

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE (IMPIANTO FOTOVOLTAICO), DELLA POTENZA DI PICCO TOTALE PARI A 24,99 MWp E POTENZA NOMINALE IN IMMISSIONE PARI A 24,0 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA DI PROPRIETA' DI E-DISTRIBUZIONE SPA.

Sezione:

SEZIONE 1 - RELAZIONI

Titolo elaborato:

RELAZIONE ELETROMAGNETICA

n. Elaborato: 1.2
rev. 02

Scala: -----
data: Novembre 2024

Committente:

NEOEN

NEOEN RENEWABLES ITALIA S.R.L.
Sede legale: Via Giuseppe Rovani n. 7
20123 MILANO (MI)
P.IVA: 11953710966
PEC: neoenrenewablesitalia@pecplus.it

Progettazione:

**LUMI
STUDIO**

Dott. Arch. Donato Orlando Cera
Ordine degli Architetti della Provincia di Milano n. 16906
PEC: cera.16906@aomilano.it



SOMMARIO

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA.....	4
2.1 Legge Quadro n. 36 "22 Febbraio 2001"	4
2.2 D.P.C.M. "08 Luglio 2003"	5
2.3 D.M. AMBIENTE "29 Maggio 2008"	7
3. SORGENTI A BASSA FREQUENZA (ELF)	9
4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	13
5. DETERMINAZIONE DELLA DPA	14
5.1 Campi Elettromagnetici relativi al Campo Fotovoltaico (Moduli Fotovoltaici).....	14
5.2 Campi Elettromagnetici relativi agli Inverter.....	14
5.3 Elettrodotti di Bassa Tensione.....	15
5.4 Elettrodotti di Media Tensione.....	15
5.5 Cabine Elettriche BT/MT.....	22
7. SPECIFICHE TECNICHE TRASFORMATORE	24
8. CONCLUSIONI	25

1. PREMESSA

Il presente studio è stato redatto al fine di adempiere agli obblighi di legge relativo al DM 29 Maggio 2008 e di valutare l'impatto elettromagnetico generato dagli impianti elettrici funzionali all'impianto di produzione di energia elettrica da conversione fotovoltaica dell'energia solare costituito da 39.984 moduli da 625 Wp ciascuno, di potenza di picco totale pari a 24,99 MWp e di potenza in immissione pari a 24,0 MW, da installarsi in località La Casella, snc, nel territorio del Comune di Bentivoglio (BO) al Foglio 3 - Particelle: 25, 27, 28, 29, 30, 77, 80, 81, 82, 83, 84.

Gli apparati elettrici oggetto del presente studio sono:

- Campo Fotovoltaico (Moduli Fotovoltaici);
- Inverter;
- Elettrodotti di Bassa (BT) e Media tensione (MT);
- Cabine di trasformazione BT/MT;

in quanto sorgenti di campo magnetico a bassa frequenza (ELF).

L'entrata in vigore del DM 29 Maggio 2008, "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 5 Luglio 2008, ha di fatto stabilito in maniera univoca, la procedura per il calcolo delle fasce di rispetto generate dalla presenza di elettrodotti nel rispetto dell'obiettivo di qualità nazionale.

La procedura di valutazione sull'induzione magnetica, utilizzata per il calcolo della fascia di rispetto, deve avere come **obiettivo di qualità il valore di 3 μ T.**

Dal punto di vista fisico le onde elettromagnetiche sono un fenomeno 'unitario', cioè i campi e gli effetti che producono si basano su principi del tutto uguali; la grandezza che li caratterizza è la frequenza. In base ad essa è di particolare rilevanza, per i diversi effetti biologici che ne derivano e quindi per la tutela della salute, la suddivisione in:

- radiazioni ionizzanti, ossia le onde con frequenza altissima, superiore a 3 milioni di GHz, e dotate di energia sufficiente per ionizzare la materia;
- radiazioni non ionizzanti (NIR), ovvero le onde con frequenza inferiore a 3 milioni di GHz, che non trasportano un quantitativo di energia sufficiente a ionizzare la materia. All'interno delle radiazioni non ionizzanti si adotta una ulteriore distinzione in base alla frequenza di emissione:

- campi elettromagnetici a bassa frequenza o ELF: (0 - 300 Hz), le cui sorgenti più comuni comprendono ad esempio gli elettrodotti e le cabine di trasformazione, gli elettrodomestici, i computer.
- campi elettromagnetici ad alta frequenza o a radiofrequenza RF: (300 Hz - 300 GHz), le cui sorgenti principali sono i radar, gli impianti di telecomunicazione, i telefoni cellulari e le loro stazioni radio base.

2. NORMATIVA

La Normativa di riferimento per la valutazione dell'impatto elettromagnetico è quella indicata nella Tabella 2.1, qui di seguito riportata.

Normativa di Riferimento		
<i>Legge n. 36</i>	<i>22 Febbraio 2001</i>	Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici
<i>D.P.C.M.</i>	<i>08 Luglio 2003</i>	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
<i>D.M.</i>	<i>29 Maggio 2008</i>	Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti
<i>CEI 106-11</i>	<i>11 Febbraio 2006</i>	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

Tabella 2.1 Normativa di riferimento per la valutazione dell'impatto elettromagnetico

2.1 Legge Quadro n. 36 "22 Febbraio 2001"

La legge di riferimento per quanto attiene l'esposizione ai campi elettromagnetici è la Legge 22 Febbraio 2001 n.36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" (G.U. n.55 del 7 marzo 2001), con il campo di applicazione riguardante gli impianti, i sistemi e le apparecchiature per usi civili, militari e delle forze di polizia, che possano comportare l'esposizione dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz. In particolare, la presente legge si applica agli elettrodotti ed agli impianti radioelettrici, compresi gli impianti per telefonia mobile, i radar e gli impianti fissi per radiodiffusione.

Tale legge ha introdotto 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; l'obiettivo di qualità, invece, è stato introdotto al fine di garantire la progressiva minimizzazione dell'esposizione. La stessa legge ha anche introdotto la terminologia di fascia di rispetto in prossimità di elettrodotti, con questa intendendo un'area in cui non possono essere previste destinazioni d'uso che comportino una permanenza prolungata oltre le quattro ore giornaliere. Nella terminologia "elettrodotto" viene compreso l'insieme delle linee elettriche e delle cabine di trasformazione.

2.2 D.P.C.M. "08 Luglio 2003"

I primi decreti applicativi della LQ 36/2001 sono stati pubblicati nel 2003; in particolare, il DPCM 8 Luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici con frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz" (G.U. n.200 del 29-8-2003) dove si fissano i limiti di esposizione (art.3 comma 1), i valori di attenzione (art.3 comma 2) e gli obiettivi di qualità (art.4) per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (Tabella 2.2), escludendo cioè da tale normativa i lavoratori professionalmente esposti.

Limite di esposizione	Valore che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione
Limite di attenzione	Valore che non deve essere superato negli ambienti a permanenza prolungata
Obiettivi di qualità	Limite da rispettare per installazioni future

Tabella 2.2: Limiti di esposizione ai campi elettromagnetici

In funzione dell'intervallo di frequenza nel quale ricadono le emissioni, i limiti stabiliti sono riportati nelle Tabelle 2.3 e 2.4 seguenti:

D.P.C.M. 8 Luglio 2003 – Basse Frequenze (< 100 kHz)		
	Campo elettrico	Induzione magnetica
Limite di esposizione	5000 V/m	100 µT
Valore di attenzione (media 24 h)	-	10 µT
Obiettivi di qualità (media 24 h)	-	3 µT

Tabella 2.3: Limiti di esposizione alle basse frequenze

Il D.P.C.M. 08/07/2003 sancisce che 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 microTesla (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 micro Tesla (μT)**, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

D.P.C.M. 8 Luglio 2003 – Alte Frequenze ($100 \text{ kHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$)				
		Campo elettrico	Campo magnetico	Densità di potenza
Limite di esposizione	$100 \text{ kHz} < f \leq 3 \text{ MHz}$	60 V/m	0,2 A/m	-
	$3 \text{ MHz} < f \leq 3 \text{ GHz}$	20 V/m	0,05 A/m	1 W/m ²
	$3 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	40 V/m	0,01 A/m	4 W/m ²
Valore di attenzione (media 6 minuti)		6 V/m	0,016 A/m	0,1 W/ m ²
Obiettivi di qualità (media 6 minuti)		6 V/m	0,016 A/m	0,1 W/ m ²

Tabella 2.4: Limiti di esposizione alle **alte frequenze**

Inoltre 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 microTesla (μT)**, per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

A titolo di esempio, sono riassunte nella Tabella 2.5 le fasce di rispetto relative a valori di induzione magnetica pari a 3 μT ; in particolare all'art.6 "Parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" si prescrive che, alla frequenza di rete (50 Hz):

- per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'art. 4 ed alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma

CEI 11-60, che deve essere dichiarata dal proprietario/gestore al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV, e alle regioni, per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV. I proprietari/gestori provvedono a comunicare i dati per il calcolo e l'ampiezza delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti.

L'APAT, sentite le ARPA, definirà la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l'approvazione del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

Tensione	Tipologia di linea	fasce di rispetto 3 μ T (m)	
		conduttore più diffuso	conduttore più cautelativo
132 kV	singola terna	36	42
	doppia terna non ottimizzata	48	56
	doppia terna ottimizzata	34	38
220 kV	singola terna	52	60
	doppia terna non ottimizzata	58	68
	doppia terna ottimizzata	42	46
380 kV	singola terna	94	94
	doppia terna non ottimizzata	138	138
	doppia terna ottimizzata	80	80

Tabella 2.5 - Fasce di rispetto (in metri) relative a valori di induzione magnetica di 3 μ T

2.3 D.M. AMBIENTE "29 Maggio 2008"

La metodologia di cui sopra è stata definita dal D.M. 29/05/2008 (G.U. 5 luglio 2008 n.156, S.O.) "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" che, ai sensi dell'art. 6 comma 2 del DPCM 08/07/03, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate e delle cabine, esistenti e in progetto. Al fine delle verifiche delle autorità competenti, tale metodologia di calcolo prevede due livelli di approfondimento:

- Un procedimento semplificato (par. 5.1.3) basato sulla Distanza di prima approssimazione (D.p.a.), calcolata dal gestore e utile per la gestione territoriale e per la pianificazione urbanistica;
- Il calcolo preciso della fascia di rispetto (par. 5.1.2), effettuato dal gestore e necessario per gestire i singoli casi specifici in cui viene rilasciata l'autorizzazione a costruire vicino all'elettrodotto.

La DPA e la Fascia di rispetto sono così definite:

- **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 di DPA e si trovi all'esterno delle fasce di rispetto; e per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra;
- **Fascia di rispetto:** spazio circostante un elettrodotto che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da una induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità ($3 \mu\text{T}$). Rispetto al primo punto, è stato stabilito che al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione il proprietario/gestore deve:
 - 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 (la configurazione ottenuta potrebbe non corrispondere ad alcuna campata reale);
 - proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
 - comunicarne l'estensione rispetto alla proiezione del centro linea: tale distanza (DPA) sarà adottata in modo costante lungo tutto il tronco come prima approssimazione, cautelativa, delle fasce.
 - qualora la linea, per alcune campate, corresse parallela ad altre (condividendo o meno i sostegni), lungo questo tratto dovrà essere calcolata la DPA complessiva.

Ancora ai fini della semplificazione, per il calcolo della D.p.a. è possibile anche applicare quanto previsto dalla norma CEI 106-11-Parte 1, in cui si fa riferimento ad un modello bidimensionale semplificato, valido per conduttori orizzontali paralleli.

Tale D.M. 29/05/2008 indica che la metodologia si applica a tutti gli elettrodotti esistenti o in progetto, con linee interrate o aeree, ad esclusione delle seguenti:

- linee esercite a frequenze diverse da 50 Hz (esempio linee ferroviaria a 3 kV);
- linee di classe zero secondo il Decreto interministeriale 21/03/88 (quali linee telefoniche, segnalazione e comando a distanza);
- linee di prima classe secondo il Decreto interministeriale 21/03/88 (ovvero linee con tensione nominale inferiore a 1 kV e linee in cavo per illuminazione pubblica con tensione inferiore a 5 kV);
- linee MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

In questi casi le fasce hanno infatti ampiezza ridotta inferiore alle distanze previste dal decreto 449/88 stesso e dal successivo DM 16/01/91.

Si fa presente, inoltre, che per i casi complessi, come presenza di due o più linee (parallele o che si incrociano), presenza di un angolo di deviazione della linea, presenza di campata a forte dislivello e/o orografia complessa del territorio tali D.p.a. non sono più valide ed è necessario ricorrere al calcolo esatto della fascia di rispetto.

Nel caso delle cabine di trasformazione da MT a BT, le D.p.a. per le varie tipologie sono riportate come esempi nel D.M. 29 maggio 2008 e sono tipicamente entro i 3 metri da ciascuna parete esterna della struttura.

3. SORGENTI A BASSA FREQUENZA (ELF)

Le basse frequenze, o ELF (Extremely Low Frequency), consistono in campi elettrici e magnetici di che si formano in corrispondenza di elettrodotti (a bassa, media ed alta tensione), e di tutti i dispositivi domestici alimentati a corrente elettrica, di intensità decisamente inferiore, quali elettrodomestici, videotermini, etc.

Gli altri componenti del sistema di trasmissione e distribuzione che sono diffusi sul territorio, cioè le stazioni e le cabine, non sono in pratica delle importanti sorgenti di campo elettrico dal punto di vista dell'esposizione della popolazione.

Il campo elettrico generato dalle linee elettriche aeree in un determinato punto dello spazio circostante dipende principalmente dal livello di tensione e dalla distanza del punto dai conduttori della linea (altri fattori che influenzano l'intensità del campo elettrico sono poi la disposizione geometrica dei conduttori nello spazio e la loro distanza reciproca).

Alle basse frequenze le caratteristiche fisiche dei campi sono più simili a quelle dei campi statici rispetto a quelle dei campi elettromagnetici veri e propri; è per questo che per le ELF il campo elettrico e il campo magnetico possono essere considerati e valutati come entità a sé stanti.

Si distinguono due principali tipologie di sorgenti in base alle diverse caratteristiche del campo emesso: quelle deputate al trasporto e distribuzione dell'energia elettrica e gli apparecchi che utilizzano energia elettrica. In questo caso si tratta di elettrodotti cioè sorgenti di campo elettromagnetico a frequenza industriale (50 – 60 Hz). Per elettrodotto si intende l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione. Le cabine di trasformazione rappresentano un problema molto minore dal punto di vista dell'inquinamento elettromagnetico, poiché a pochi metri di distanza i campi elettrici e magnetici sono già trascurabili. Le linee elettriche portano energia elettrica dai centri di produzione agli

utilizzatori (industrie, abitazioni, etc.) mentre le cabine di trasformazione trasformano la corrente prodotta dalle centrali in tensioni più basse per l'utilizzazione nelle applicazioni pratiche.

Le tensioni di esercizio delle linee elettriche in Italia si distinguono in 15 kV e 20 kV per la bassa e media tensione, 132, 220 e 380 kV per l'alta tensione. In alcune aree urbane le linee elettriche sono interrate; tale modalità garantisce una diminuzione dell'intensità di campo elettrico nello spazio circostante ma presenta spesso costi elevati e può essere sviluppata solo per tratte limitate. La figura seguente mostra l'andamento del valore efficace del campo elettrico a 1 metro da terra, calcolato nella sezione trasversale delle linee stesse in corrispondenza della minima distanza da terra dei conduttori.

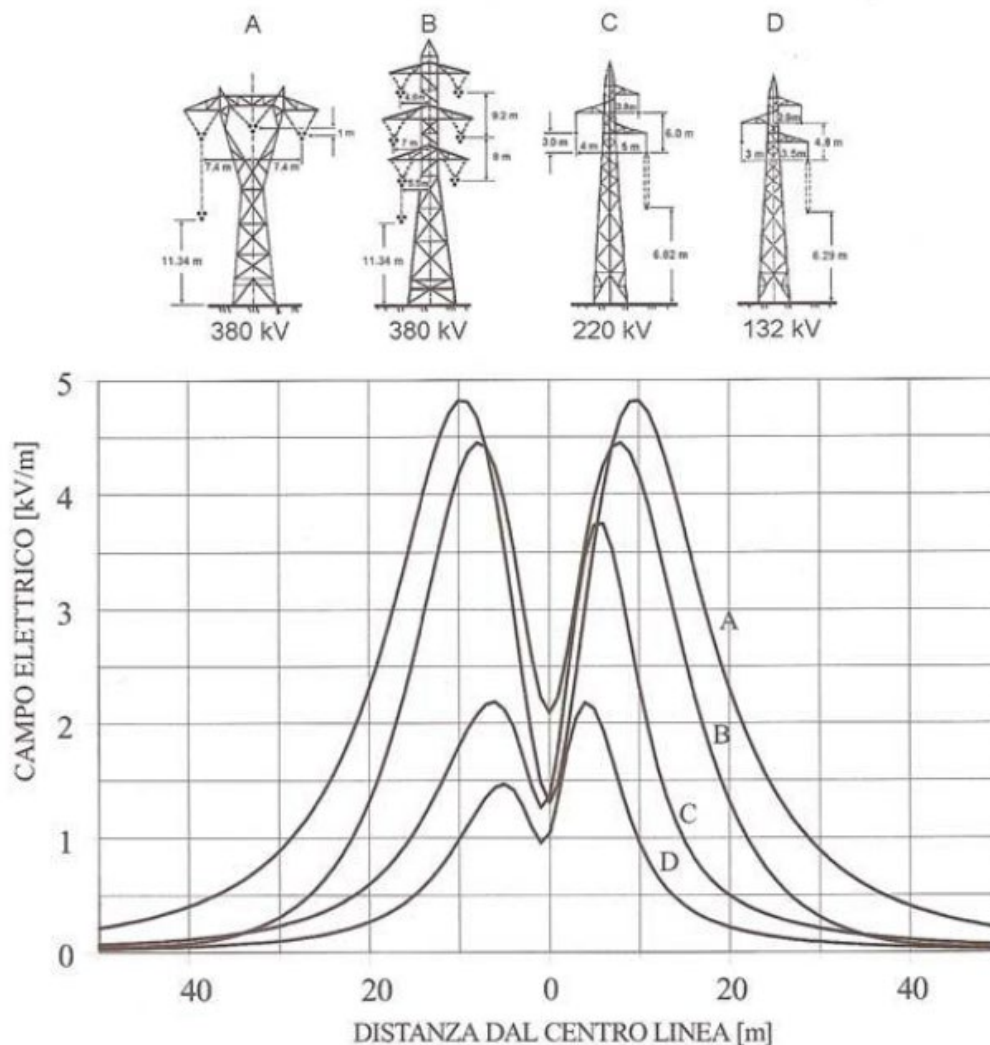


Figura 1: Profili laterali campo elettrico linee elettrica alta tensione

Come è possibile notare nella Figura 3.1, il campo elettrico presenta un massimo nella zona sottostante la linea, ma decresce abbastanza rapidamente all'allontanarsi dell'asse dalla linea stessa.

L'intensità dei campi elettrici e magnetici diminuisce con l'aumentare della distanza dal conduttore, dipende dalla disposizione geometrica e dalla distribuzione delle fasi della corrente dei conduttori stessi e anche dal loro numero.

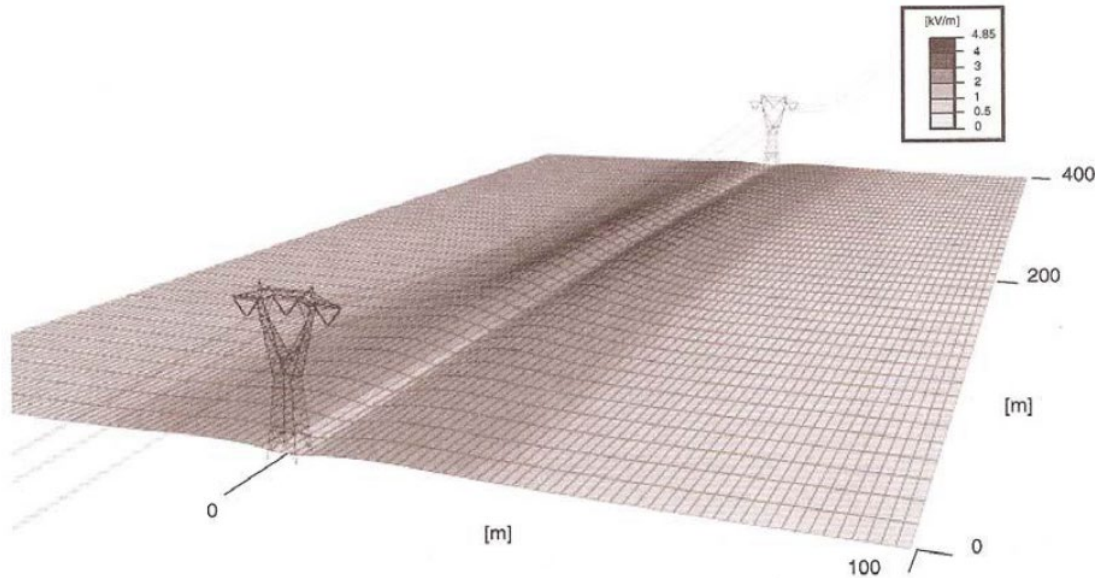


Figura 3.2: Inquinamento da campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (Maggioli Editore)

In realtà le situazioni precedentemente riportate in Figura 3.2 si riferiscono ad una ipotetica situazione in cui il terreno sotto la linea è piano e senza ostacoli: in pratica però il campo elettrico al livello del suolo è spesso ridotto nelle vicinanze di oggetti quali alberi, recinzioni, veicoli, ecc. (Figura 3.3).

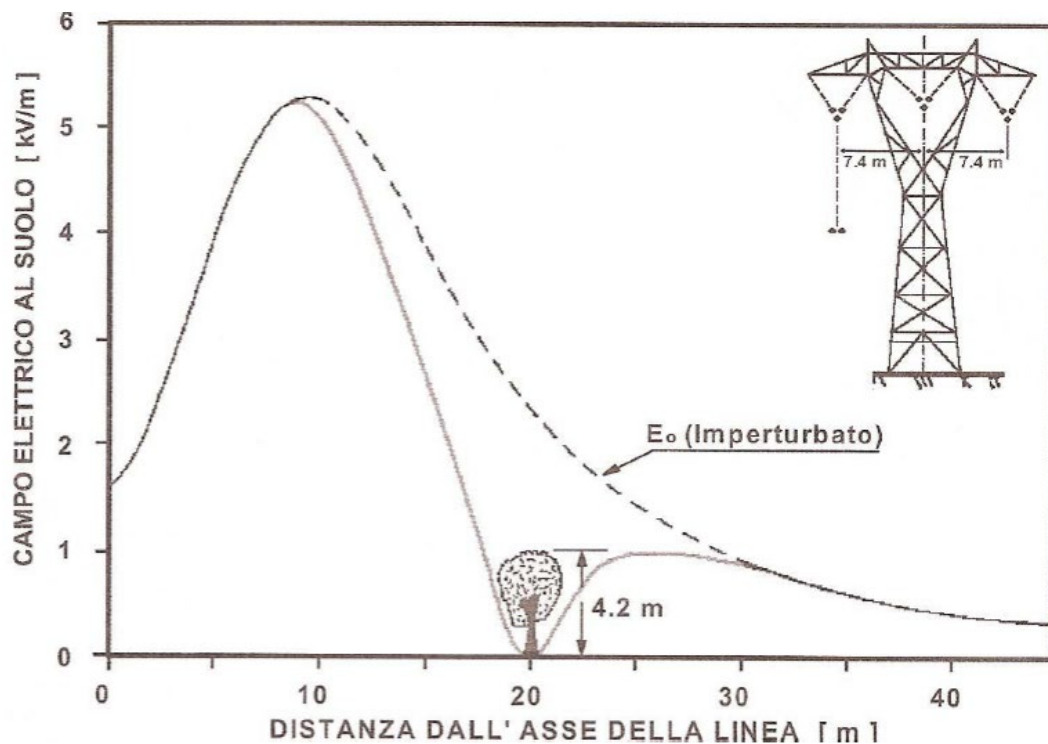


Figura 2 Intensità campo elettrico al suolo in presenza di ostacoli

A differenza di quanto detto a proposito dei campi elettrici, le linee elettriche aeree non sono le uniche sorgenti significative dei campi magnetici ma esistono, sia in ambienti industriali, sia in ambienti domestici e pubblici numerosissime sorgenti che determinano condizioni di esposizione al campo magnetico. Ad esempio, misure effettuate nell'intorno di alcuni elettrodomestici hanno indicato che il campo magnetico può raggiungere intensità anche di alcune decine e centinaia di microtesla a breve distanza (<10 cm) dalla sorgente; peraltro, con l'aumentare della distanza, esso decresce molto più rapidamente di quanto non succeda per gli elettrodotti, raggiungendo a circa 1 m dalla sorgente valori uguali o inferiori a 1 μT .

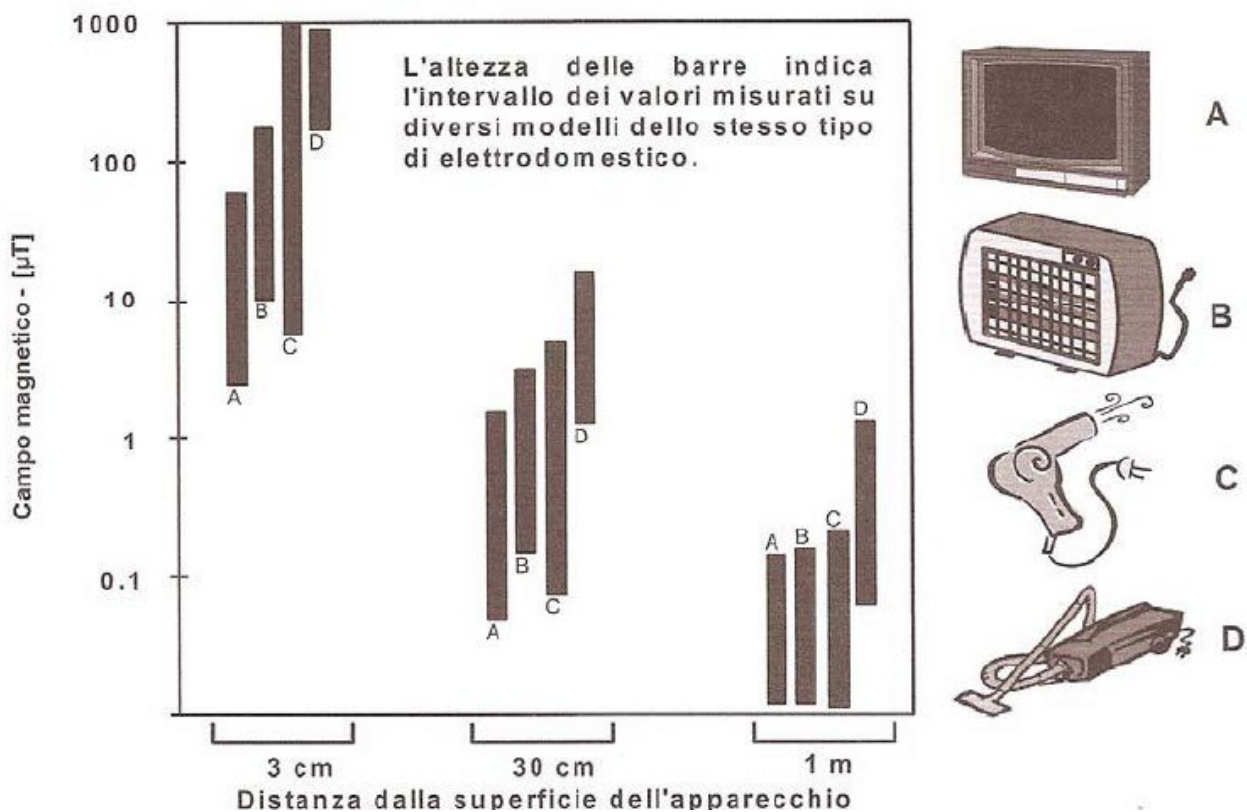


Figura 3 Livelli tipici di campo magnetico di alcuni elettrodomestici

Bisogna poi ricordare che il campo magnetico, dipendendo dalla corrente, varia a seconda della richiesta di energia e quindi è fortemente influenzato dalle condizioni di carico delle linee stesse.

Come per il campo elettrico, anche il campo magnetico diminuisce con l'aumentare della distanza da terra dei conduttori. A differenza del campo elettrico però il campo magnetico non può generalmente essere schermato da oggetti presenti in prossimità della linea. Per quanto riguarda le linee di distribuzione a media e bassa tensione, l'induzione magnetica al suolo, a causa delle minori correnti transitanti, è più bassa rispetto a quella riscontrabile nelle linee ad alta tensione.

4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto è composto da un impianto di produzione di energia elettrica da conversione fotovoltaica dell'energia solare costituito da 39.984 moduli da 625 Wp ciascuno, di potenza di picco totale pari a 24,99 MWp e di potenza in immissione pari a 24,0 MW.

L'intera produzione netta di energia elettrica sarà allacciata alla rete di Distribuzione tramite realizzazione di quattro nuove cabine di consegna collegata in antenna alla cabina primaria AT/MT ALTEDO. All'impianto faranno riferimento quattro nuove cabine di consegna (Delivery Cabin) destinate ad ospitare i dispositivi di sezionamento e protezione del distributore locale (E-Distribuzione s.p.a.).

Le stringhe di moduli fotovoltaici saranno cablate in parallelo direttamente sugli inverter posti in campo (Inverter di stringa) dove la corrente, distribuita in corrente continua monofase, sarà trasformata in corrente alternata trifase. Le linee in corrente alternata trifase (a 400 V), in uscita da ogni inverter, saranno convogliate al rispettivo quadro generale BT. La linea trifase a 400 V in AC in uscita dai rispettivi quadri generali di parallelo sarà trasformata in AC a 15.000 V da apposito trasformatore elevatore di potenza pari a 2.000 kVA. All'uscita del trasformatore è posto il quadro MT (partenza linea MT). La linea elettrica in MT in uscita dal quadro MT posta all'interno delle cabine prefabbricate di competenza è convogliata alla cabina utente e successivamente alla cabina di consegna (Delivery Cabin) dotata delle opportune apparecchiature di sezionamento e protezioni.

Le linee MT in uscita delle cabine di consegna (Delivery Cabin), saranno convogliate alla cabina primaria AT/MT ALTEDO ove è previsto il punto di connessione alla rete elettrica.

A servizio dell'impianto fotovoltaico è prevista la realizzazione delle seguenti opere:

- Impianto di produzione di energia elettrica solare fotovoltaica (le cui caratteristiche sono dettagliatamente descritte nell'elaborato tecnico dedicato);
- Trasformazione dell'energia elettrica BT/MT (attraverso Power Station appositamente dedicate);
- Impianto di connessione alla rete elettrica MT;
- Distribuzione elettrica BT;
- Impianto di alimentazione utenze in continuità assoluta;
- Impianti di servizio: impianto di allarme (antintrusione ed antincendio) e videosorveglianza;
- Impianto di terra.

5. DETERMINAZIONE DELLA DPA

Come precisato in precedenza, nella presente relazione, saranno oggetto di valutazione le seguenti apparecchiature elettriche:

- Campo Fotovoltaico (Moduli Fotovoltaici);
- Inverter;
- Elettrodotti di Bassa (BT) e Media tensione (MT);
- Cabine di trasformazione BT/MT;

5.1 Campi Elettromagnetici relativi al Campo Fotovoltaico (Moduli Fotovoltaici)

Nel caso specifico del campo fotovoltaico, formato dall'insieme delle stringhe di moduli fotovoltaici, dalle string box e dai rispettivi cavi elettrici, considerato che:

- Tale sezione di Impianto ha un funzionamento in corrente continua (0 Hz);
- Nel caso di una buona esecuzione delle opere, i cavi con diversa polarizzazione (+ e -) sono posti a contatto, con l'annullamento quasi totale dei campi magnetici statici prodotti in un punto esterno;
- I cavi relativi alle dorsali principali, ovvero gli unici che trasportano un valore di corrente significativo, sono molto distanti dai confini dell'impianto;

Si può escludere il superamento dei limiti di riferimento dei valori di campo elettromagnetico.

5.2 Campi Elettromagnetici relativi agli Inverter

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi, pertanto, sono costituiti per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. Inoltre, il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo). Oltre a quanto specificato, gli inverter ammessi in commercio devono rispettare la normativa vigente sulla compatibilità elettromagnetica, al fine di evitare interferenze con altre apparecchiature e con la rete elettrica.

Si può escludere il superamento dei limiti di riferimento dei valori di campo elettromagnetico.

5.3 Elettrodotti di Bassa Tensione

Per quanto riguarda i cavi di collegamento tra gli inverter e la cabina di trasformazione, si utilizzano terne di cavi alimentati in corrente alternata trifase alla tensione di 400 Vca. Tali linee elettriche sono posate interrate ad una profondità di almeno 80 cm, e sono ubicate ad una distanza superiore a 40 m dal confine stradale e dal più vicino ricettore.

Per le linee in cavo interrato BT si può quindi escludere il superamento dei limiti di riferimento dei valori del campo elettromagnetico all'esterno dell'area dell'impianto fotovoltaico.

5.4 Elettrodotti di Media Tensione

Gli elettrodotti di media tensione relativi al campo fotovoltaico si dividono in:

- Cavi MT 15 kV interrati per il collegamento elettrico tra le Power Station;
- Cavi MT 15 kV interrati per il convogliamento dell'energia prodotta alla cabina di consegna;

Per quanto concerne entrambe le tipologie sopra riportate, per i cavi MT interrati il valore di qualità (induzione magnetica $< 3 \mu\text{T}$), si raggiunge ad una distanza di circa 1 m dal cavo (Figura 5.1), e come previsto da ARPAE si prevede una DPA pari ad 1 m. Come definito dalla norma CEI 106-11 parte prima, le linee in cavo cordato sotterraneo di media tensione posate ad una profondità di circa 1 metro, in base alle valutazioni riportate al paragrafo 7 della norma stessa, già al livello del suolo sulla verticale del cavo e nelle condizioni limite di portata si determina una induzione magnetica inferiore a $3 \mu\text{T}$. Secondo quanto calcolato dalla norma, un cavo cordato di sezione 240 mm^2 presenta una induzione magnetica inferiore a $3 \mu\text{T}$ già ad una distanza di 90 cm. La distanza scende a 70 cm per un cavo cordato di sezione 185 mm^2 e ancora a 50 cm per cavi di sezione 150 mm^2 e 95 mm^2 . Essendo il cavidotto interrato ad una profondità di circa 1,5 m rispetto al piano di campagna, la DPA sarà completamente confinata al di sotto del livello del suolo.

Le linee MT realizzate all'interno del campo fotovoltaico, comprese quelle che si vanno a richiudere nelle cabine secondarie, saranno costituite da cavi schermati elicordati, del tipo ARP1H5EX 12/20kV 3x(1x240) ad elica visibile, per il quale è escluso il calcolo della fascia di rispetto (e quindi delle DPA) come indicato nel DM 29 Maggio 2008.

Le aree in cui avviene la posa dei cavi sono industriali, e la posa dei cavi avviene di solito al di sotto di strade esistenti (interpoderali, comunali e l'attraversamento di una strada provinciale), aree dove ovviamente non è prevista la permanenza stabile di persone per oltre 4 ore e/o la costruzione di edifici.

Vengono descritte di seguito le interferenze riscontrate tra i cavidotti di progetto e le linee elettriche esistenti interessate sul territorio (i tratti di seguito descritti sono riportati sugli elaborati grafici del presente progetto definitivo):

- Tratto di connessione in uscita da Cabina Primaria "ALTEDO" denominato A-A1: n.4 cavi MT di progetto sez. 3x1x240mmq AL, aventi estradosso a profondità superiore a 1,20m dal piano di calpestio - parallelismo con n.9 cavi MT esistenti sez. 3x1x185mmq, n.1 cavo MT esistente sez. 3x1x240mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore (fig.1);
- Tratto di connessione ricadente in Via della Vita denominato A1-B: n.4 cavi MT di progetto sez. 3x1x240mmq AL, aventi estradosso a profondità superiore a 1,20m dal piano di calpestio - parallelismo con n.8 cavi MT esistenti sez. 3x1x185mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore (fig.2);
- Tratto di connessione ricadente in Via Bassa Inferiore denominato C-D: n.4 cavi MT di progetto sez. 3x1x240mmq AL, aventi estradosso a profondità superiore a 1,20m dal piano di calpestio - parallelismo con n.3 cavi MT esistenti sez. 3x1x185mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore (fig.3);
- Tratto di connessione ricadente in Via Bentini, angolo Via Bassa Inferiore denominato PUNTO D-D1: n.4 cavi MT di progetto sez. 3x1x240mmq AL, aventi estradosso a 1,20m di profondità dal piano di calpestio, n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore - attraversamento di n.2 linee MT esistenti sez. 3x1x185mmq (fig.4);
- Tratto di connessione ricadente in Via Bentini, angolo Via Bassa Inferiore denominato PUNTO D-D1: n.4 cavi MT di progetto sez. 3x1x240mmq AL, aventi estradosso a 1,20m di profondità dal piano di calpestio - parallelismo con n.2 cavi MT esistenti sez. 3x1x185mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore (fig.5);
- Tratto di connessione ricadente in Via Curiel denominato D1-D2: n.4 cavi MT di progetto sez. 3x1x240mmq AL, aventi estradosso a profondità superiore a 1,20m dal piano di calpestio - parallelismo con n.1 cavo MT esistente sez. 3x1x185mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore (fig.6);
- Tratto di connessione ricadente in Via Castellina denominato D2-D3: n.4 cavi MT di progetto sez. 3x1x240mmq AL, aventi estradosso a profondità superiore a 1,20m dal piano di calpestio - parallelismo con n.3 cavi MT esistenti sez. 3x1x185mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore (fig.7);
- Tratto di connessione ricadente in Via Castellina, angolo Via Curiel denominato PUNTO D3-E: n.4 cavi MT di progetto sez. 3x1x240mmq AL, aventi estradosso a profondità superiore a 1,20m dal piano di

calpestio, n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore - attraversamento di n.1 linea MT esistente sez. 3x1x185mmq (fig.8);

Considerando le interferenze sopra descritte, si riporta di seguito lo schema di DPA per ogni tratto:

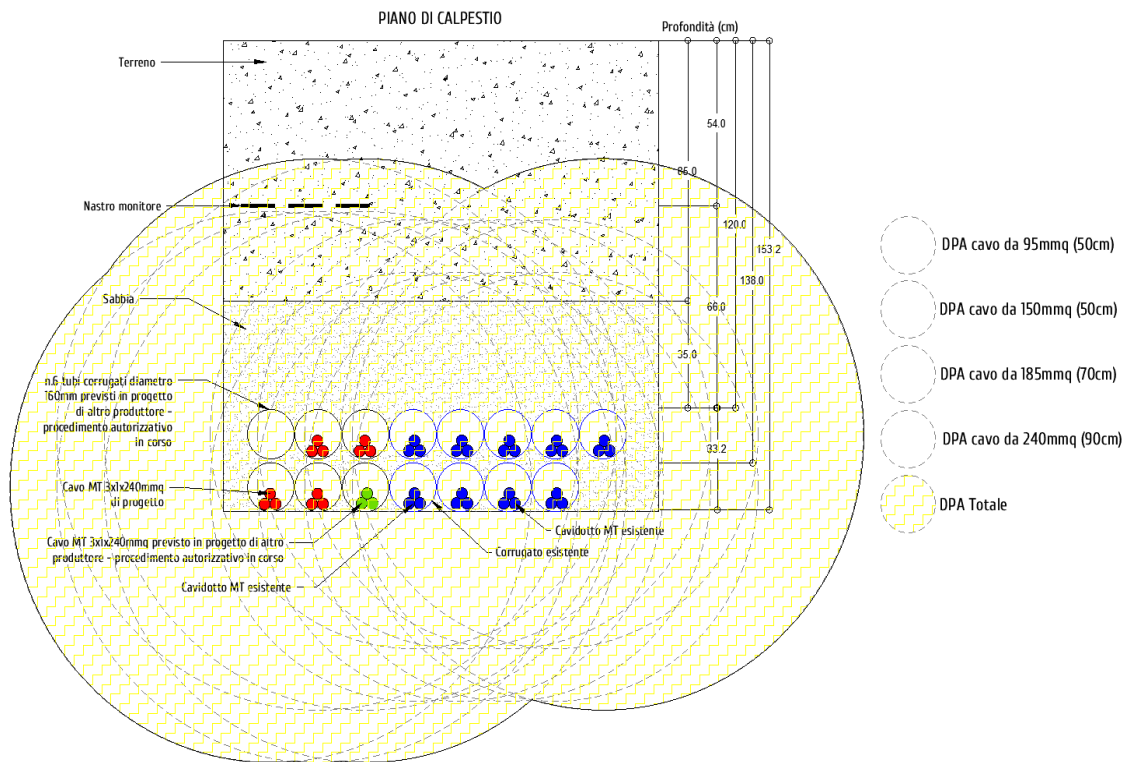


Figura 4: Tratto A-AI in uscita da CP ALTEDO: parallelismo n.4 cavi MT di progetto 240mmq con n.9 cavi MT esistenti 185mmq, n.1 cavo MT esistente 240mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore;

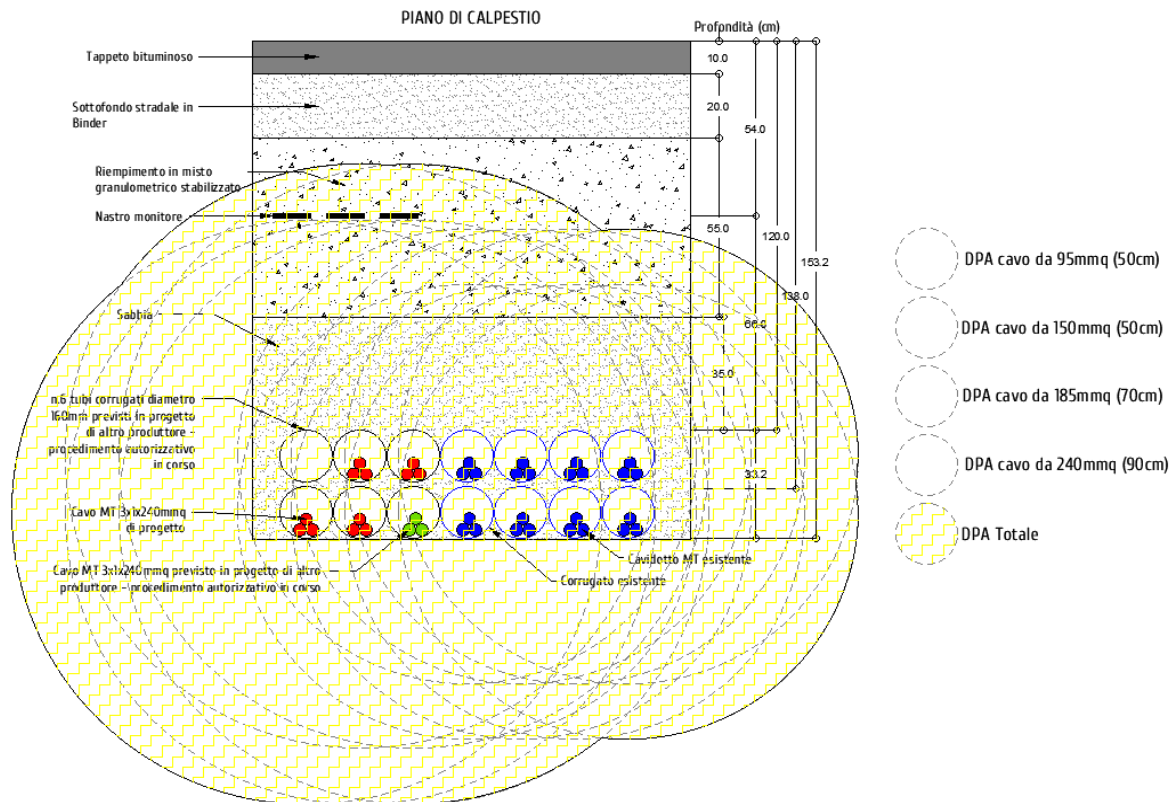


Figura 5: Tratto A1-B di Via della Vita: parallelismo n.4 cavi MT di progetto 240mmq con n.8 cavi MT esistenti 185mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore;

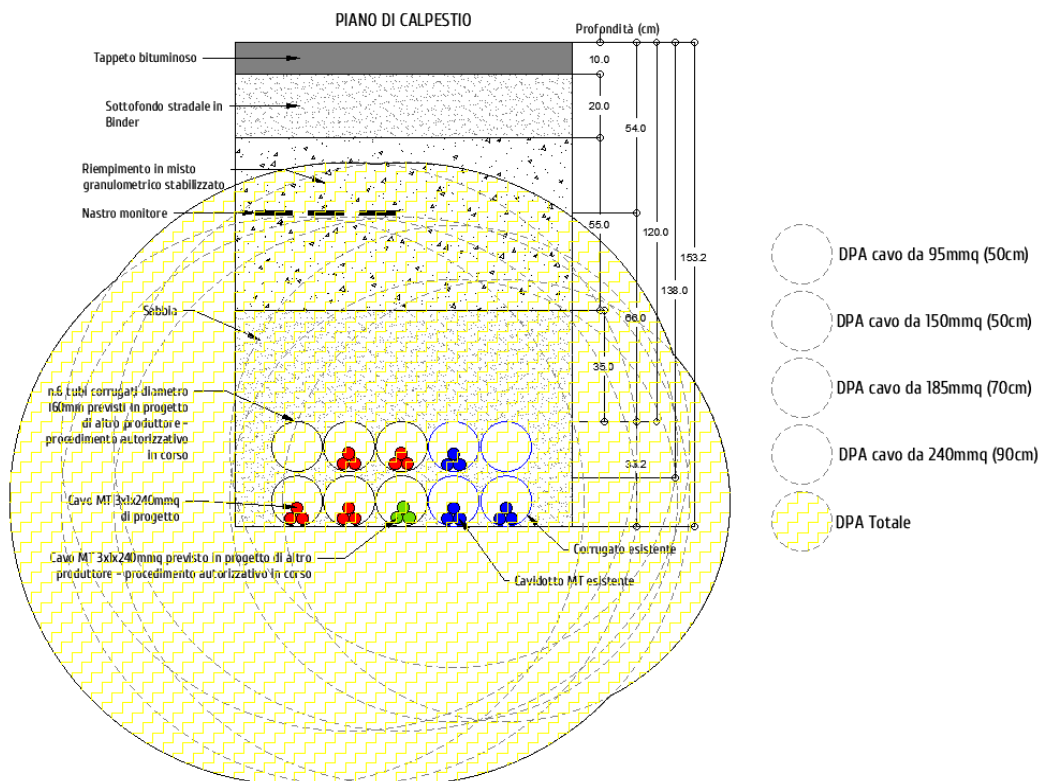


Figura 6: Tratto C-D di Via Bassa Inferiore: parallelismo n.4 cavi MT di progetto 240mmq con n.3 cavi MT esistenti 185mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore;

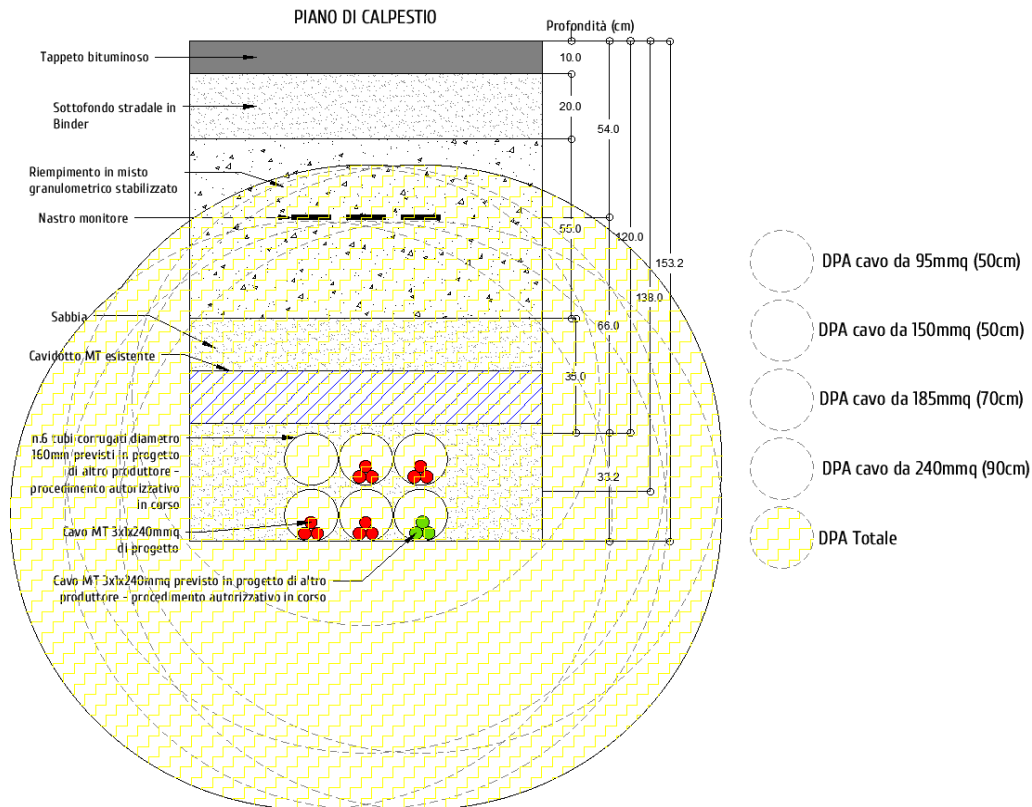


Figura 7 Punto D-D1 di Via Bentini, angolo Via Bassa Inferiore: attraversamento n.4 cavi MT di progetto 240mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore di n.2 cavi MT esistenti 185mmq;

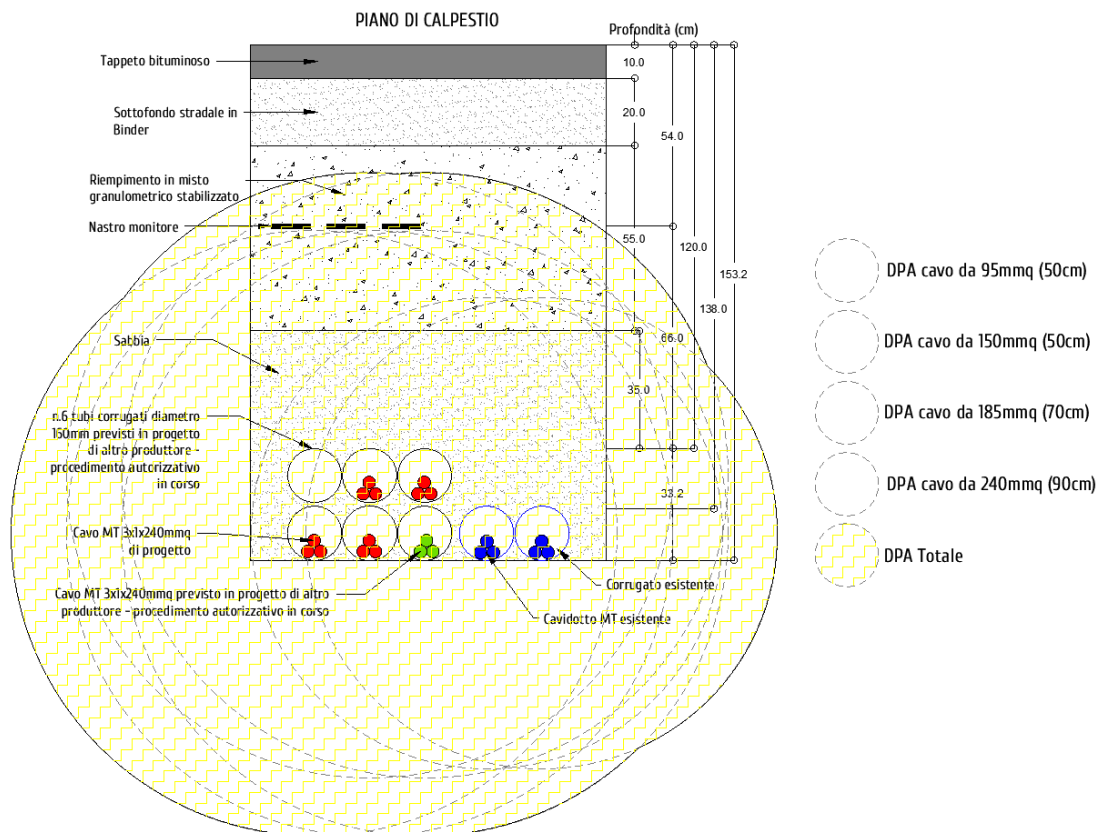


Figura 9 Tratto D-D1 di Via Bentini: parallelismo n.4 cavi MT di progetto 240mmq con n.2 cavi MT esistenti 185mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore;

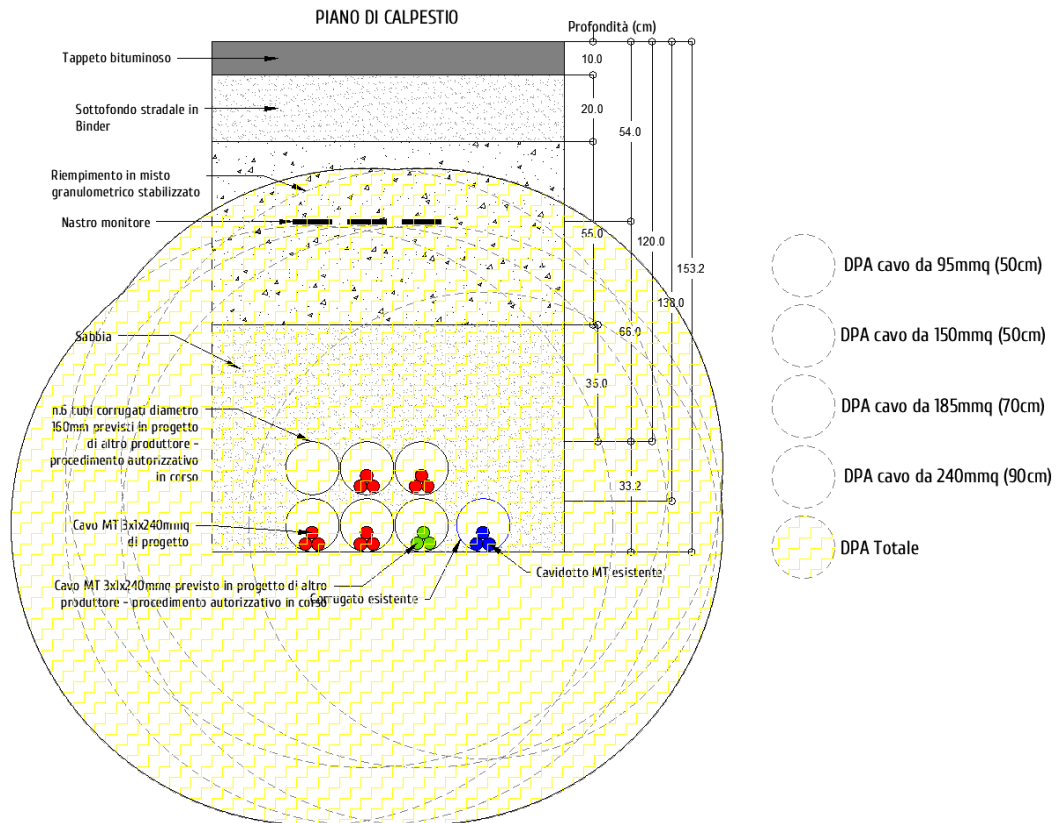


Figura 8 Tratto D1-D2 di Via Curiel: parallelismo n.4 cavi MT di progetto 240mmq con n.1 cavi MT esistenti 185mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore;

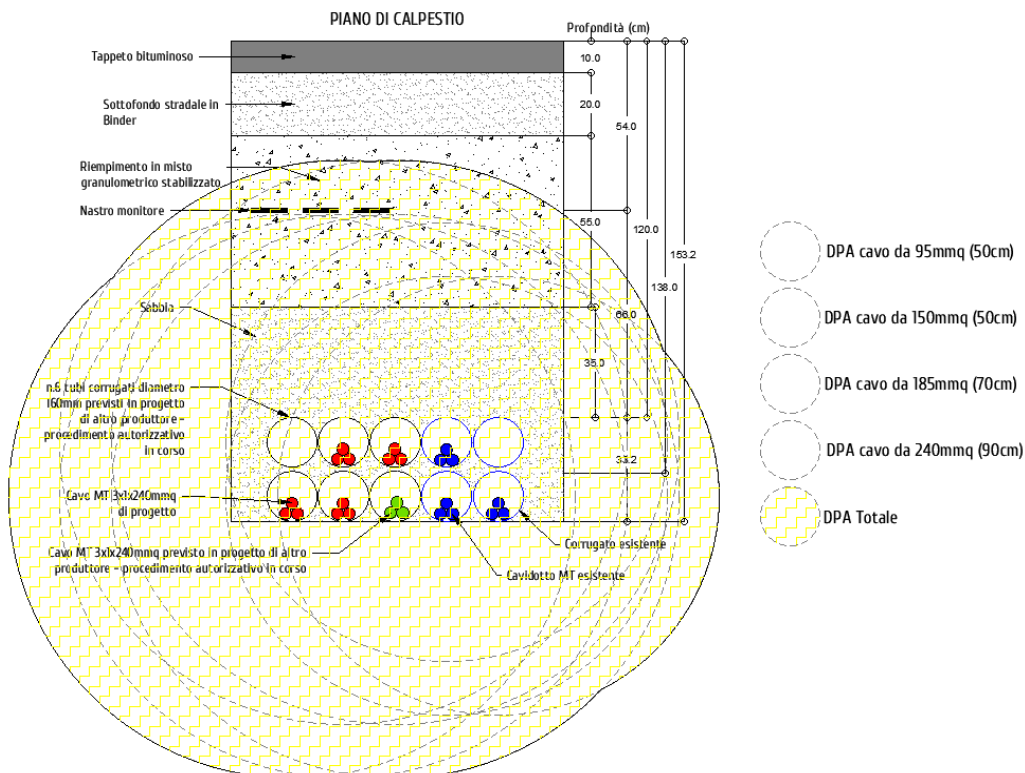


Figura 10 Tratto D2-D3 di Via Castellina: parallelismo n.4 cavi MT di progetto 240mmq con n.3 cavi MT esistenti 185mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore;

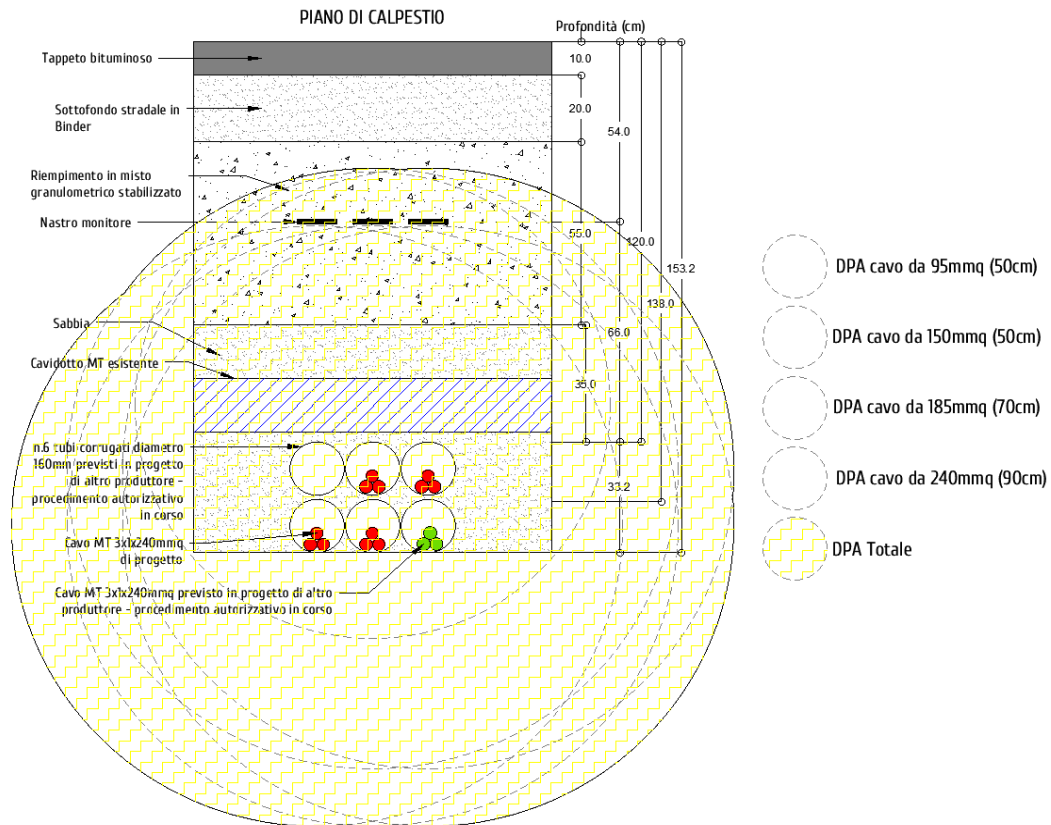


Figura 11 Punto D3-E di Via Curiel, angolo Via Castellina: attraversamento n.4 cavi MT di progetto 240mmq e n.1 cavo MT sez. 3x1x240mmq in corso di autorizzazione per altro produttore di n.1 cavo MT esistente 185mmq;

Possiamo pertanto concludere che l'impatto elettromagnetico indotto dai cavi MT è praticamente nullo 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.

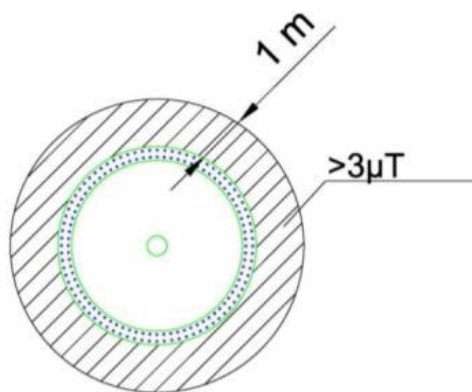


Figura 12: Limiti del campo magnetico per un conduttore MT

5.5 Cabine Elettriche BT/MT

All'interno dei campi fotovoltaici sono presenti delle cabine di trasformazione, ognuna comprensiva di n. 1 quadro MT (QMT), di n°1 trasformatore di potenza pari a 2.000 kVA con rapporto di trasformazione 15/0,4 kV, n. 1 autotrasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari, il tutto montato e cablato su apposito skid predisposto. Saranno realizzate 13 coppie di cabine di trasformazione collegate in parallelo, in cui vi sarà alloggiato n° 1 trasformatore di potenza ognuna. Nelle tredici coppie di cabine soltanto il trasformatore principale sarà in funzione, mentre il trasformatore ausiliario resterà spento. Con tale composizione e predisposizione non vi sarà rischio di sovrapposizione di campi elettromagnetici tra le cabine componenti una coppia in parallelo. La fascia di rispetto della cabina di trasformazione dell'impianto è calcolata sulla base della metodologia di calcolo semplificato descritta nel DM 29/05/08 pubblicata sulla gazzetta ufficiale n.156 del 5 luglio 2008 S.O. n. 160) mediante l'individuazione della distanza di prima approssimazione D.p.a., ottenuta applicando la seguente formula:

$$D_{pa} = 0,40942 \sqrt{I} x^{0,5241}$$

dove

- I = corrente nominale (secondaria del trasformatore) [A];
- x = diametro dei cavi in uscita dal trasformatore [m];

Per un trasformatore da 2.000 kVA di potenza, la corrente che attraversa i cavi ai terminali BT alla tensione di 400 V è pari a 2.887 A.

Come previsto dal DM 29 Maggio 2008 si può considerare la distanza tra le fasi pari al diametro reale del cavo (conduttore più isolante), in caso di più cavi in parallelo per ciascuna fase si può considerare cautelativamente la distanza tra le fasi pari alla somma di tutti i diametri dei cavi costituenti la formazione di una singola fase.

La formazione dei cavi BT utilizzata è 3x240 + 150 N per ogni fase, per cui la distanza di calcolo tra le fasi è la somma dei diametri dei conduttori per singola fase, pari a 1x0,065=0,065 mm.

Distanza tra le fasi=	0,065 m
Tensione BT=	400 V
Potenza trasformatore=	2000 kVA
Corrente BT=	2887 A

$$DPA = 54 * 0.40942 * 0,24 = 5,30 m$$

La DPA calcolata viene approssimata al mezzo metro superiore, quindi si determina una DPA pari a 5,5 metri.

Nel caso della cabina di consegna, in ottemperanza al DM 29/05/08 precedentemente citato, è stata prevista una fascia di rispetto espressa a titolo cautelativo mediante l'individuazione della distanza di prima approssimazione. A titolo conservativo è stata scelta come DPA il valore massimo riportato nella tabella dell'art. 5.2.1 del DM 29/05/08 e pari a 3,0 m.

Saranno pertanto previste attorno alla cabina di consegna una fascia di terreno di 3,0 m ed alle cabine di trasformazione delle fasce di terreno di 5,5 m mantenute libera da qualsiasi struttura.

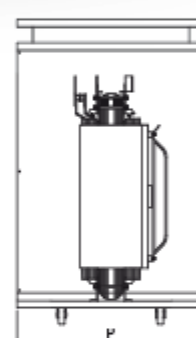
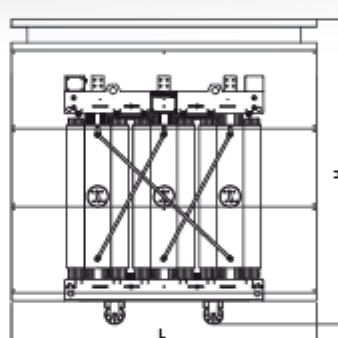
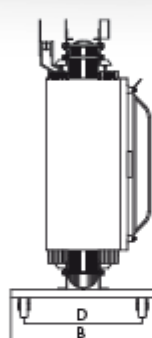
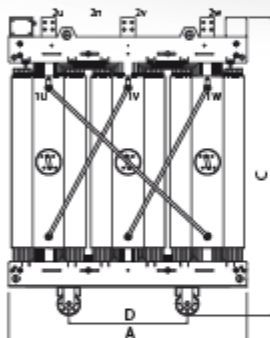
7. SPECIFICHE TECNICHE TRASFORMATORE

POTENZA NOMINALE kVA		100	160	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150
PERDITE A VUOTO	W	280	350	520	750	1.100	1.300	1.550	1.800	2.200	2.600	3.100	3.800
PERDITE A CARICO A 75 °C	W	1.575	2.275	2.975	3.950	6.200	7.000	7.875	9.625	11.375	14.000	16.625	19.250
PERDITE A CARICO A 120 °C	W	1.800	2.600	3.400	4.500	7.100	8.000	9.000	11.000	13.000	16.000	19.000	22.000
CORRENTE A VUOTO I ₀	%	1	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4
TENSIONE DI C.T.O. C.T.O. V _{cc}	%	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
CORRENTE DI INSERZIONE I _{E/M}		11,5	10,5	10,00	9,5	9,5	9	9	8,5	8,5	8	8	7,5
RENDIMENTO A 75°C													
COSφ 1 CARICO 100%	%	98,15	98,36	98,60	98,83	98,84	98,96	99,06	99,09	99,15	99,17	99,21	99,27
COSφ 1 CARICO 75%	%	98,45	98,65	98,83	99,01	99,03	99,13	99,20	99,23	99,28	99,30	99,34	99,38
COSφ 0,9 CARICO 100%	%	97,90	98,14	98,41	98,67	98,68	98,82	98,93	98,96	99,04	99,06	99,10	99,17
COSφ 0,9 CARICO 75%	%	98,25	98,47	98,68	98,88	98,90	99,01	99,10	99,13	99,19	99,21	99,25	99,30
CADUTA DI TENSIONE A 75° C													
COSφ 1 CARICO 100%	%	1,74	1,59	1,36	1,16	1,16	1,05	0,96	0,95	0,89	0,88	0,84	0,79
COSφ 0,9 CARICO 100%	%	4,04	3,93	3,75	3,59	3,59	3,5	3,43	3,41	3,36	3,36	3,33	3,28
RUMORE													
POT. ACUSTICA (Lwa)	dB(A)	51	54	57	60	62	64	65	67	68	70	71	74

DIMENSIONI E PESI (INDICATIVI)

Senza Box protezione IP 00

Con Box protezione IP 31



TENSIONE DI ISOLAMENTO 17,5 kV		100	160	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150
LUNGHEZZA (A)	mm	1.000	1.100	1.250	1.450	1.450	1.650	1.650	1.650	1.900	1.900	1.900	2.200
PROFONDITÀ (B)	mm	650	650	650	800	800	1.000	1.000	1.000	1.200	1.200	1.200	1.200
ALTEZZA (C)	mm	1.150	1.250	1.350	1.500	1.700	1.800	1.900	2.050	2.150	2.250	2.350	2.550
INTERASSE RUOTE (D)	mm	520	520	520	670	670	820	820	820	1.000	1.000	1.000	1.000
DIAMETRO RUOTE	mm	100	100	100	100	160	160	160	160	160	160	160	160
PESO	kg	600	750	1.000	1.400	1.750	2.150	2.550	2.900	3.400	3.900	4.750	6.100
ESECUZIONE IP31		TIPO 1		TIPO 2		TIPO 3		TIPO 4		TIPO 5			
LUNGHEZZA (L)	mm	1.700		1.950		2.200		2.500		2.800			
PROFONDITÀ (P)	mm	1.000		1.200		1.300		1.500		1.500			
ALTEZZA (H)	mm	1.850		2.000		2.400		2.650		2.900			
PESO ARMADIO	kg	220		260		320		360		400			
TENSIONE DI ISOLAMENTO 24 kV		100	160	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150
LUNGHEZZA (A)	mm	1.100	1.150	1.250	1.450	1.650	1.650	1.650	1.900	1.900	1.900	1.900	2.200
PROFONDITÀ (B)	mm	650	650	650	800	1.000	1.000	1.000	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
ALTEZZA (C)	mm	1.200	1.350	1.400	1.550	1.750	1.850	1.950	2.050	2.150	2.250	2.400	2.550
INTERASSE RUOTE (D)	mm	520	520	670	670	820	820	820	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
DIAMETRO RUOTE	mm	100	100	100	100	160	160	160	160	160	160	160	160
PESO	kg	700	850	1.150	1.600	1.900	2.350	2.750	3.100	3.700	4.400	5.250	6.250
ESECUZIONE IP21		TIPO 1		TIPO 2		TIPO 3		TIPO 4		TIPO 5			
LUNGHEZZA (L)	mm	1700		1950		2200		2500		2800			
PROFONDITÀ (P)	mm	1000		1200		1300		1500		1500			
ALTEZZA (H)	mm	1850		2000		2400		2650		2900			
PESO ARMADIO	kg	220		260		320		360		400			

8. CONCLUSIONI

A seguito delle analisi sopra riportate, si può affermare quanto segue in merito alla realizzazione degli impianti fotovoltaici ed in particolare, delle seguenti apparecchiature elettriche:

- -- *Campo Fotovoltaico (Moduli Fotovoltaici);*
- -- *Inverter;*
- -- *Elettrodotti di Bassa (BT) e Media Tensione (MT);*
- -- *Cabine di trasformazione BT/MT;*

Le cabine utente (cabine di trasformazione) del produttore si trovano all'interno dell'area dell'impianto, la più vicina al confine è posizionata ad una distanza \geq di 5,5 metri, per cui la DPA associata rimane interamente all'interno dell'area dell'impianto.

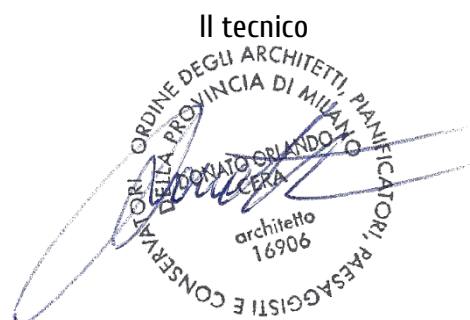
La cabina di consegna del distributore invece si trova al di fuori dell'area dell'impianto, ma all'interno dell'area particellare del produttore, ma ad una distanza dal confine stradale di 30 metri, per cui la relativa DPA non sconfina su area pubblica.

Per gli inverter il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo), per cui sono da escludere dal calcolo delle fasce di rispetto e quindi dalle DPA.

Infine, la linea MT che attraversa l'impianto fino ad arrivare nel punto di connessione, è posta ad una profondità di 1,2 metri sotto il piano di calpestio ed utilizzando un cavo di tipo elicordato; ai sensi del DM 29 Maggio 2008, questo tipo di cavo è da escludere dal calcolo delle fasce di rispetto e quindi dalle DPA.

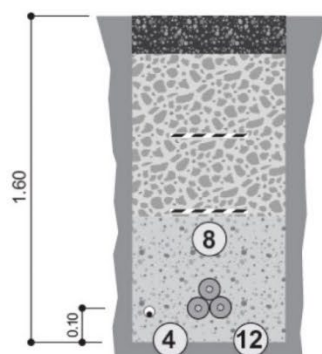
Si può quindi concludere che la realizzazione delle opere elettriche relative all'impianto fotovoltaico oggetto dell'intervento, comporta rischi nulli in merito agli effetti dei campi elettromagnetici sulle persone ai sensi della normativa vigente.

Il tecnico




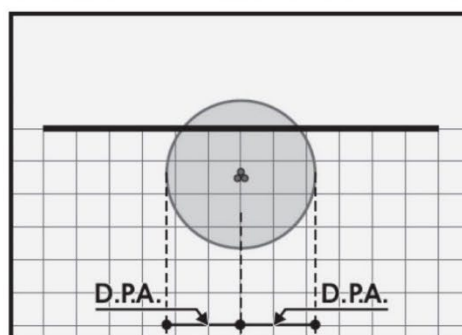
ORDINE DEGLI ARCHITETTI, PIANIFICATORI,
PAESAGGISTI E CONSERVATORI
DELLA PROVINCIA DI MILANO
DONATO ORLANDO
architetto
16906

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



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

 $< 3\mu T$
 $> 3\mu T$



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