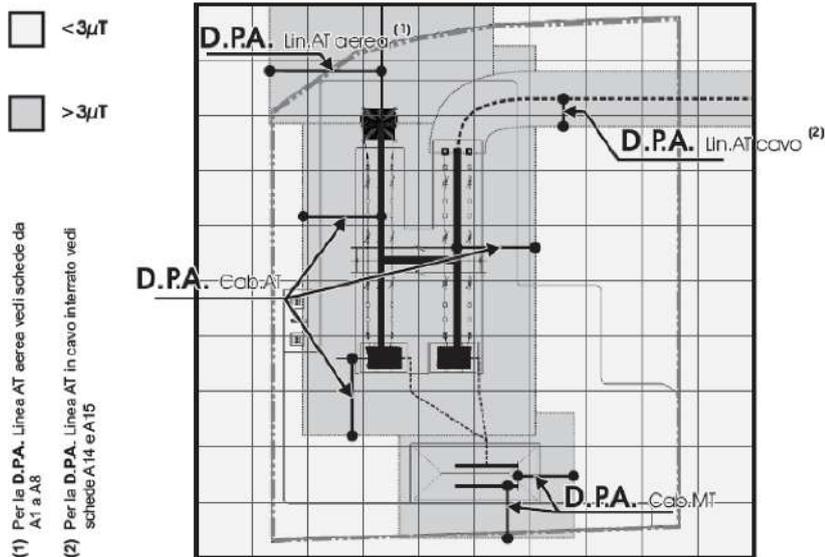
Si rammenta inoltre che nelle condizioni di normale esercizio, in stazione non vi sarà presenza di personale salvo per operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

A titolo di esempio si riportano le DPA per cabine primarie 132/150-15/20kV con trasformatore 150/30kV da 63MVA le cui distanze di prima approssimazione (DPA) sono espresse nella scheda sintetica A16 della "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 - Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche" di ENEL.

A16 - Cabina primaria isolata in aria (132/150-15/20 kV)



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



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

1. ANALISI DELL'ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI E CONCLUSIONI

Partendo dai dati di progetto con la presente relazione tecnica si è analizzato l'impatto della componente elettromagnetica prevista in vari punti dell'impianto agrivoltaico, denominato "CASTELLANETA", installato su strutture metalliche ancorate su terreno agricolo nel comune di Castellaneta (TA) - Catasto Terreni, Foglio 16 p.lla 419, Foglio 18 p.lle 25-94-97-38-333-464-465-331-37-217-332-554-197-198-561-560-555-558-33-34-42-541-542-93-41-540-43-150-199-122-31-59-95-563-564; Stazione utente con cabina di elevazione: Fig. 17, p.lla 210, e delle relative opere ed infrastrutture connesse e necessarie per la realizzazione dell'impianto stesso, ossia le cabine di utenza e le cabine di raccolta con relativi raccordi a mezzo di cavidotti alla RTN c/o la Stazione elettrica Terna esistente denominata "Castellaneta".

Principalmente, per quanto attiene l'**esposizione della popolazione** è stato dimostrato previsionalmente che la limitazione dell'accesso all'impianto a persone non autorizzate e la ridotta presenza di potenziali ricettori garantisce ampiamente di rispettare la distanza di sicurezza tra persone e sorgenti di campi elettromagnetici. Distanze queste dettate dalla normativa italiana, sia per la popolazione che per i **lavoratori professionalmente esposti** che si è richiamata pure in relazione (v. par. 2 e 3) e per la quale si rimanda per il dettaglio all'*Allegato A*.

Per tutte le cabine di campo e i cavidotti interni previsti in progetto si può affermare che le D.P.A. nel caso esaminato in questa relazione abbiano un ordine di grandezza stimato in poche unità di metri e quindi comprendente una ridotta area nell'intorno delle cabine stesse e ricadente dentro la superficie di pertinenza del parco agrivoltaico.

All'interno delle aree dell'attività, infatti, ci sarà presenza umana in fase di cantiere quando però gli elementi elettrici non saranno ancora entrati in funzione e quindi non ci sarà rischio di esposizione da campi elettromagnetici prodotti dall'impianto, mentre per la valutazione dell'esposizione professionale in fase di esercizio, pur rientrando nei limiti assoluti ammissibili dettati dalla normativa di settore in fase previsionale, si dovrà provvedere alla misura effettiva e allo studio della reale configurazione di impianto. Nella fase di esercizio, infatti, non si esclude la presenza di personale per interventi di manutenzione sugli elementi di varie parti dell'impianto. Il suddetto personale sarà addestrato ad utilizzare tutti gli accorgimenti di legge per assicurare la massima sicurezza in fase di lavoro comprendendo quindi anche la sosta limitata davanti agli elementi radianti entro il limite della D.P.A. prevista per la popolazione.

In sintesi, l'impatto prodotto dai campi elettrici e magnetici generati dalle cabine di trasformazione è limitato ad una ridotta superficie nell'intorno delle cabine stesse, che comunque rientra nella proprietà ove insistono gli impianti e non è accessibile al pubblico, mentre il campo magnetico prodotto dai cavi di consegna in MT si è abbattuto adottando come soluzione progettuale l'interramento dei principali cavidotti interrando a più di un metro i cavi di Media e

Data :	Redattore e responsabile delle misure:	Oggetto:	Pagina
SETTEMBRE 2023	DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA IN CONVERSANO (BA)	RELAZIONE SPECIALISTICA VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	21/22

Bassa Tensione. In particolare, per quanto riguarda i cavidotti interrati per l'allaccio dell'impianto alla rete elettrica nazionale che insistono prevalentemente su strada pubblica, i principali elementi che caratterizzano l'induzione magnetica sono la corrente di esercizio e la potenza trasportata che, così come dimostrato in relazione, non sono in grado di apportare effetti negativi all'ambiente circostante e alla salute pubblica.

In tutto il percorso in elettrodotto (tracciato di posa dei cavi) fino al collegamento alla rete elettrica nazionale riportato nello specifico nelle pagine precedenti e nel caso si necessiti ulteriore dettaglio attraverso un confronto con le planimetrie quotate non si ravvisa all'interno della fascia di rispetto calcolata la presenza di ricettori, anche sensibili, ove è prevista la permanenza superiore alle quattro ore giornaliere al fine del rispetto dei limiti di legge fissati dal DPCM 08/07/2003 per le basse frequenze.

Si può quindi concludere che il costruendo impianto agrivoltaico in oggetto e le opere annesse non producono effetti negativi sulle risorse ambientali e sulla salute pubblica nel rispetto degli standard di sicurezza e dei limiti prescritti dalle vigenti norme in materia di esposizione a campi elettromagnetici.

Redattore

Dott. Ing. Pasquale FANTASIA



ALLEGATO A

normativa di riferimento sintesi commentata

Per quanto riguarda le normative sulla protezione della popolazione da campi elettromagnetici, la situazione europea non risulta omogenea. Una prima distinzione viene fatta tra gli stati che hanno scelto di emanare specifiche linee guida, raccomandazioni e gli stati che hanno adottato strumenti legislativi come leggi e decreti. Una seconda distinzione può essere effettuata tra gli stati che seguono le linee guida emanate dall'ICNIRP e quelle che seguono standard diversi. Alcune nazioni infatti non seguono le linee guida ICNIRP ed impongono limiti normativi più stringenti.

La federazione Russa impone un limite di 10 μT per la popolazione e di 100 μT limitatamente ai campi magnetici alla frequenza di 50 Hz. In Polonia il limite per la popolazione è pari a 48 μT mentre quello per i lavoratori è pari a 160 μT (50Hz). Altre nazioni hanno limiti specifici [vedi documenti 1-2-3]

Ad esempio, in Svizzera i livelli di riferimento ICNIRP vengono applicati per la protezione contro comprovati effetti negativi sulla salute: essi devono essere rispettati in tutti i luoghi accessibili a persone. Inoltre la Svizzera ha delle limitazioni preventive delle emissioni, denominate valori limite di installazione (ILV), per luoghi a utilizzazione sensibile (ad esempio appartamenti, scuole, ospedali, luoghi di lavoro permanenti, parchi giochi per bambini). Per le linee elettriche di alimentazione, stazioni di trasformazione, sottostazioni elettriche e le ferrovie la ILV è pari ad 1 μT e di conseguenza ogni nuova installazione non deve provocare l'innalzamento dei valori di induzione magnetica superiore a 1 μT rispetto al valore presente prima dell'installazione dell'infrastruttura elettrica.

Normativa Italiana

La Legge quadro 36/01 del 22 febbraio 2001 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, è il primo testo di legge organico che disciplina in materia di campi elettromagnetici.

La legge riguarda tutti gli impianti, i sistemi e le apparecchiature per usi civili e militari che possono produrre l'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai campi elettromagnetici compresi tra 0 Hz (Hertz) e 300 GHz (GigaHertz).

Il provvedimento indica più livelli di riferimento per l'esposizione

- Limiti di esposizione che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione per la tutela della salute dagli effetti acuti;
- Valori di attenzione che non devono essere superati negli ambienti adibiti a permanenze prolungate per la protezione da possibili effetti a lungo termine;
- Obiettivi di qualità da conseguire nel breve, medio e lungo periodo per la minimizzazione delle esposizioni, con riferimento a possibili effetti a lungo termine.

DPCM 8/7/2003

Il decreto citato rappresenta il decreto attuativo della: "Legge quadro sulla protezione delle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", del 22 Febbraio 2001, n. 36, pubblicata nella GU n. 55 del 7/3/2001, relativamente all'alta frequenza. Senza entrare nel merito della legge quadro, il DPCM 8/7/2003 definisce: "Fissazioni 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**".

I limiti fissati dalla legge non si applicano ai lavoratori esposti per motivi professionali. Per le esposizioni a campi a frequenze comprese tra **0 e 100 kHz**, generati da sorgenti non riconducibili agli elettrodotti, si applica l'insieme delle restrizioni stabilite nella raccomandazione del **Consiglio dell'Unione Europea del 12/07/99 (quindi linee guida ICNIRP)**.

La legge ed il relativo decreto hanno introdotto il concetto del **valore di attenzione** e degli **obiettivi di qualità**.

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 μT** per l'induzione magnetica e **5 kV/m** per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

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 μT** , da intendersi come **mediana dei valori nell'arco delle 24 ore** nelle **normali condizioni di esercizio**.

Particolarmente importante è l'art. 4 del decreto che indica come 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 μT** per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

ALLEGATO A – normativa di riferimento dettaglio

Legislazione

[1] Legge 22.02.2001, n.36 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”, GU SG n.55, 07.03.2001.

Rappresenta la legge di riferimento in materia di esposizione della popolazione e dei lavoratori ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. Stabilisce i compiti e gli ambiti di competenza dei diversi organismi dello Stato.

Definisce i concetti e i criteri di riferimento quali la fascia di rispetto, intesa come la zona in cui “non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore”, e l’obiettivo di qualità per i campi, inteso come il limite fissato “ai fini della progressiva miticizzazione dell’esposizione”.

[2] DPCM 08.07.2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati dagli elettrodotti”, GU SG n.200, 29.08.2003. Costituisce il decreto attuativo della L. 36/2001. Individua i limiti di esposizione in 5 kV/m per il campo elettrico e 100 μ T per il campo di induzione magnetica, in termini di valori efficaci. Precisa il concetto di obiettivo di qualità fissandone i valori per il campo di induzione magnetica in 3 μ T, in termini di valore efficace.

Non si applica ai lavoratori esposti per ragioni professionali.

[3] Decreto del Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare 29.05.2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”, SO GU n.156, 05.07.2008.

Costituisce il decreto attuativo della L. 36/2001 ai fini della determinazione delle metodologie di calcolo dei campi di induzione magnetica.

Introduce il concetto di Distanza di prima Approssimazione (DpA) che, rappresentando una approssimazione della “fascia di rispetto”, individua, sul terreno, una fascia all’esterno della quale è sicuramente garantito il rispetto dell’obiettivo di qualità.

[4] D.Lgs. 19.11.2007 n.257 “Attuazione della direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)”, GU SG n.9, 11.01.2008.

Costituisce la normativa di riferimento in materia per la valutazione dell’esposizione dei lavoratori esposti per ragioni professionali ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici.

La direttiva 2004/40/CE mira ad introdurre misure di protezione dei lavoratori contro i rischi associati ai campi elettromagnetici, creando per tutti i lavoratori una piattaforma minima di protezione che eviti possibili distorsioni di concorrenza. La direttiva non riguarda, tuttavia, gli effetti a lungo termine, inclusi eventuali effetti cancerogeni dell’esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo, per cui mancano dati scientifici conclusivi che comprovino un nesso di causalità. Nella direttiva si precisa anche che la riduzione dell’esposizione ai campi

elettromagnetici può essere realizzata in maniera più efficace attraverso l'applicazione di misure preventive fin dalla progettazione dei posti di lavoro, nonché attraverso la scelta delle attrezzature, dei procedimenti e metodi di lavoro.

La direttiva precisa, inoltre, che l'aderenza ai valori limite introdotti dovrebbe fornire un elevato livello di protezione rispetto agli effetti accertati sulla salute, ma non evita necessariamente i problemi di interferenza o effetti sul funzionamento di dispositivi medici quali protesi metalliche, stimolatori cardiaci e defibrillatori, impianti cocleari e di altro tipo; problemi di interferenza specialmente con gli stimolatori cardiaci possono verificarsi anche per valori inferiori ai valori limite ed esigono, quindi, appropriate precauzioni e misure protettive.

In sintesi, la direttiva 2004/40/CE :

- Stabilisce prescrizioni minime di protezione dei lavoratori dall'esposizione ai campi elettromagnetici (da 0 a 300 GHz) durante il lavoro (art. 1).
- Riguarda gli effetti nocivi a breve termine conosciuti nel corpo umano derivanti dalla circolazione di correnti indotte e dall'assorbimento di energia, nonché da correnti di contatto (art. 2).
- Non riguarda effetti ipotizzati a lungo termine (art. 3).
- Non riguarda i rischi risultanti da contatto con i conduttori in tensione. La direttiva introduce due tipologie di valori limite (art. 2):
 - I valori limite di esposizione, basati direttamente sugli effetti sulla salute accertati e su considerazioni biologiche. Il rispetto di questi limiti garantisce che i lavoratori esposti ai campi elettromagnetici sono protetti contro tutti gli effetti nocivi per la salute conosciuti.
 - I valori di azione, ossia l'entità dei parametri direttamente misurabili, espressi in termini di intensità di campo elettrico (E), intensità di campo magnetico (H), induzione magnetica (B) e densità di potenza (S), che determina l'obbligo di adottare una o più delle misure specificate nella presente direttiva. Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei pertinenti valori limite di esposizione.

[5] D.Lgs. 09.04.2008 n.81 "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro", GU SG n.101, 30.04.2008. È il Testo Unico per la sicurezza. Al CAPO IV "PROTEZIONE DEI LAVORATORI DAI RISCHI DI ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI" viene trattata la tematica dell'esposizione dei lavoratori. Agli allegati XXXVI, lettera A, tabella 1 e XXXVI, lettera B, tabella 2. Sono rispettivamente riportati i limiti di esposizione e i valori di azione, in perfetta analogia con la Direttiva 2004/40/CE.

[6] Decreto interministeriale 21 marzo 1988, n. 449 "Approvazione nelle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne", GU SG n.79, 05.04.1988.

Costituisce la norma tecnica attuativa del Decreto Ministeriale 21 marzo 1988 n. 339.

Riporta la classificazione delle linee elettriche aeree esterne e le indicazioni tecniche per la loro costruzione e il loro esercizio.

[1] CEI 106-11 Fasc.8149 2006-02 "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".

La metodologia di calcolo illustrata nella guida è basata sull'algoritmo bidimensionale normalizzato nella CEI 211-4, considerato idoneo per la maggior parte delle situazioni pratiche riscontrabili per le linee elettriche aeree o in cavo interrato.

Nella Guida vengono presentate anche alcune formule analitiche semplificate che, per le distanze di interesse, forniscono risultati in buon accordo con quelli ottenibili con l'algoritmo normalizzato.

La metodologia può essere applicata per qualsiasi livello di riferimento dell'induzione magnetica, ma, in considerazione dell'applicazione del DPCM 8 luglio 2003, le esemplificazioni riportate sono soprattutto sviluppate con riferimento ad un valore di induzione magnetica pari all'obiettivo di qualità di 3 m T di cui all'art. 4 del DPCM stesso, considerando la portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto dichiarata dal gestore (Articolo 6 del DPCM) in forma parametrica come "corrente di riferimento".

Con l'ausilio della metodologia di calcolo illustrata nella guida, la fascia di rispetto viene determinata come "lo spazio circostante i conduttori di una linea elettrica aerea, o in cavo interrato, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale ad un valore prefissato, in particolare all'obiettivo di qualità" inteso come 3 μ T per il valore efficace di induzione magnetica.

[2] CEI 211-4 Fasc.9482 2008-09 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e stazioni elettriche".

La presente Guida ha lo scopo di fornire gli elementi fondamentali per il calcolo dei campi elettrici e magnetici a 50 Hz generati da linee, aeree e in cavo, e da cabine e stazioni elettriche. Essa è una revisione della Guida CEI 211-4:1996, per integrarla con metodi di calcolo del campo magnetico applicabili a molte situazioni di interesse pratico non coperte dalla

precedente edizione; fornisce inoltre indicazioni generali sulle metodologie disponibili per il calcolo del campo elettrico.

La Guida CEI 211-4:1996 era stata infatti redatta per formulare un metodo di calcolo del campo elettrico e del campo magnetico generati dalle linee elettriche aeree, che coprisse i casi di maggiore interesse riscontrabili in pratica per tali linee. Non era però applicabile a tutte le geometrie di linee aeree e in cavo e alle stazioni elettriche perché i metodi esposti nella suddetta precedente edizione, sviluppati limitatamente a geometrie bidimensionali, restavano applicabili soltanto alle linee, aeree e in cavo, nell'intorno delle quali i conduttori potevano essere considerati paralleli tra di loro e rispetto alla superficie del terreno (perlomeno per un tratto sufficientemente lungo rispetto alle distanze tra i conduttori stessi).

Definisce i simboli e le formule e le procedure da utilizzare negli schemi di calcolo.

[3] CEI 11-17 Fasc.8402 2006-07 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo".

La norma si applica alle linee in cavo per la produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica a bassa, media ed alta tensione; si applica altresì alle linee in cavo per impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale superiore a 1000 V in corrente alternata ed a 1500 V in corrente continua, quando non esistano Norme in merito.

La Norma ha lo scopo di fornire prescrizioni necessarie alla progettazione, all'esecuzione, alle verifiche e all'esercizio delle linee di energia in cavo a corrente sia alternata sia continua, nuove ed alle loro trasformazioni radicali.

La presente Norma non si applica alle linee aeree in cavo per esterno, che sono oggetto della Norma CEI 11-4. Detta gli elementi per il calcolo della "portata in regime permanente" da utilizzare nei calcoli delle fasce di rispetto.

[4] CEI 11-4 Fasc.4644 C 1998-09 "Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne".

La Norma tratta le linee elettriche aeree esterne. Essa si applica altresì alle linee situate in zone sismiche e tiene luogo integralmente delle disposizioni tecniche ed amministrative di cui alle leggi n. 1684 del 25.11.1962 e n. 64 del 2.2.1974. La Norma è stata pubblicata come regolamento di esecuzione della legge 28 giugno 1986, n. 339, con Decreto Ministeriale 21 marzo 1988, sul supplemento della Gazzetta Ufficiale n. 79 del 5 aprile 1988.

In sintesi, lo Stato Italiano ha definito i limiti, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti con il **D.P.C.M. 08 luglio 2003** pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.200 del 29.08.2003.

Limiti di esposizione (art. 3, comma 1)

Induzione magnetica (μT)	Campo elettrico (V/m)
100	5000

Valori di attenzione* (art. 3, comma 2)

Induzione magnetica (μT)
10

* Da applicarsi "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" e "da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio".

Obiettivi di qualità* (art. 4)

Induzione magnetica (μT)
3

Da applicarsi "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" e " da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio".

ALLEGATO B

Effetti Dei Campi Elettromagnetici sugli Esseri Umani

I campi elettrici e magnetici variabili nel tempo interagiscono con la materia, costituita da particelle dotate di carica elettrica, ed in particolare interagiscono con la materia costituente i sistemi biologici quali cellule od organismi complessi come piante ed animali.

Per quantificare correttamente l'energia assorbita da un materiale, più in particolare dal tessuto umano, si ricorre a grandezze dosimetriche. Queste esprimono densità di corrente, densità di potenza ed energia assorbiti per unità di superficie o di massa. Vengono quindi definite:

- **DENSITÀ DI CORRENTE 'J'**: è definita come la corrente che passa attraverso una sezione unitaria perpendicolare alla sua direzione in un volume conduttore quale il corpo umano o una sua parte. E' espressa in A/m^2 .
- **DENSITÀ DI POTENZA 'S'**: si impiega nel caso di frequenze molto alte per le quali la profondità di penetrazione nel corpo è modesta; si tratta della potenza radiante incidente perpendicolarmente a una superficie, divisa per l'area della superficie stessa; e espressa in W/m^2 .
- **ASSORBIMENTO SPECIFICO DI ENERGIA 'SA'**: si definisce come l'energia assorbita per unità di massa di tessuto biologico e si esprime in Joule/kg.
- **TASSO DI ASSORBIMENTO SPECIFICO DI ENERGIA 'SAR'**: Si tratta del valore mediato su tutto il corpo o su alcune parti di esso, del tasso di assorbimento di energia per unità di massa del tessuto corporeo. Sono utilizzati sia il SAR mediato su tutto il corpo, sia valori locali per valutare e limitare la deposizione eccessiva di energia in parti piccole del corpo conseguenti a particolari condizioni di esposizione. Viene misurato in W/kg .

Le grandezze appena citate sono utilizzate come riferimento per quantificare gli effetti sul corpo umano e definiscono i limiti di esposizione. Queste però non possono essere misurate direttamente sull'individuo esposto per valutare l'intensità della radiazione, per cui si ricorre a grandezze fisiche direttamente misurabili come campo magnetico ed induzione. I limiti di azione infatti, sono definiti in termini di modulo dell'induzione magnetica e del campo magnetico, ricavati attraverso modelli matematici di simulazione del comportamento del corpo umano.

Alle basse frequenze il corpo riesce ad attenuare il campo elettrico all'aumentare della frequenza, in quanto aumenta la costante dielettrica del tessuto rispetto all'aria; questo viene quindi efficacemente schermato. Viceversa il campo magnetico ovvero l'induzione magnetica resta pressoché costante in quanto i tessuti non possiedono proprietà magnetiche e quindi la loro permeabilità magnetica risulta uguale a quella dell'aria; di conseguenza l'organismo non attenua il campo magnetico. Si comprende quindi come il campo magnetico sia l'agente inquinante prevalente ai fini degli effetti biologici che si manifestano alle basse frequenze. Gli effetti diretti, a breve termine o acuti, dovuti ai campi elettromagnetici sono ben rappresentati dalla densità di corrente (A/m^2).

Densità di corrente J [mA/m^2]	Effetti
$J > 1000$	Extrasistole e fibrillazione: rischi ben determinati
$100 < J < 1000$	Stimolazione tessuti: possibili rischi
$10 < J < 100$	Possibili effetti sul sistema nervoso
$1 < J < 10$	Effetti biologici minori

Redattore e responsabile delle misure:

DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA
IN CONVERSANO (BA)

Oggetto:

RELAZIONE SPECIALISTICA PER IMPIANTO FOTOVOLTAICO
VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

Allegato B

ALLEGATO B

Effetti Dei Campi Elettromagnetici sugli Esseri Umani

Un'altra categoria di effetti sanitari è quella degli effetti a lungo termine che possono essere conseguenza di esposizioni prolungate (anche anni) a livelli di campo anche molto inferiori a quelli connessi agli effetti a breve termine.

Tutti gli effetti conosciuti dovuti a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo sono dovuti all'induzione di campi e correnti all'interno dell'organismo esposto.

I campi elettrici esercitano delle forze su qualsiasi particella caricata elettricamente come possono essere gli ioni nei liquidi. Di conseguenza tutte le particelle che vengono investite da un campo elettrico si muovono fino a raggiungere una disposizione superficiale di equilibrio elettrostatico tale per cui all'interno del corpo umano il campo è nullo.

Nel caso in cui il campo elettrico sia variabile nel tempo le cariche modificano la loro posizione in funzione del segno del campo cercando continuamente di raggiungere l'equilibrio, creando di conseguenza un moto alternato di cariche sulla superficie (corrente elettrica indotta dal campo elettrico variabile) che aumenta di intensità all'aumentare della frequenza con cui varia il campo inducente.

In presenza di campo magnetico variabile nel tempo, invece, si attiva un meccanismo diverso in quanto questo campo genera nello spazio circostante un campo elettrico variabile nel tempo. Se il campo elettrico variabile viene prodotto direttamente all'interno del corpo umano, genera una corrente elettrica secondo la legge di Ohm: $J = \sigma E$.

Mentre il campo elettrico come fonte principale genera correnti superficiali al corpo, il campo magnetico provoca la circolazione di correnti all'interno del corpo stesso interessando parti molto più delicate.

Il campo elettrico generato da un campo magnetico variabile ha una distribuzione spaziale che si può visualizzare tramite linee di forza chiuse su se stesse e concatenate con le linee di forza del campo magnetico (vedi Fig. 1).

L'induzione di campi e correnti elettriche all'interno del corpo umano dà quindi luogo a due effetti biologici, entrambi potenziali cause di effetti sanitari, quelli connessi alla stimolazione elettrica dei tessuti muscolari e nervosi, e gli effetti termici connessi al riscaldamento per effetto Joule.

Quando gli effetti di questi due fenomeni si presentano subito dopo l'esposizione ai campi, si può parlare di effetti a breve termine, mentre quando si presentano dopo un certo numero di anni per un'esposizione prolungata a valori di campo inferiori si parla di effetti a lungo termine.

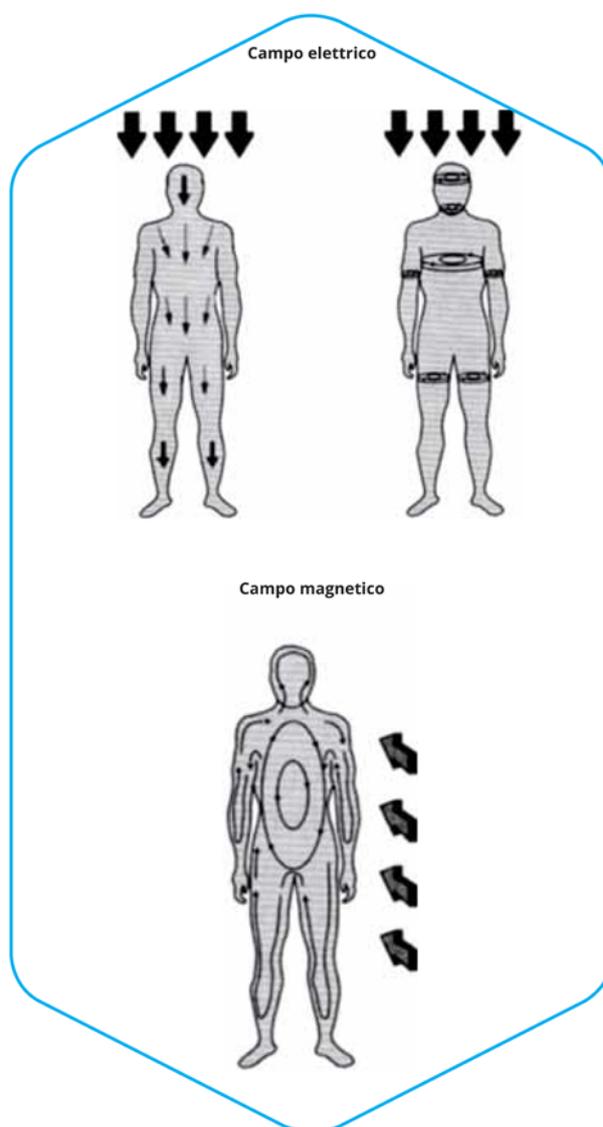


Fig. 1 - Correnti indotte nel corpo umano dall'esposizione a un campo E (verticale) o a un campo H (verticale o orizzontale)

Redattore e responsabile delle misure:

DOTT. ING. PASQUALE FANTASIA
IN CONVERSANO (BA)

Oggetto:

RELAZIONE SPECIALISTICA PER IMPIANTO FOTOVOLTAICO
VALUTAZIONE PREVISIONALE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

Allegato C



Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08

Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche



Enel Distribuzione SpA - Società con socio unico - Sede Legale 00198 Roma, Via Ombrone 2 - Registro Imprese di Roma, C.F. e P.I. 0577971000 - R.E.A. 922436 - Capitale Sociale Euro 2.600.000.000,00 i.v. - Direzione e coordinamento di Enel Spa

PREMESSA

Il presente documento è stato elaborato da Enel Distribuzione S.p.A., a cura della funzione Qualità, Sicurezza ed Ambiente (QSA) in collaborazione con la funzione Ingegneria ed Unificazione (IUN), quale supporto tecnico all'applicazione del § 5.1.3 (Procedimento semplificato: calcolo della distanza di prima approssimazione) dell'Allegato al DM 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008) "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti".

Enel Distribuzione S.p.A. è presente su gran parte del territorio nazionale e, su base territoriale, è organizzata in Unità Produttive simili che operano in attuazione di un Sistema di Gestione Ambientale, certificato conforme allo standard internazionale ISO 14001. Nell'ottica del miglioramento continuo del Sistema di Gestione Ambientale è stata realizzata l'Istruzione Operativa "Campi magnetici da correnti a 50 Hz - Distanza di Prima Approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche". Detta Istruzione è stata emessa al fine di dare un indirizzo comune a tutte le Unità Produttive relativamente all'iter autorizzativo per la costruzione ed esercizio degli elettrodotti (linee e cabine elettriche) ed alla fornitura di dati tecnici su richiesta delle amministrazioni locali, in sede di progettazioni di nuovi luoghi tutelati pubblici o privati.

Enel Distribuzione S.p.A., in relazione alla diffusa sensibilità in merito all'esposizione ai campi magnetici, ha realizzato, in analogia con la sopra citata Istruzione, la presente Linea Guida ad uso pubblico, al fine di semplificare ed uniformare l'approccio al calcolo della Distanza di Prima Approssimazione (procedimento semplificato per il calcolo della fascia di rispetto) dei propri impianti, fruibile sia da parte di privati in sede di realizzazione di nuovi insediamenti, che da parte degli organi di controllo in sede di verifica. La valenza della presente Linea Guida è nelle schede sintetiche riferite alla visualizzazione grafica e numerica delle DPA (calcolata in conformità alla norma CEI 211-4) per le tipologie standard di linee e cabine elettriche AT ed MT di proprietà Enel Distribuzione S.p.A.

INDICE

OBIETTIVO ED AMBITO DI APPLICAZIONE	4
RIFERIMENTI.....	6
DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI.....	7
METODOLOGIA DI CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO/DPA	9
DPA DI LINEE E CABINE	12
ALLEGATO A “DPA per Linee AT e Cabine Primarie”	14
ALLEGATO B “DPA per Linee MT e Cabine Secondarie”	34

OBIETTIVO ED AMBITO DI APPLICAZIONE

Ai fini della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati da linee e cabine elettriche, il DPCM 8 luglio 2003 (artt. 3 e 4) fissa, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c. 2):

- i limiti di esposizione del campo elettrico¹ (5 kV/m) e del campo magnetico (100 μ T) come valori efficaci, per la protezione da possibili effetti a breve termine;
- il valore di attenzione (10 μ T) e l'obiettivo di qualità (3 μ T) del campo magnetico da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere (luoghi tutelati)².

Il **valore di attenzione** si riferisce ai luoghi tutelati esistenti nei pressi di elettrodotti esistenti; **l'obiettivo di qualità** si riferisce, invece, alla progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati esistenti o alla progettazione di nuovi luoghi tutelati nei pressi di elettrodotti esistenti. Il DPCM 8 luglio 2003, all'art. 6, in attuazione della Legge 36/01 (art. 4 c. 1 lettera h), introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto, definita nell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (*Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti*). Detta fascia comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

“La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti” prevede una procedura semplificata di valutazione con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA), oggetto della presente Linea Guida. Detta DPA, nel rispetto dell'obiettivo di qualità di 3 μ T del campo magnetico (art. 4 del DPCM 8 luglio 2003), si applica nel caso di:

- realizzazione di nuovi elettrodotti (inclusi potenziamenti) in prossimità di luoghi tutelati;
- progettazione di nuovi luoghi tutelati in prossimità di elettrodotti esistenti.

In particolare, al fine di agevolare/semplificare:

- l'iter autorizzativo relativo alla costruzione ed esercizio degli elettrodotti (linee e cabine elettriche);
- le attività di gestione territoriale relative a progettazioni di nuovi luoghi tutelati e a richieste di redazione dei piani di gestione territoriale, inoltrate dalle amministrazioni locali;

sono state elaborate le schede sintetiche con le DPA per le tipologie ricorrenti di linee e cabine elettriche di proprietà Enel Distribuzione di nuova realizzazione e che possono essere prese a riferimento anche per gli elettrodotti in esercizio. Dette distanze sono state

¹ Il campo elettrico al suolo in prossimità di elettrodotti a tensione uguale o inferiore a 150 kV, come da misure e valutazioni, non supera mai il limite di esposizione per la popolazione di 5 kV/m.

² Nel successivo § 4 sono contenute le definizioni normative dei limiti di esposizione, del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità.

calcolate in conformità al procedimento semplificato per il calcolo della fascia di rispetto di cui al § 5.1.3 del Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008).

Nelle schede sintetiche sopra citate, allegate alla presente Linea Guida, sono tabellate le DPA, in relazione alla geometria dei conduttori e alla portata di corrente in servizio normale, delle:

- A) linee AT e Cabine Primarie (CP);
- B) linee MT e Cabine Secondarie (CS).

Anche per casi complessi, individuati dal suddetto § 5.1.3 (parallelismi, incroci tra linee, derivazioni o cambi di direzioni) è previsto un procedimento semplificato che permette di individuare aree di prima approssimazione (secondo quanto previsto nel successivo § 5.1.4), che hanno la medesima valenza delle DPA.

Le DPA permettono, nella maggior parte delle situazioni, una valutazione esaustiva dell'esposizione ai campi magnetici.

Si precisa, inoltre, che secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 sopra citato (§ 3.2), la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 si applica alle **linee elettriche aeree ed interrato**, esistenti ed in progetto ad esclusione di:

- linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50 Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);
- linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);
- linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);
- linee di Media Tensione in cavo cordato ad elica (interrate o aeree - *Figura 1*);

in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i.

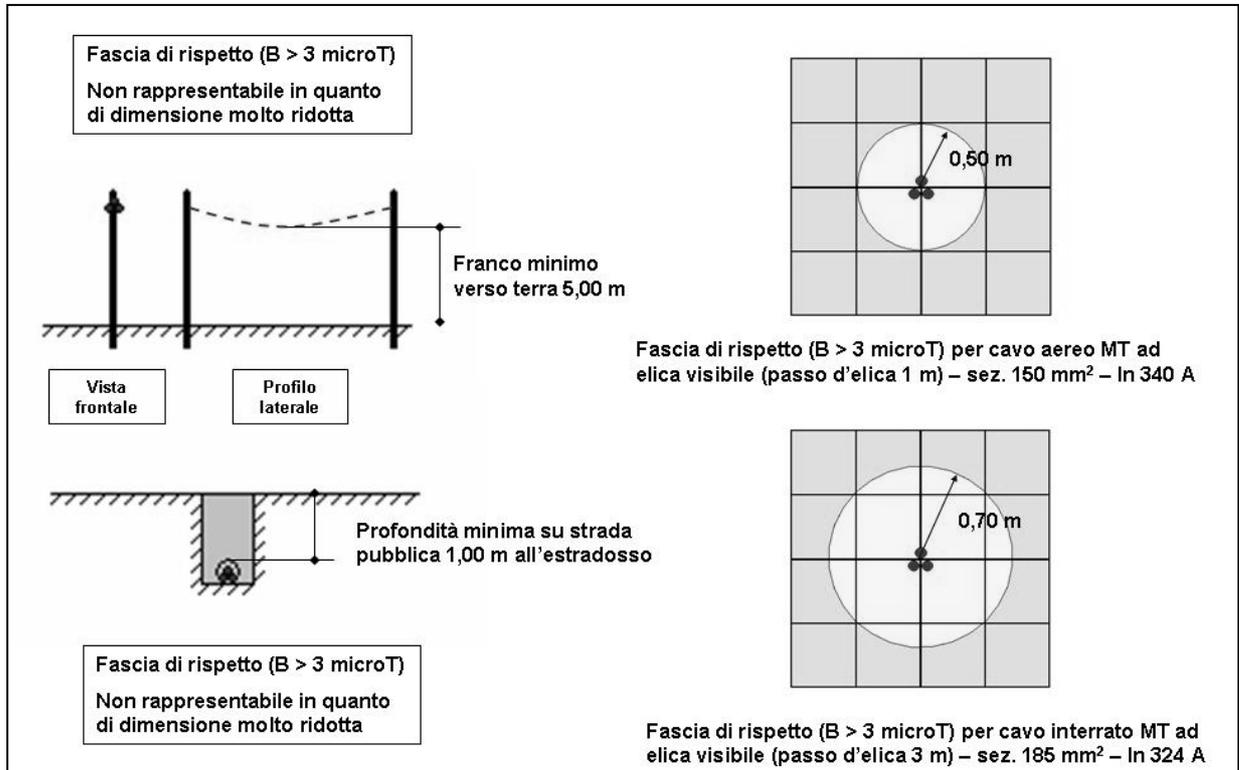


Figura 1 – Curve di livello dell'induzione magnetica generata da cavi cordati ad elica – calcoli effettuati con il modello tridimensionale “Elico” della piattaforma “EMF Tools”, che tiene conto del passo d'elica.

Si evidenzia infine che le fasce di rispetto (comprese le correlate DPA) non sono applicabili ai luoghi tutelati esistenti in vicinanza di elettrodotti esistenti. In tali casi, l'unico vincolo legale è quello del non superamento del valore di attenzione del campo magnetico (10 μT da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio); solo ove tale valore risulti superato, si applicheranno le disposizioni dell'art. 9 della Legge 36/2001.

RIFERIMENTI

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”.
- DPCM 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”.
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”.
- DM 21 marzo 1988, n. 449 “Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne” e s.m.i.”.

- CEI 11-60 “Portata al limite termico delle linee elettriche esterne con tensione maggiore di 100 kV”.
- CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”.
- CEI 106-11 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte I”.
- CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee e da stazioni elettriche”.
- Rapporto CESI-ISMES A7034603 “Linee Guida per l’uso della piattaforma di calcolo - EMF Tools v. 3.0”.
- Rapporto CESI-ISMES A8021317 “Valutazione teorica e sperimentale della fascia di rispetto per cabine primarie”.

DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI

Valgono le definizioni di seguito riportate, per la maggior parte contenute nella Legge 36/2001, nel DPCM 8 luglio 2003 e nel Decreto 29 maggio 2008.

- **Autorità competenti ai fini dei controlli:** sono le autorità di cui all’art. 14 della Legge 36/2001 (*le amministrazioni provinciali e comunali, al fine di esercitare le funzioni di controllo e di vigilanza sanitaria e ambientale, utilizzano le strutture delle Agenzie Regionali per la Protezione dell’Ambiente*).
- **Autorità competenti ai fini delle autorizzazioni:** sono le autorità competenti al rilascio delle autorizzazioni per la costruzione e/o l’esercizio di elettrodotti e/o insediamenti e/o aree di cui all’art. 4 del DPCM 8 luglio 2003 (*aree gioco per l’infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore*).
- **Campata:** elemento minimo di una linea elettrica sotteso tra due sostegni.
- **Distanza di Prima Approssimazione (DPA):** per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della DPA si trovi all’esterno delle fasce di rispetto (*Figura 2*). Per le cabine secondarie è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra (*Scheda B10*).
- **Elettrodotto:** è l’insieme delle linee elettriche delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.
- **Fascia di rispetto:** è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un’induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all’obiettivo di qualità ($3 \mu T$). Come prescritto dall’articolo 4, c. 1 lettera h) della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all’interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario e ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore (*Figura 2*).

Si ricorda che le Regioni (fermi i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità) nella definizione dei tracciati degli elettrodotti che ricadono nella loro competenza autorizzativa, devono tener conto anche delle fasce di rispetto determinate secondo la metodologia in allegato al Decreto 29 maggio 2008 (art. 8, c. 1, lett. b) della Legge 36/2001).

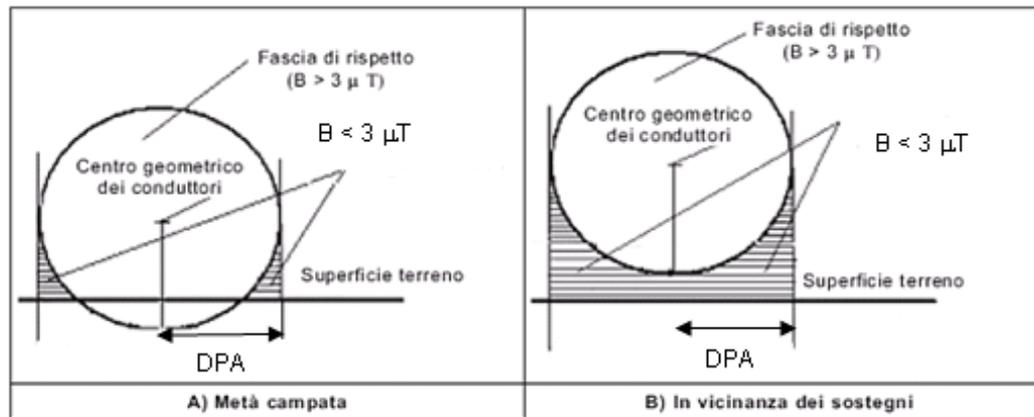


Figura 2 - Schema Fasce di rispetto e DPA in corrispondenza di metà campata e in vicinanza dei sostegni.

N.B. La dimensione della DPA delle linee elettriche viene fornita approssimata per eccesso al metro superiore (interpretazione prevalente delle ARPA).

- **Impianto:** officina elettrica destinata, simultaneamente o separatamente, alla produzione, allo smistamento, alla regolazione e alla modifica (trasformazione e/o conversione) dell'energia elettrica transitante in modo da renderla adatta a soddisfare le richieste della successiva destinazione. Gli impianti possono essere: Centrali di produzione, Stazioni elettriche, Cabine di Primarie e Secondarie e Cabine Utente.
- **Limiti di esposizione** (DPCM 8 luglio 2003 art. 3 c. 1): nel caso di esposizione, *della popolazione*, a campi elettrici e magnetici, alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.
- **Linea:** collegamento con conduttori elettrici, delimitato da organi di manovra, che permettono di unire due o più impianti.
- **Luoghi tutelati** (Legge 36/2001 art. 4 c.1, lettera h): aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere.
- **Obiettivo di qualità** (DPCM 8 luglio 2003 art. 4): 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 giornaliere 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 *della popolazione* ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato

l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

- **Portata in corrente in servizio normale:** è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento. Essa è definita nella norma CEI 11-60 § 2.6.

La corrente di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è la "portata di corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata":

- *per le linee con tensione >100 kV, è definita dalla norma CEI 11-60;*
 - *per gli elettrodotti aerei con tensione <100 kV, i proprietari/gestori fissano la portata in corrente in regime permanente in relazione ai carichi attesi con riferimento alle condizioni progettuali assunte per il dimensionamento dei conduttori;*
 - *per le linee in cavo è definita dalla norma CEI 11-17 § 3.5 e § 4.2.1 come **portata in regime permanente** (massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato).*
- **Sostegno:** elemento di supporto meccanico della linea aerea.
 - **Tratta:** porzione di tronco (campate contigue) avente caratteristiche omogenee di tipo elettrico, di tipo meccanico (tipologia del conduttore, configurazione spaziale dei conduttori sui tralicci, ecc.) e relative alla proprietà.
 - **Tronco:** collegamento metallico che permette di unire fra loro due impianti (*corrisponde alla linea a due estremi*).
 - **Valore di attenzione** (DPCM 8 luglio 2003 art. 3 c. 2): a titolo di misura di cautela per la protezione *della popolazione* 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 $10 \mu\text{T}$, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

METODOLOGIA DI CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO/DPA

Il DPCM 8 luglio 2003, all'art. 6, prevede che il proprietario/gestore dell'elettrodotto comunichi alle autorità competenti l'ampiezza delle fasce di rispetto ed i dati utilizzati per il calcolo dell'induzione magnetica, che va eseguito, ai sensi del § 5.1.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (G.U. n. 156 del 5 luglio 2008), sulla base delle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea, tenendo conto della presenza di eventuali altri elettrodotti. Detto calcolo delle fasce di rispetto va eseguito utilizzando modelli:

1. bidimensionali (2D), se sono rispettate le condizioni di cui al § 6.1 della norma CEI 106-11 Parte I;

2. tridimensionali (3D)³, in tutti gli altri casi.

Le dimensioni delle fasce di rispetto devono essere fornite con una approssimazione non superiore a 1 m.

Al fine di agevolare la gestione territoriale ed il calcolo delle fasce di rispetto il Decreto introduce una procedura semplificata (§ 5.1.3), per il calcolo della DPA ai sensi della CEI 106-11 che fa riferimento ad un modello bidimensionale semplificato, valido per conduttori orizzontali paralleli, secondo il quale il proprietario /gestore deve:

1. calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco di linea (la configurazione ottenuta potrebbe non corrispondere ad alcuna campata reale);
2. proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
3. comunicare l'estensione rispetto alla proiezione al centro linea: tale distanza (DPA) sarà adottata in modo costante lungo il tronco.

Nei casi complessi, quali parallelismi, incroci tra linee o derivazioni e cambi di direzione, il Decreto sopraccitato introduce, al § 5.1.4, la possibilità per il proprietario/gestore di individuare l'Area di Prima Approssimazione (che ha la stessa valenza della DPA - § 5.1.3), da fornire alle autorità competenti:

- in fase di progettazione di nuovi elettrodotti;
- su richiesta puntuale delle medesime autorità competenti per il rilascio di autorizzazioni alla realizzazione di nuovi luoghi tutelati in prossimità di elettrodotti esistenti.

In fase di progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati, allorquando risulti che la DPA relativa all'impianto da realizzare includa, se pur parzialmente, tali luoghi, per una corretta valutazione si dovrà procedere al calcolo esatto della fascia di rispetto lungo le necessarie sezioni, tenendo conto della portata in corrente in servizio normale dichiarata nel procedimento autorizzativo.

In fase di progettazione di nuovi luoghi tutelati, allorquando dette realizzazioni si dovessero trovare, se pur parzialmente, all'interno della DPA, *le autorità competenti* potranno chiedere al proprietario/gestore il calcolo esatto della fascia di rispetto lungo le necessarie sezioni, al fine di consentire una corretta valutazione.

In entrambi i casi, qualora la fascia di rispetto, ottenuta con calcolo esatto, includa, se pur parzialmente, il luogo tutelato si dovrà prevedere una variante al progetto, in quella specifica sezione, che non presenti luoghi tutelati all'interno della fascia di rispetto.

Il calcolo sarà effettuato con modello bidimensionale (2D), se rispettate le condizioni di cui alla CEI 106-11, o con modello tridimensionale (3D) in caso contrario. La determinazione della fascia di rispetto è finalizzata alla definizione del volume, attorno ai conduttori, al cui interno si potrebbe avere una induzione magnetica superiore a 3 µT e non all'individuazione della proiezione verticale al suolo di detto volume, come invece

³ I modelli 3D non sono ancora standardizzati. Al momento si stanno valutando i software disponibili in commercio che siano in grado di soddisfare i requisiti definiti nel DM 29.05.08.

definito in maniera semplificata dalla procedura di calcolo della DPA. Pertanto il calcolo richiesto dalle autorità competenti va effettuato soltanto in corrispondenza della sezione di interesse, ovvero interferente con un luogo tutelato di cui all'art. 4 c. 1 lettera h) della Legge 36/2001.

Nei casi complessi (§ 5.1.4 del Decreto 29 maggio 2008) quali:

- parallelismi AT (§ 5.1.4.1);
- incroci AT/AT (§ 5.1.4.4), AT/MT e MT/MT (§ 5.1.4.5);
- cambi di direzione linee AT (§ 5.1.4.2), MT (§ 5.1.4.3);

il calcolo della fascia può essere effettuato, su richiesta puntuale delle autorità competenti, con i seguenti approcci:

1. Metodo semplificato, che permette di individuare l'Area di Prima Approssimazione, determinata sulla base di specifici incrementi parametrizzati per una prima verifica da parte delle autorità competenti, in sede di autorizzazione alla realizzazione di nuovi luoghi tutelati o nuovi elettrodotti;
2. Modello 3D in caso di luoghi tutelati in progettazione interni all'Area di Prima Approssimazione, al fine di fornire la reale fascia di rispetto al richiedente l'autorizzazione. Nel caso di incroci di linee di proprietari/gestori diversi, questi devono eseguire il calcolo con approccio congiunto.

Nel caso di **cabine elettriche**, ai sensi del § 5.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008), la fascia di rispetto deve essere calcolata come segue:

1. Cabine Primarie, generalmente la DPA rientra nel perimetro dell'impianto (§ 5.2.2) in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro.
2. Cabine Secondarie, nel caso di cabine di tipo box (con dimensioni mediamente di 4 m x 2.4 m, altezze di 2.4 m e 2.7 m ed unico trasformatore) o similari, la DPA, intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) della CS, va calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (x) (§ 5.2.1) applicando la seguente relazione:

$$Dpa = 0.40942 * x^{0.5241} * \sqrt{I}$$

Per Cabine Secondarie differenti dallo standard "box" o similare sarà previsto il calcolo puntuale, da applicarsi caso per caso.

Per Cabine Secondarie di sola consegna MT la Dpa da considerare è quella della linea MT entrante/uscente; qualora sia presente anche un trasformatore e la cabina sia assimilabile ad una "box", la Dpa va calcolata con la formula di cui sopra (§ 5.2.1. del DM 29.05.08).

Nel caso di più cavi per ciascuna fase in uscita dal trasformatore va considerato il cavo unipolare di diametro maggiore.

Come prescritto all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 i proprietari/gestori provvedono a comunicare non solo l'ampiezza delle fasce di rispetto, ma anche i dati per il calcolo delle stesse ai fini delle verifiche delle autorità competenti, trasmessi mediante relazione

contenente i dati caratteristici delle linee o cabine e le relative DPA, come riportati negli **allegati A e B** della presente Linea Guida, rispettivamente per linee AT/Cabine Primarie e per linee MT/Cabine Secondarie.

DPA DI LINEE E CABINE

In sede di verifica preliminare del rispetto dell'obiettivo di qualità, ai fini della richiesta di autorizzazione all'edificazione, è possibile effettuare una rapida valutazione in sito della DPA nella campata di linea in esame. Il procedimento di valutazione prevede di riconoscere la tipologia delle teste dei due sostegni, che delimitano la campata, e successivamente, dalle schede allegate, di individuare la relativa DPA. La campata in oggetto sarà caratterizzata dalla DPA più grande tra le due, cioè quella della testa del sostegno con geometria più cautelativa (DPA maggiore) e sul quale è presente il conduttore di sezione più grande. Se il luogo tutelato risulta esterno a tale DPA si prosegue nella progettazione, altrimenti si rende necessario chiedere informazioni di dettaglio sulla linea per un calcolo puntuale della fascia di rispetto nella sezione di interesse.

In sede di progettazione di nuove linee e cabine elettriche, nel rispetto dell'obiettivo di qualità, sarà dichiarata la DPA e i dati di calcolo corrispondenti (come predisposto nelle schede allegate).

Detta DPA, analogamente al caso di verifica preliminare, va individuata tra le schede allegate, combinando la configurazione dei conduttori, la geometria di fase e la portata in servizio normale che forniscano la situazione più cautelativa.

Le DPA, di cui agli allegati A e B della presente Linea Guida, sono state simulate ed elaborate con il software EMF Tools v. 3.0 del CESI, che raccoglie, in unica piattaforma diversi moduli di calcolo dei campi elettrici e magnetici, associabili alle varie tipologie di sorgenti esistenti (EMF v. 4.06, CEMCabine v. 1.0, Fasce v. 1.0, ecc.). La modellizzazione delle sorgenti fa riferimento alla normativa tecnica CEI 211-4 ed è bidimensionale per le linee elettriche e tridimensionale per le cabine elettriche. Per la determinazione delle DPA si è fatto riferimento alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto.

Le DPA per linee aeree ed interrate di AT, per linee aeree di MT e per le cabine elettriche, fa riferimento alle seguenti teste dei sostegni e configurazioni elettriche:

A. Linee AT

- A 1. Semplice terna con mensole normali (132/150 kV);
- A 2. Semplice terna con mensole isolanti (132/150 kV);
- A 3. Semplice terna a bandiera con mensole normali (132/150 kV);
- A 4. Semplice terna a bandiera con mensole isolanti (132/150 kV);
- A 5. Tubolare semplice terna con mensole isolanti a triangolo (132/150 kV);
- A 6. Semplice terna a delta (132/150 kV);
- A 7. Semplice terna tipo portale (132/150 kV);

- A 8. Semplice terna con mensole normali (220 kV);
- A 9. Doppia terna con mensole normali (132/150 kV);
- A 10. Doppia terna ottimizzata con mensole normali (132/150 kV);
- A 11. Doppia terna con mensole isolanti (132/150 kV);
- A 12. Doppia terna ottimizzata con mensole isolanti (132/150 kV);
- A 13. Tubolare doppia terna con mensole isolanti (132/150 kV);
- A 14. Cavi interrati semplice terna disposti in piano (132/150 kV);
- A 15. Cavi interrati semplice terna disposti a trifoglio (132/150 kV);
- A 16. Cabina primaria isolata in aria (135/150-15/20 kV).

Cabine Primarie: la DPA è sicuramente interna alla cabina se sono rispettate le seguenti distanze dal perimetro esterno, non interessato dalle fasce di rispetto delle linee in ingresso/uscita:

- 14 m dall'asse delle sbarre di AT in aria;
- 7 m dall'asse delle sbarre di MT in aria.

B. Linee MT

- B 1. Semplice terna con isolatori rigidi (15/20 kV);
- B 2. Semplice terna - mensola boxer (15/20 kV);
- B 3. Semplice terna con isolatori sospesi (15/20 kV);
- B 4. Semplice terna con isolatori sospesi su traliccio (15/20 kV);
- B 5. Semplice terna a bandiera (15/20 kV);
- B 6. Semplice terna capolinea in amarro (15/20 kV);
- B 7. Posto di Trasformazione su Palo - alimentazione da linea in conduttori nudi (15/20 kV);
- B 8. Posto di Trasformazione su Palo – alimentazione con cavo ad elica visibile (15/20 kV);
- B 9. Doppia terna con isolatori sospesi non ottimizzata (15/20 kV);
- B 10. Cabina secondaria di tipo “box” o similari, alimentata in cavo sotterraneo (15/20 kV).

Posto di trasformazione su Palo (PTP): esso è per definizione un elemento di linea (norme CEI 11-1). Considerate le potenze limitate dei trasformatori installabili sul PTP (max 160 kVA), le geometrie delle discese dagli amarri dei conduttori di linea ai passanti del TR e l'impiego per le uscite di bassa tensione di cavo cordato ad elica, la DPA risultante ha un'ampiezza inferiore alla distanza prevista dal DM 21.03.88, n. 449 e s.m.i.

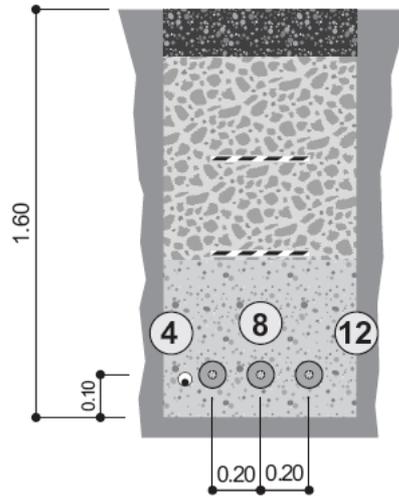
ALLEGATO A

“DPA per Linee AT e Cabine Primarie”

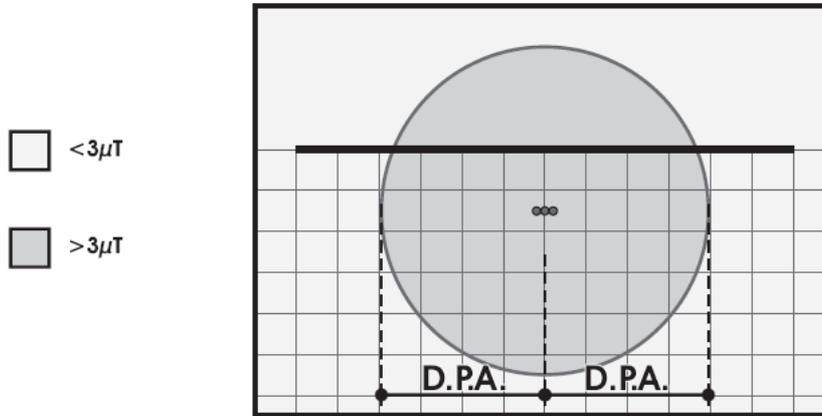
Le DPA sono state simulate ed elaborate con il software EMF Tools v.3.0 del CESI, la cui modellizzazione delle sorgenti è bidimensionale e fa riferimento alla normativa tecnica CEI 211-4 ed alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla normativa applicabile.

Per quanto riguarda le Cabine Primarie, si rimanda al rapporto CESI-ISMES A8021317 “Valutazione teorica e sperimentale della fascia di rispetto per cabine primarie”.

A14 - CAVI INTERRATI - Semplice Terna cavi disposti in piano (serie 132/150 kV)

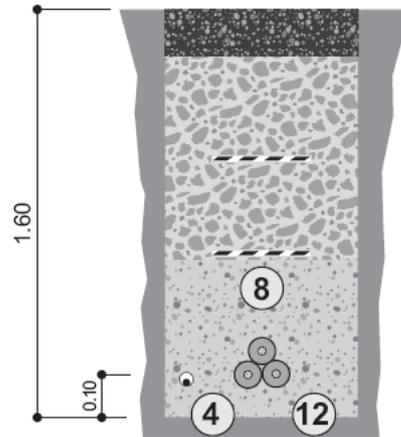


RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.

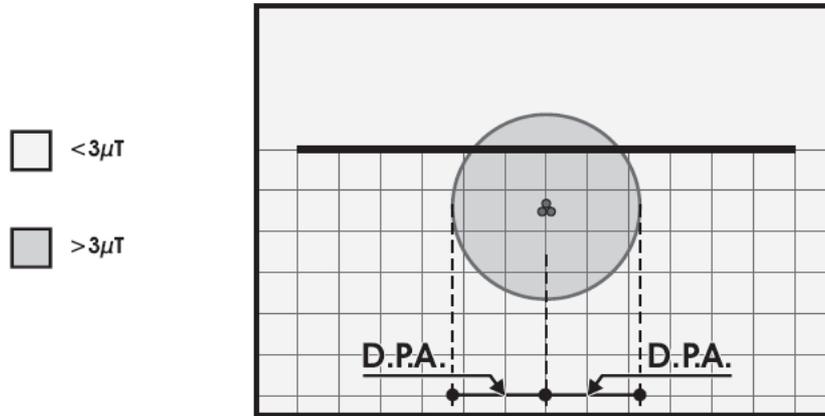


CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm ²]	CEI - 11-60 Portata [A]		
		Corrente A	D.P.A. m	Riferimento
108	1600	1110	5.10	A14

A15 - CAVI INTERRATI - Semplice Terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV)



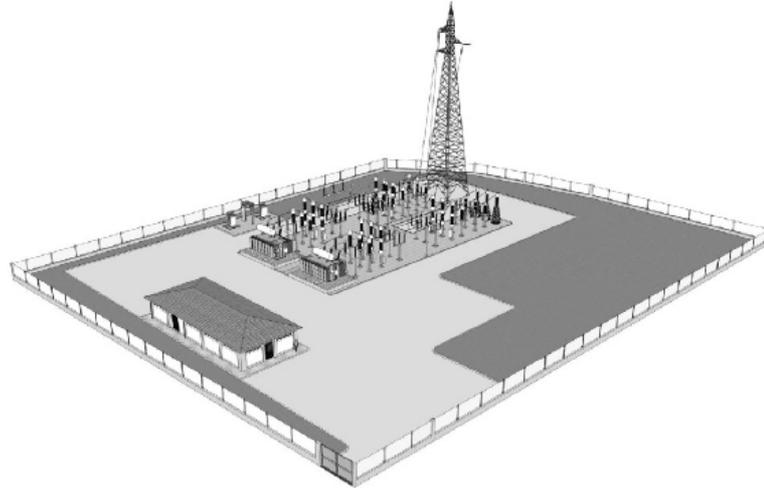
RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



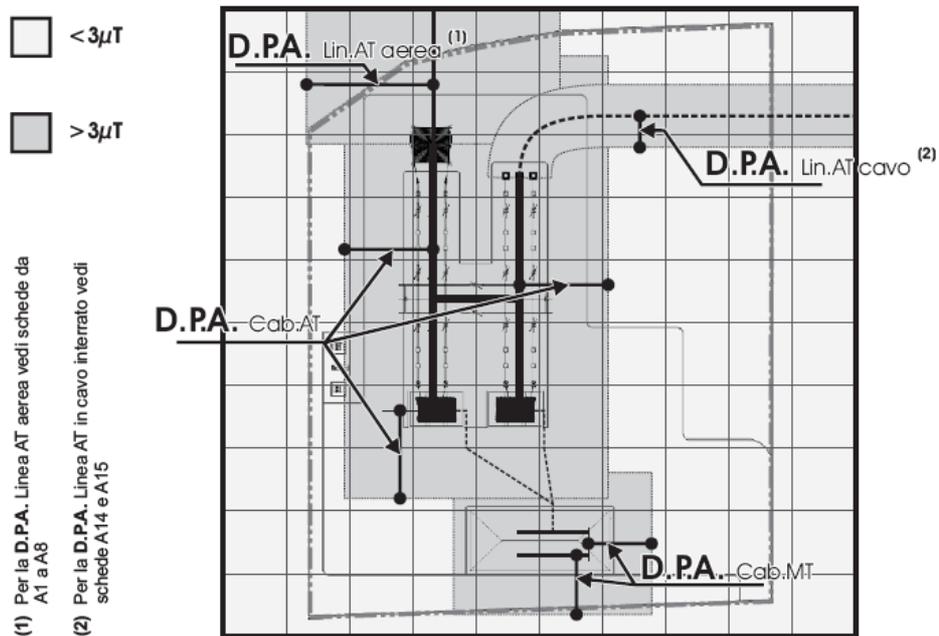
CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO

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

A16 - Cabina primaria isolata in aria (132/150-15/20 kV)



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



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



L'ENERGIA CHE TI ASCOLTA.

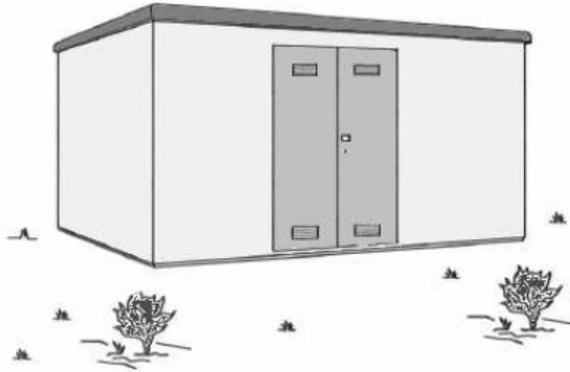
DIVISIONE INFRASTRUTTURE E RETI
QSA/IUN

ALLEGATO B

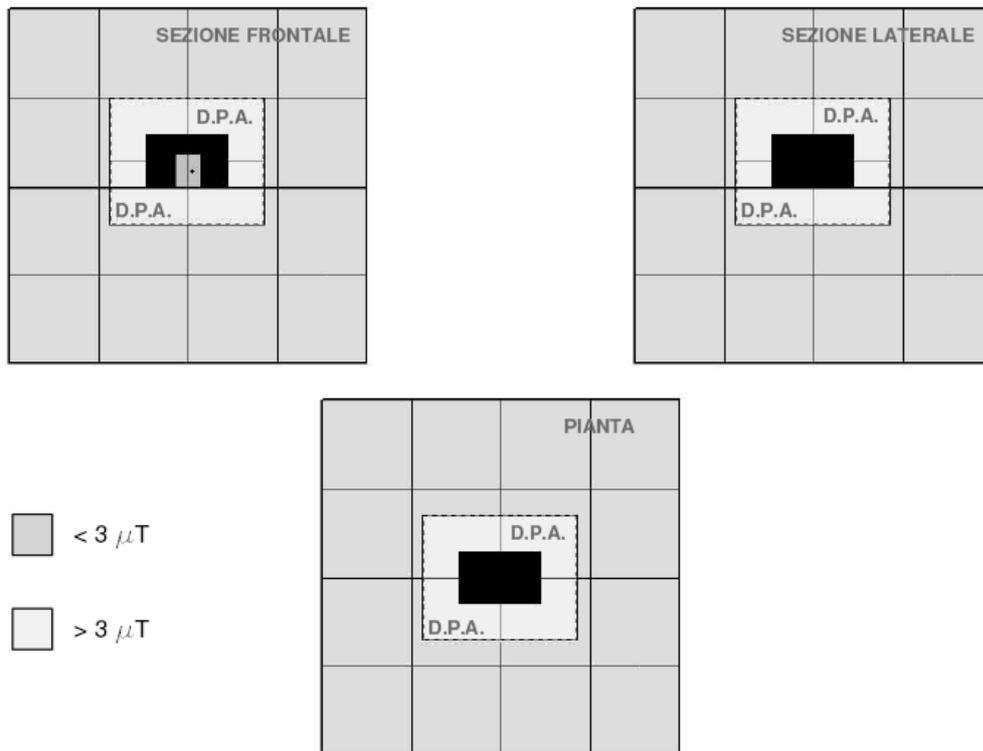
“DPA per Linee MT e Cabine Secondarie”

Le DPA sono state simulate ed elaborate con il software EMF Tools v.3.0 del CESI, la cui modellizzazione delle sorgenti è bidimensionale e fa riferimento alla normativa tecnica CEI 211-4 ed alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla normativa applicabile.

**B10 – CABINA SECONDARIA TIPO BOX O SIMILARI, ALIMENTATA IN CAVO SOTTERRANEO –
TENSIONE 15 KV O 20 KV**



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



DIAMETRO DEI CAVI (m)	TIPOLOGIA TRASFORMATORE (KVA)	CORRENTE (A)	DPA (m) filo parete esterna	RIF.TO
Da 0,020 a 0,027	250	361	1,5	B10a
	400	578	1,5	B10b
	630	909	2,0	B10c



BEShielding

ALLEGATO D

Documento di Validazione

Algoritmi di calcolo del software MAGIC® (**MAG**netic **I**nduction **C**alculation)

Revisione	Data	Elaborato	Approvato
06	29/06/2021	F.M.M.	S.G.
00 Emissione	07/01/2014	D.B.	M.M.

Sommario

1. Premessa	1
2. Verifica del modulo bidimensionale.....	2
2.1. Confronto con CEI 211-04	2
2.2. Confronto con codice CESI.....	2
3. Verifica del modulo tridimensionale	6
3.1. Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato	6
3.2. Validazione sperimentale del modulo tridimensionale	7
4. Verifica del modulo tridimensionale:trasformatore di potenza	8
4.1. Verifica del modello MAGIC® della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method).....	8
4.2. Verifica del modello MAGIC® del trasformatore completo con misure sperimentali.....	10
5. Conclusioni	12

1. 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).

2. 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.

2.1. 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 le 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 B è data dall'espressione:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=1}^N \frac{\vec{I}_k}{d_k} \vec{u}_l \times \vec{u}_r$$

in cui N è il numero dei conduttori, d è la distanza tra il conduttore k-esimo e il punto di calcolo; i vettori \vec{u}_l e \vec{u}_r indicano, rispettivamente, il verso della corrente e della relativa normale; x 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 310 A. Come si può osservare dalla figura 1, le due curve sono praticamente coincidenti.

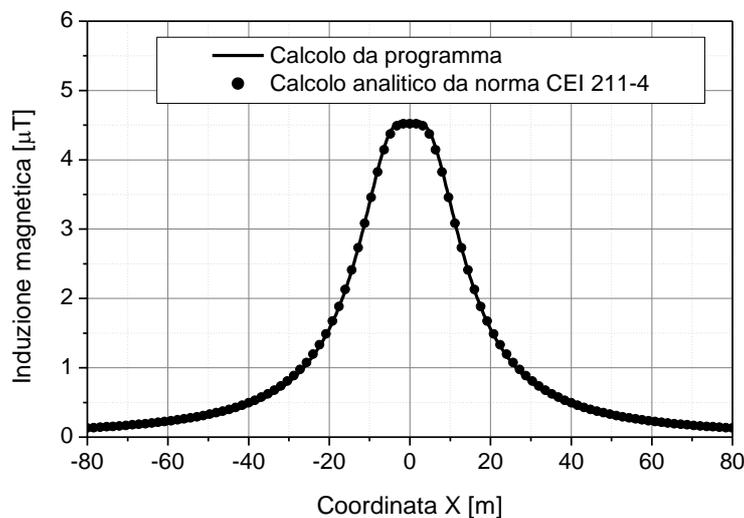


Figure 1 Induzione magnetica al suolo in prossimità di una linea aerea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310: confronto tra MAGIC® e formula analitica CEI 211-4

Come si può osservare il profilo di induzione magnetica ottenuto dal software MAGIC® coincide esattamente con i punti calcolati mediante la formula analitica CEI 211-4.

2.2. Confronto con codice CESI

L'analisi del campo magnetico prodotto è stata condotta su due terne trifase di cavi affiancate. Le sezioni di affiancamento riguardano (Fig. 2):

- Buca giunti (interasse 70 cm e livello di interrimento pari a 1.25 m)
- Formazione piana (interasse 35 cm e livello di interrimento pari a 1.25 m)
- Distanza tra le due terne: 4m

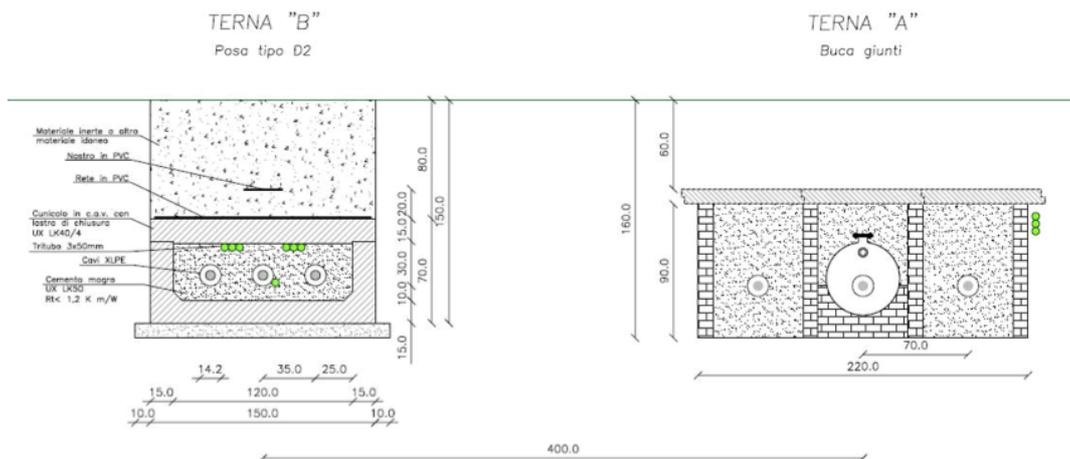


Figure 2 Affiancamento tra due linee interratoe AT

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.

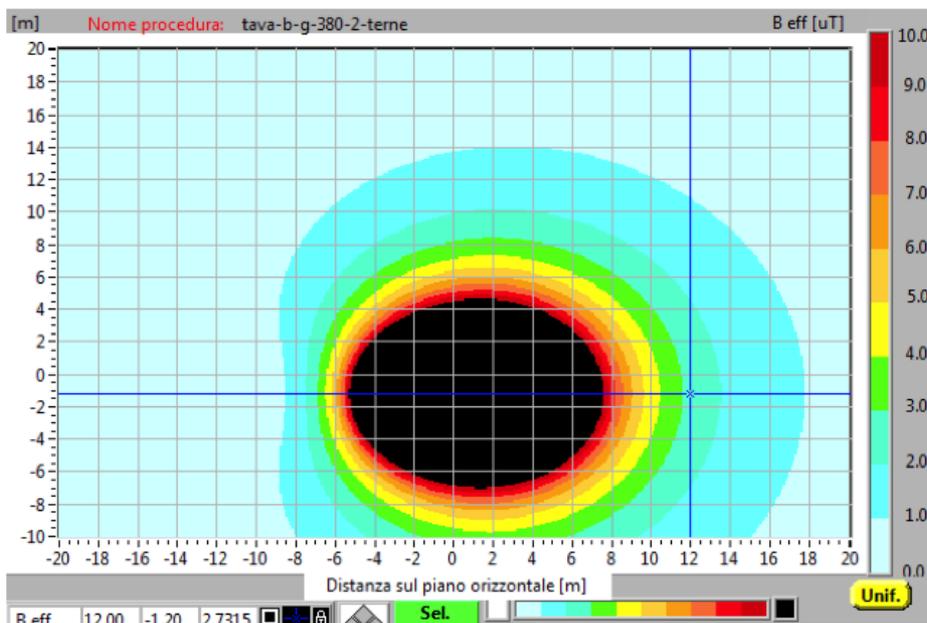


Figure 3 Mappa cromatica delle induzioni magnetiche calcolata mediante software CESI

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.

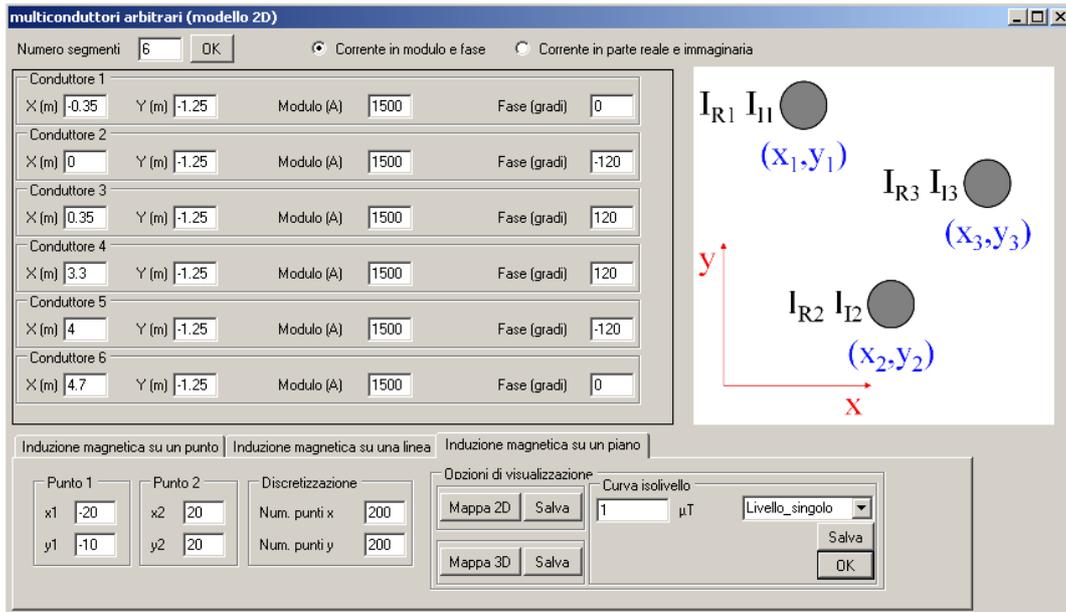


Figure 4 Schermata di ingresso modulo “multiconduttori arbitrari (modello 2D)”: dati definizione geometria e sorgenti

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

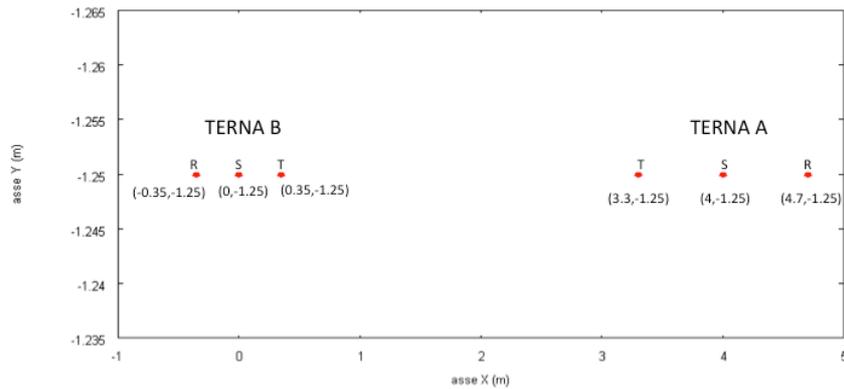


Figure 5 Geometria sorgenti

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

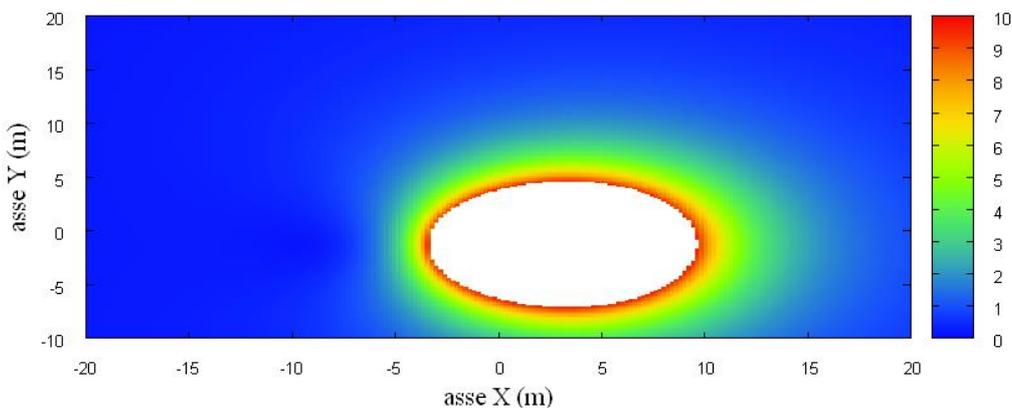


Figure 6 Mappa cromatica dell’induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):

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

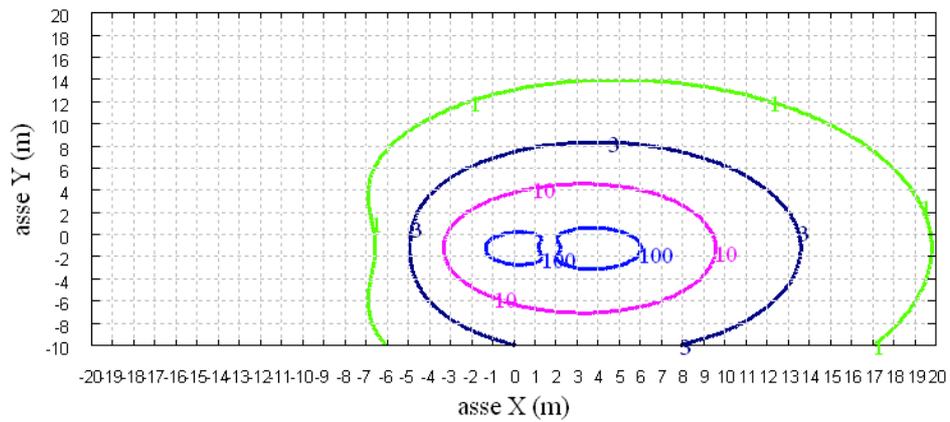


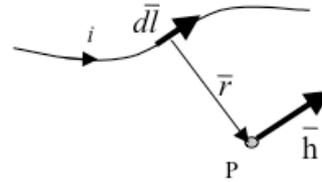
Figure 7 Linee isolivello dell'induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) da software MAGIC®

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

3. Verifica del modulo tridimensionale

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

$$\vec{h} = \int \frac{i \vec{dl} \wedge \vec{r}}{4\pi r^2}$$



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.

3.1. Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato

Si consideri il segmento rappresentato nella Fig. 8.

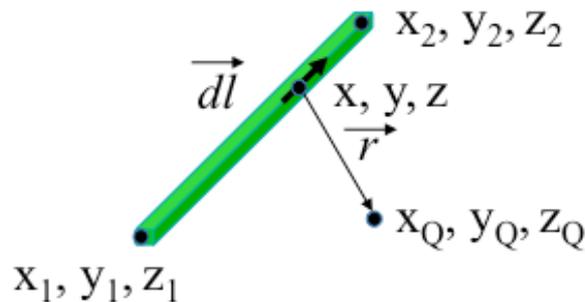


Figure 8 Modello del segmento.

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

$$\begin{cases} x = x_1 + (x_2 - x_1)t \\ y = y_1 + (y_2 - y_1)t \\ z = z_1 + (z_2 - z_1)t \end{cases}$$

Si consideri inoltre che:

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

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

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 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



3.2. 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.

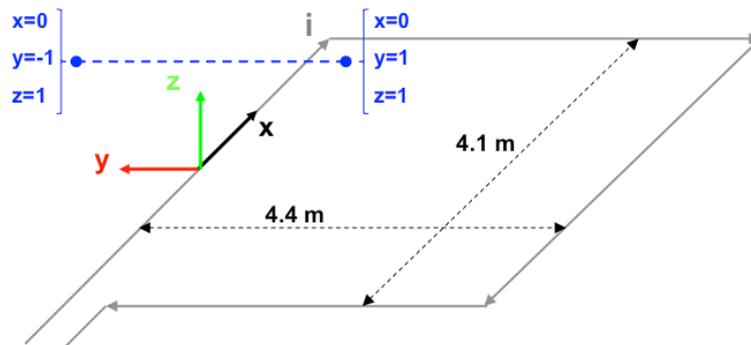


Figure 9 Schema di spira quadrata.

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 → $x = \text{costante} = 0 \text{ m}$
- E' 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.

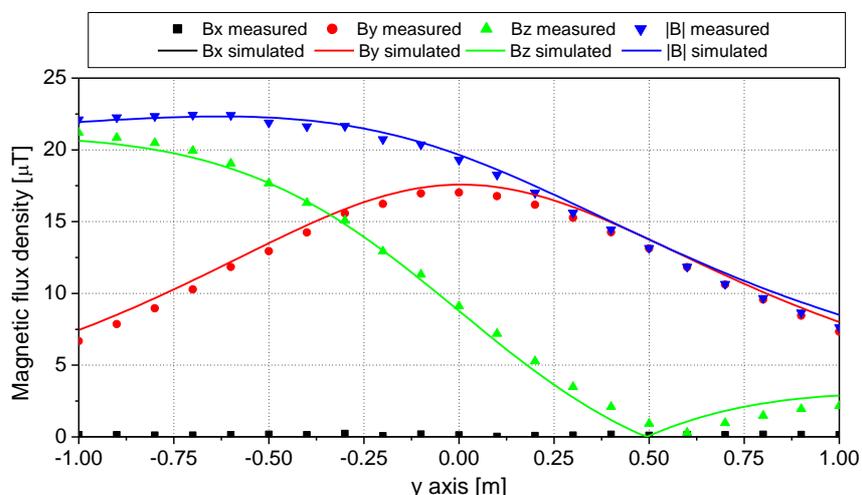


Figure 10 Induzione magnetica misurata e calcolata mediante software MAGIC®.

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

4. 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.

4.1. 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 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.

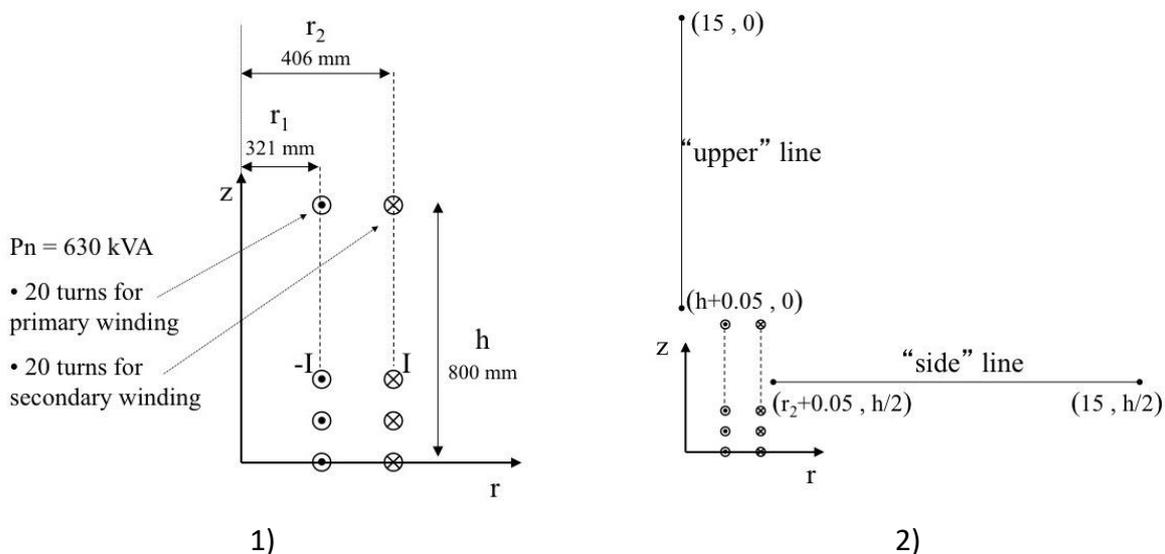


Figure 11 Geometria del sistema (1) e linee di calcolo (2)

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 è 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:

$$I = I_R \cdot \frac{V_{SC} \%}{100}$$

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

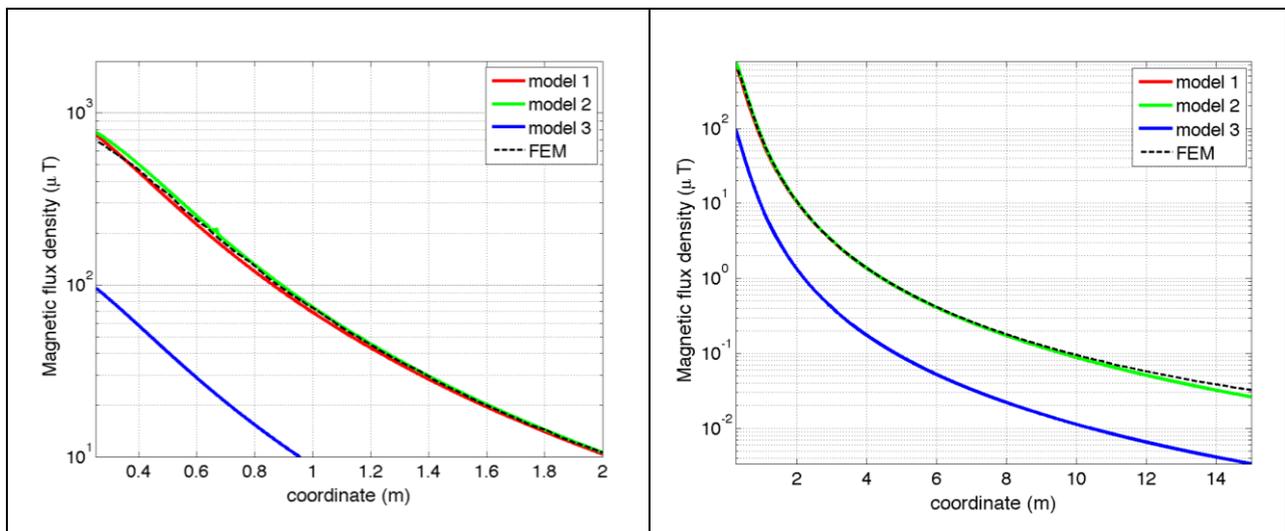


Figure 12 Induzione magnetica lungo la linea laterale

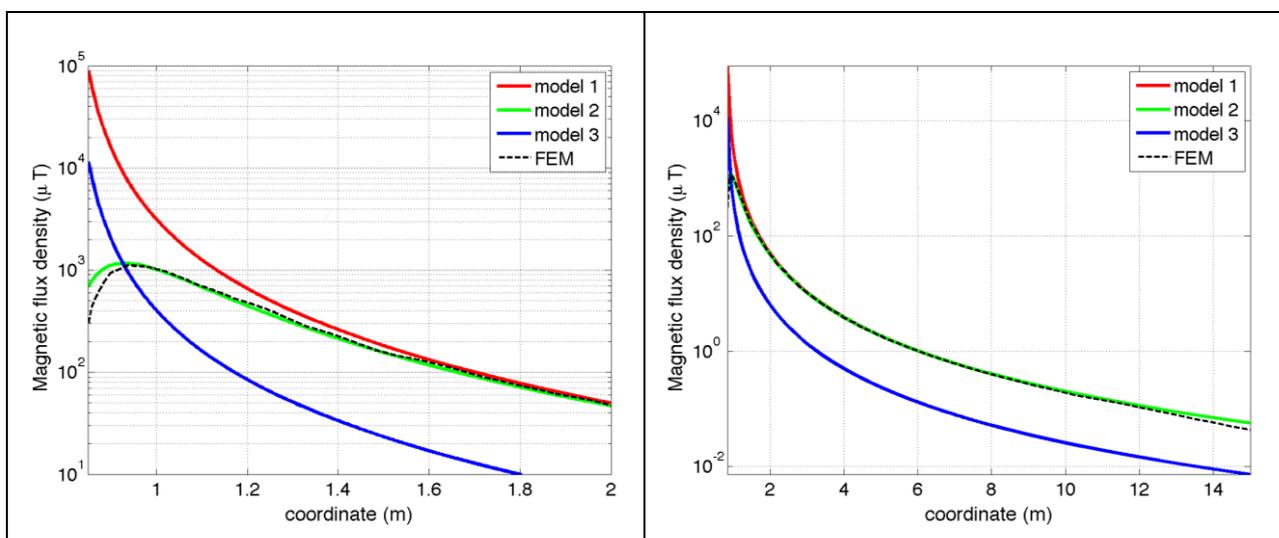


Figure 13 Induzione magnetica lungo la linea superiore

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.

4.2. 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 sul 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.

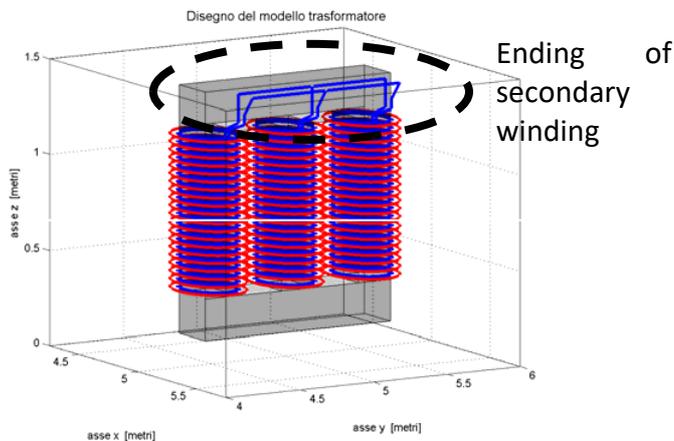


Figure 14 Connessioni elettriche considerate ai lati BT.

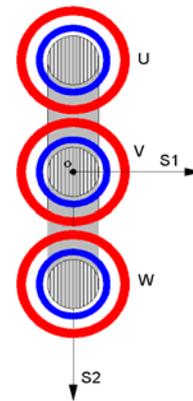


Figure 15 Linee di calcolo S1 ed S2

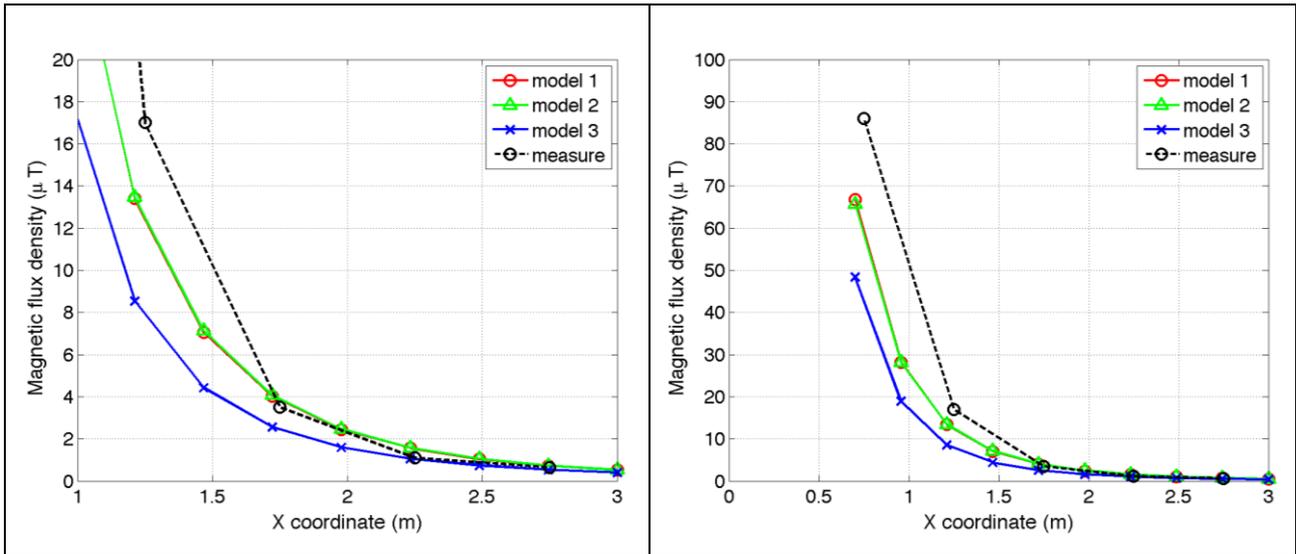


Figure 16 Confronto tra misure modelli lungo la linea S1

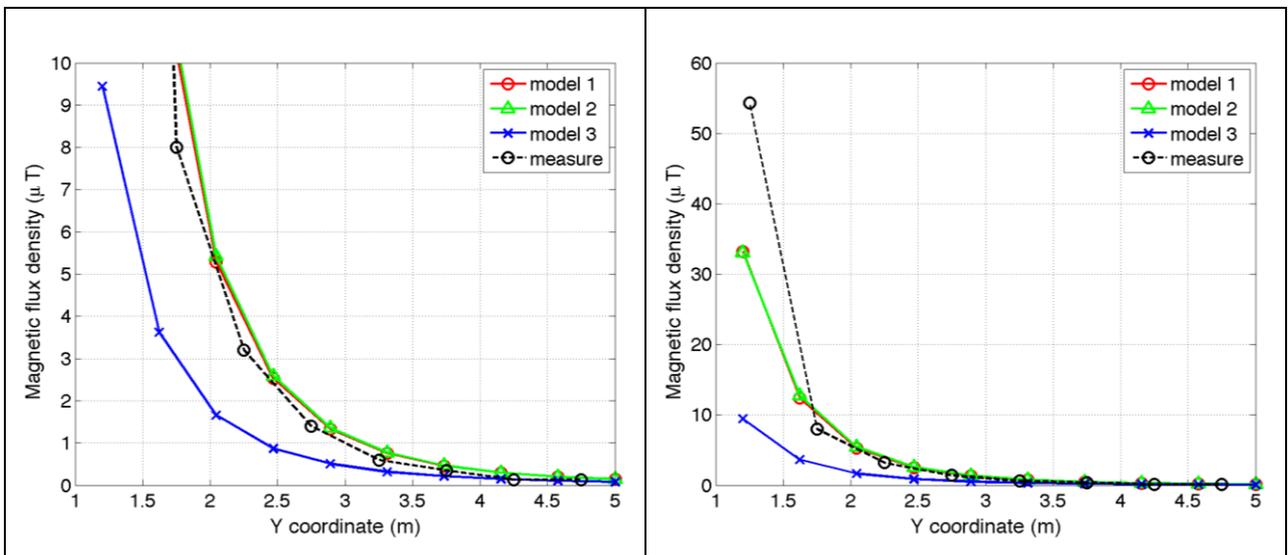


Figure 17 Confronto tra misure modelli lungo la linea S2



5. 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 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.