



SCREENING

Tipologia di intervento classificato al p.to n°2 lett.b dell'allegato B1 della
Direttiva Regionale in materia di V.I.A.

**PROGETTO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO
AGRIFOTOVOLTAICO, DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE
INDISPENSABILI DENOMINATO 18577 UTA4 DA REALIZZARSI NEL
COMUNE DI UTA IN LOCALITA' MARZALLOI (CA)**

PROGETTO DEFINITIVO

Il Proponente:



Loc. San Giovanni "La Cartiera"
09015 - Domusnovas (SU)
P.IVA 04044730929
alfataugreen2@gmail.com
alfataugreen2@pec.it

I Progettisti:

I Progettisti

Il capogruppo Ing. Fiorenzo Casti

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

| | | | |
|----------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------|
| Elaborato <u>A11</u> | Tipo Documento <u>Relazione</u> | Data <u>settembre 2023</u> | Scala <u></u> |
|----------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------|

Titolo documento:

Relazione Campi Elettromagnetici Generale Impianto

Indice

| | |
|--|----|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 4 |
| 3. GRANDEZZE FISICHE CARATTERIZZANTI IL FENOMENO | 5 |
| 3.1 IL CAMPO ELETTROMAGNETICO | 5 |
| 3.2 CAMPO ELETTRICO | 6 |
| 3.3 CAMPO MAGNETICO | 6 |
| 4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 8 |
| 5. COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA | 9 |
| 6. DESCRIZIONE SOMMARIA DELL'IMPIANTO | 10 |
| 7. CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI..... | 12 |
| 7.1 CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO..... | 12 |
| 7.1.1. I MODULI FOTOVOLTAICI..... | 12 |
| 7.1.2. INVERTER..... | 12 |
| 7.1.3. TRANSFORMATION CABIN | 14 |
| 7.1.4. LINEE ELETTRICHE IN CAVO INTERNE AL CAMPO IN MEDIA TENSIONE | 18 |
| 7.1.5 LINEE ELETTRICHE IN CAVO INTERNE AL CAMPO IN BASSA TENSIONE | 20 |
| 8. CONCLUSIONI | 20 |

1. PREMESSA

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

Il progetto prevede la costruzione e l'esercizio di un impianto fotovoltaico su strutture costituite da inseguitori solari di tipo mono-assiale avente orientamento Nord - Sud e angolo di tilt pari a 0° della potenza di potenza complessiva pari a 8759,00 kW.

Tale impianto sorgerà in un'area che si estende su una superficie recintata, di tipo agricola complessiva di circa 16 ha 06 a re e ubicata in zona periferica a nord-est del territorio Comunale di Uta (Ca) in località Marzalloi. Il centro abitato più vicino all'area di impianto è quello di Siliqua (territorio comunale sul quale sorge) ad una distanza in linea retta dal centro cittadino, di circa 5,6 km in linea d'aria in direzione sud-est.

Per l'impianto fotovoltaico suddetto saranno analizzate le emissioni elettromagnetiche dovute all'esercizio di cavidotti, stazioni di trasformazione, cabina di consegna e in generale del generatore fotovoltaico. A tale scopo, saranno individuate, per ciascuna delle suddette componenti, le Distanze di Prima Approssimazione (DPA) secondo le prescrizioni di cui al Decreto Ministeriale del 29.05.2008.

Nel presente studio è stata presa in considerazione la condizione maggiormente significativa al fine di valutare la rispondenza ai requisiti di legge dei nuovi elettrodotti. Verrà riportata l'intensità del campo elettromagnetico sulla verticale dei cavidotti e nelle immediate vicinanze, fino ad una distanza massima di 15 m dall'asse del cavidotto; la rilevazione del campo magnetico è stata fatta alle quote di 0m, +1,5m, +2m, +2,5m e +3m dal livello del suolo. Si fa presente che la quota di +1,5m dal livello del suolo è la quota nominale cui si fa riferimento nelle misure di campo elettromagnetico.

La presente relazione è redatta per conto della società Alfatau Green 2 s.r.l, con sede in Domusnovas (SU) nella località Grotta San Giovanni snc in qualità di proponente.

Il responsabile del progetto è l'ing. Fiorenzo Casti iscritto all'albo degli ingegneri della Provincia di Cagliari al n.3734, in qualità di libero professionista, è stato incaricata dalla società Alfatau Ingegneria e Servizi S.r.l di redigere la documentazione tecnica per la richiesta di connessione alla rete di distribuzione per un nuovo impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile solare.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Di seguito si riporta l'elenco dei principali riferimenti normativi e documenti che intervengono nella definizione e nella valutazione dei fattori di rischio associati alla presenza di campi elettromagnetici in ambiente.

- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n° 81: "Testo unico sulla sicurezza sul lavoro".
- Norma CEI 0-2 "Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici".
- Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche".
- Norma CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo."
- Decreto Ministeriale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (M.A.T.T.M.) del 29 Maggio 2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti".

3. GRANDEZZE FISICHE CARATTERIZZANTI IL FENOMENO

3.1 IL CAMPO ELETTROMAGNETICO

I campi elettromagnetici sono un insieme di grandezze fisiche misurabili, introdotte per caratterizzare un insieme di fenomeni osservabili indotti, senza contatto diretto, tra sorgente ed oggetto del fenomeno, vale a dire fenomeni in cui è presente un'azione a distanza attraverso lo spazio.

Esso è composto in generale da tre campi vettoriali, il campo elettrico, il campo magnetico e un terzo campo che spesso per semplicità viene escluso che è il "termine di sorgente". Questo significa che i vettori che caratterizzano il campo elettromagnetico hanno ciascuno un valore definito in ciascun punto del tempo e dello spazio.

I vettori che modellizzano le grandezze introdotte nella definizione del modello fisico dei campi elettromagnetici sono quindi:

- E: Campo elettrico
- B: Campo di induzione magnetica e, parallelamente:
- D: Spostamento elettrico o induzione dielettrica
- H: Campo magnetico

L'esposizione umana ai campi elettromagnetici è una problematica relativamente recente che assume notevole interesse con l'introduzione massiccia dei sistemi di telecomunicazione e dei sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. In realtà anche in assenza di tali sistemi siamo costantemente immersi nei campi elettromagnetici per tutti quei fenomeni naturali riconducibili alla natura elettromagnetica, primo su tutti l'irraggiamento solare.

Per quanto concerne i fenomeni elettrici si fa riferimento al campo elettrico, il quale può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica.

Per i fenomeni di natura magnetica si fa riferimento ad una caratterizzazione dell'esposizione ai campi magnetici, non in termini del vettore campo magnetico, ma in termini di induzione magnetica, che tiene conto dell'interazione con ambiente ed i mezzi materiali in cui il campo si propaga. Dal punto di vista macroscopico ogni fenomeno elettromagnetismo è descritto da un gruppo di equazioni note come equazioni di Maxwell.

La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico in funzione della loro frequenza, distinguendo così i "campi elettromagnetici quasi

stazionari” ed i “campi elettromagnetici a radio frequenza”.

Il modello quasi stazionario è applicato per il caso concreto della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia della rete che è pari a 50Hz. In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici che li vedono come sorgenti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici. Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo delle bassissime frequenze 30-300 Hz.

Nell'ambito dei campi quasi stazionari, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi anche senso imporre separatamente dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica.

3.2 CAMPO ELETTRICO

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano; l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante. La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

L'elettrodotto (sia aereo che in cavo) durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico ed un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale alla corrente. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza dalla sorgente (conduttore).

3.3 CAMPO MAGNETICO

L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende invece dall'intensità della corrente circolante nel conduttore; tale flusso risulta estremamente variabile sia nell'arco di una giornata sia su scala temporale maggiore quale quella stagionale o annuale. Per le linee elettriche aeree, il campo magnetico assume il valore massimo in corrispondenza della minima

distanza dei conduttori dal suolo, ossia al centro della campata, e decade molto rapidamente allontanandosi dalle linee.

Non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea: quindi all'interno di eventuali edifici circostanti si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno.

Quindi, sia campo elettrico che campo magnetico decadono all'aumentare della distanza dalla linea elettrica, ma mentre il campo elettrico, è facilmente schermabile da oggetti quali legno, metallo, ma anche alberi e edifici, il campo magnetico non è schermabile dalla maggior parte dei materiali di uso comune.

4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel panorama normativo Nazionale, i capisaldi in termini di protezione contro l'esposizione ai campi elettromagnetici sono rappresentati dalla legge 36/01 e dal D.P.C.M. dell'8.7.2003.

La legge 36/01 "Legge quadro sulla protezione dai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" ha previsto tre grandezze per limitare l'esposizione ai campi elettromagnetici:

- Limiti di esposizione: valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori;
- Valori di attenzione: valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate;
- Obbiettivi di qualità: valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico ai fini della progressiva riduzione dell'esposizione ai campi medesimi, che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate.

Il successivo Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 8.7.2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti", ha stabilito i valori numerici dei tre limiti suindicati relativi al campo elettrico e magnetico prodotti dagli elettrodotti, tabella seguente:

| LIMITI DI ESPOSIZIONE | | VALORI DI ATTENZIONE | | OBBIETTIVI DI QUALITA' | |
|-----------------------|-------------|----------------------|------------|------------------------|-----------|
| E | B | E | B | E | B |
| 5 kV/m | 100 μ T | - | 10 μ T | - | 3 μ T |

5. COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA

Come specificato nel precedente paragrafo il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e valori di attenzione, per la 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:

- 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.

- 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 Decreto, all'art. 6, introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto dagli elettrodotti, detta fascia, definita nell'allegato al Decreto 29 Maggio 2008 "Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti", comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale al valore indicato dall'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.

Pertanto, obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento al limite di qualità di 3 μ T.

6. DESCRIZIONE SOMMARIA DELL'IMPIANTO

L'impianto fotovoltaico sorgerà sul territorio del comune di Siliqua (SU) occupando un'area (recintata) complessiva di circa 10 ha 08 are, sarà impiegato per la produzione di energia da fonte rinnovabile (solare) e verrà allacciato alla Rete di Distribuzione tramite apposito collegamento dedicato.

Si tratta di un impianto agrofotovoltaico che sarà realizzato con pannelli fotovoltaici installati su tracker nell'agro in località Marzalloi nel Comune di Uta (CA) in Sardegna. impianti saranno connessi alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) mediante una stazione di smistamento a 150 kV, da realizzarsi nel comune di Viterbo (località Piscinale), connessa tramite un cavidotto interrato ad alta tensione in doppia terna ad una stazione RTN 380/150 kV, da realizzarsi nel comune di Vitorchiano ed inserita in entra-esce sull'esistente elettrodotto aereo a 380 kV "Roma Nord - Pian della Speranza". Il progetto, a con lettera protocollo ED-13-04-2023 livello di progettazione definitiva, è stato autorizzato con procedimento di PAUR dalla Regione Lazio (determina n. G13900 del 12/11/2021); all'interno del citato procedimento il progetto è stato sottoposto a Valutazione di Impatto Ambientale (determina n. G13097 del 27/10/2021) e ad Autorizzazione Unica ai sensi del comma 3 articolo 12 del Decreto Legislativo n.387 del 29/12/2003

L'impianto avrà una potenza complessiva di 7676,0 kW ottenuta dall'installazione di 10.084 moduli fotovoltaici del tipo bifacciale in silicio mono-cristallino di tipo "Longi Solar LR5-72HBD 535-555M" potenza nominale (@STC) 545 wp.

I moduli saranno composti da 110 celle (2x55), avranno dimensioni 2384x1096 mm e saranno installati "a terra" su strutture tipo tracker (inseguitore solare) mono-assiale Nord/Sud. I moduli saranno collegati tra di loro in serie a formare stringhe ciascuna delle quali composta da 28 moduli, la lunghezza di stringa è stabilita in funzione delle caratteristiche del sistema fotovoltaico in termini di tensione massima ammissibile e della potenza complessiva.

La conversione della corrente continua prodotta dai moduli fotovoltaici in corrente alternata fruibile dal sistema di distribuzione e trasmissione nazionale sarà demandata a inverter di stringa ciascuno dei quali è caratterizzato da una potenza limitata (rispetto alla versione centralizzata degli inverter) e in grado di gestire, in modo indipendente, un numero ridotto di stringhe. Queste, saranno collegate direttamente agli ingressi dell'inverter di pertinenza senza l'installazione di ulteriori organi di protezione e/o manovra, tale circostanza è resa possibile dalla presenza di più MPPT, nella fattispecie 3, e da ingressi inverter di tipo indipendente. Tutte le stringhe afferenti al medesimo inverter costituiranno un blocco operativo (denominato blocco inverter), ogni blocco operativo rappresenta un ingresso lato bassa tensione della cabina di trasformazione MT/BT di sottocampo (denominata

transformation cabin). Complessivamente sono previsti 721 inverter installati direttamente in campo

Un insieme di blocchi operativi collegati alla medesima transformation cabin rappresenta un sottocampo, ogni sottocampo sarà a sua volta collegato alla cabina di utente ubicata in prossimità del campo. A ciascuno step successivo, blocco inverter, transformation cabin, sottostazione utente, corrisponde un livello di tensione di esercizio in corrente alternata via via più elevata: 0,8 kV, 15 kV.

Il numero complessivo di transformation cabin previsto è di 6 unità ciascuna di dimensioni pari a 9.050 x 2.050 mm, ogni cabina prevede al suo interno tutta la quadristica, sia BT che MT, che il trasformatore MT/BT (0,8/15 kV) e la parte ausiliaria necessaria al corretto funzionamento dell'impianto.

L'impianto fotovoltaico sarà completato dall'installazione di una cabina di interfaccia ubicata direttamente all'interno del perimetro di impianto. Ad essa saranno collegate tutti i circuiti a 15 kV provenienti dal campo fotovoltaico e nel quadro di media tensione previsto saranno alloggiati anche la protezione di interfaccia previste dalla norma tecnica applicabile CEI 0-16.

7. CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Al fine di individuare i punti al suolo che garantiscano il rispetto degli obbiettivi di qualità in termini di esposizione alle radiazioni di campi elettromagnetici per l'impianto fotovoltaico in oggetto, si procederà alla valutazione degli effetti prodotti da tutte le sezioni che lo compongono.

Saranno, pertanto, di seguito esaminati gli effetti dovuti all'azione di:

- Moduli fotovoltaici;
- Inverter di stringa dislocati in campo;
- Transformation cabin MT/BT dislocate in campo;
- Linee elettriche in cavo interne al campo fotovoltaico in media tensione;
- Linee elettriche in cavo interne al campo fotovoltaico in bassa tensione;

7.1 CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

7.1.1 I MODULI FOTOVOLTAICI

Come noto, dal punto di vista elettrico un modulo fotovoltaico si comporta (e di fatto può essere anche rappresentato e modellato) come un generatore di corrente continua a tensione costante, questo significa che durante il funzionamento a regime non possono svilupparsi campi elettromagnetici legati alla variazione di una grandezza elettrica (nella fattispecie la corrente). L'eventuale generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori dovuti all'accensione/spegnimento dell'impianto o durante la ricerca del punto di massima potenza da parte dell'inverter a cui i moduli sono collegati in stringhe, in ogni caso tali fenomeni risultano del tutto irrilevanti in quanto di brevissima durata.

Inoltre, la norma CEI 82-8, recepimento nazionale della Norma Europea del Cenelec 61215, la quale fornisce i requisiti per la qualifica del progetto e l'omologazione dei moduli fotovoltaici per applicazioni terrestri, non menziona prove di compatibilità elettromagnetica dei prodotti in quanto assolutamente irrilevanti.

7.1.2 INVERTER

L'inverter rappresenta il cuore dell'impianto in quanto, tra le innumerevoli funzioni, ha lo scopo di convertire la corrente continua prodotta dal generatore fotovoltaico in corrente alternata fruibile

dalla rete pubblica di distribuzione e quindi dagli utenti finali. Nella configurazione di impianto prevista ad inverter di stringa, ogni unità sarà installata all'interno del campo occupandone la superficie in modo quasi omogeneo. La distanza minima riscontrabile in campo di ciascun convertitore da quello più vicino è di circa 25 m.

L'inverter rappresenta l'elemento che più di ogni altro apparato più di ogni altro contribuisce alla generazione di radiazioni elettromagnetiche.

Tale circostanza è l'effetto del funzionamento dei ponti di conversione della corrente il cui switching è in grado di generare un campo elettromagnetico a frequenza molto più elevata di quella di rete (alcune decine di kHz).

Al fine di limitare le emissioni elettromagnetiche delle apparecchiature elettroniche il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, acquisiscano tutte le certificazioni atte a garantire sia l'immunità da disturbi elettromagnetici esterni che le ridotte emissioni per contenere al minimo le interferenze con altre apparecchiature poste nelle immediate vicinanze o con la rete stessa. A tale scopo gli inverter utilizzati nella presente installazione saranno dotati di apposita rispondenza alla normativa di compatibilità elettromagnetica (EMC) certificata da ente terzo, le normative di rispondenza sono le IEC 61000.

Tra i vari aspetti queste norme trattano:

- I livelli armonici: le direttive del gestore di rete prevedono un THD globale (non riferito al massimo della singola armonica) inferiore al 5% (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10). Gli inverter selezionati per l'installazione presentano un THD globale contenuto entro il 1%;
- Disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in imposizione alla trasmissione di energia sulle sue linee;
- Variazioni di tensione e frequenza. La propagazione in rete di queste ultime è limitata dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia. Le fluttuazioni di tensione e frequenze sono però causate per lo più dalla rete stessa. Si rendono quindi necessarie finestre abbastanza ampie, per evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto fotovoltaico.

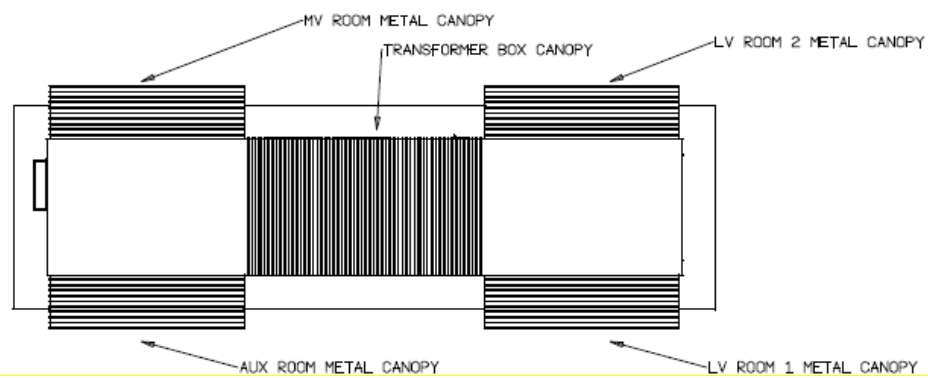
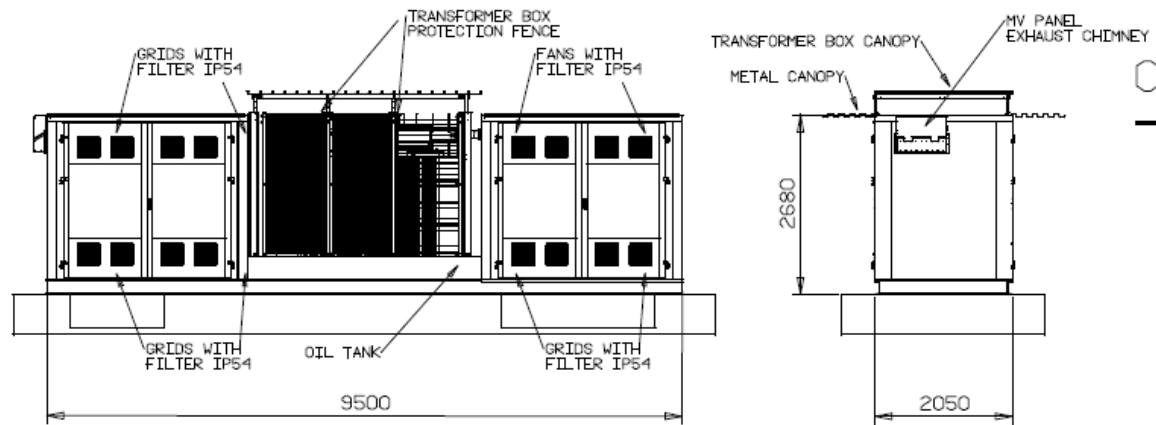
7.1.3 TRANSFORMATION CABIN

Le stazioni elettriche di trasformazione (transformation cabin) rappresentano uno dei componenti principali dell'impianto fotovoltaico, ciascuna stazione definisce e individua un sottocampo come l'insieme delle stringhe ad essa collegate. Ciascuna stazione di trasformazione si compone di tre sezioni distinte: una sezione di bassa tensione (0,8 kV), una sezione di trasformazione e infine una sezione di media tensione (15 kV). Nella prima sezione sarà posizionato il quadro di parallelo che raccoglie tutti i circuiti provenienti dagli inverter del sottocampo di riferimento facendone, per l'appunto, il parallelo. Nella seconda sezione sarà installato il trasformatore MT/BT mentre nella terza sarà presente il quadro di protezione e sezionamento in media tensione, quest'ultimo è l'apparato in collegamento con gli altri apparati esterni alla stazione di trasformazione.

Per il progetto in esame le stazioni di trasformazione saranno realizzate in strutture prefabbricate, dimensioni 9.500 L x 2.680 H x 2.050 P mm, il design di progetto prevede l'utilizzo di 6 unità di trasformazione di cui 4 equipaggiate con unità di trasformazione da 1600 kVA e 2 con unità di trasformazione da 1000 kVA.

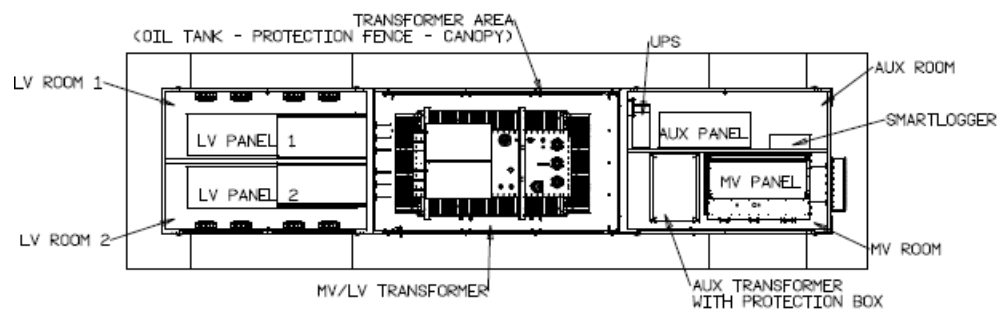
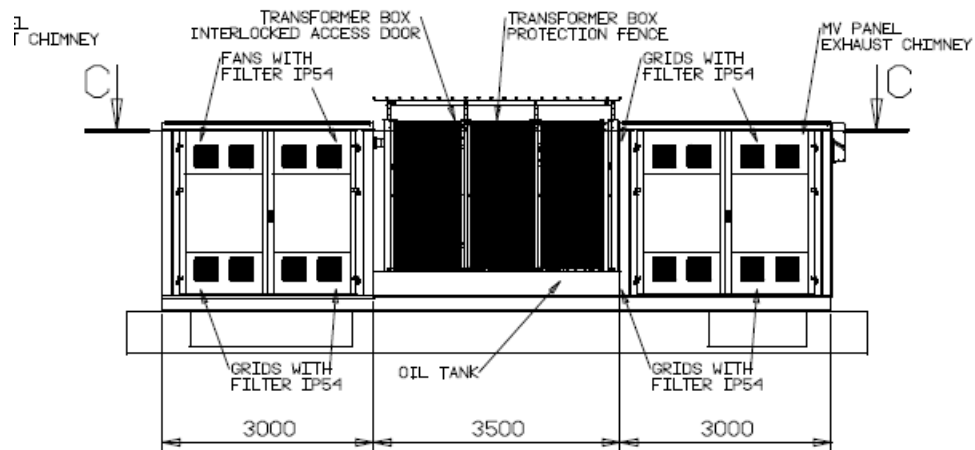
Di seguito si riporta un elaborato esplicativo della composizione e delle caratteristiche geometriche delle stazioni di trasformazione.

STAZIONE DI TRASFORMAZIONE INTERNA AL CAMPO



LV ROOM 1

LV ROOM 2



In termini di emissioni elettromagnetiche l'unica sorgente presente all'interno della stazione trasformazione è il trasformatore MT/BT. Per quanto attiene le cabine secondarie in box, ai sensi dell'art.5.2 dell'allegato al Decreto 29 Maggio 2008, la Distanza di Prima Approssimazione (DPA), intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti) del box cabina, 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) applicando la seguente relazione:

$$Dpa = 0,40942 \cdot x^{0,5241} \cdot \sqrt{I}$$

dove:

DPA= distanza di prima approssimazione (m)

I= corrente nominale secondaria (A), BT

x= diametro dei cavi (m)

Nel caso peggiore il numero di circuiti BT in ingresso ad una transformation cabin è di 7 unità, corrispondente ai sottocampi 1-2-3-4, considerando una corrente massima in uscita a ciascun inverter pari a 155 A la massima corrente in ingresso al trasformatore avrà un valore di 1.085 A.

Ipotizzando una linea BT connessa agli avvolgimenti del trafo da 800V composta da 7 cavi per fase di sezione 240mm² (diametro costruttivo tipico pari a 30,4mm per cavo):

| Formazione | Ø indicativo conduttore | Spessore medio isolante | Spessore medio guaina | Ø esterno max | Resistenza elettrica max a 20°C | Peso indicativo cavo | Portata di corrente A | | | | | |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|--|----------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------|---------|--------------------------|---------|
| n° x mm² | mm | mm | mm | mm | Ω/km | kg/km | in aria a 30°C | in tubo in aria a 30°C | interrato a 20°C | | tubo interrato a 20°C | |
| | | | | | | | | | K = 1 | K = 1,5 | K = 1 | K = 1,5 |
| 1 x 1,5 | 1,5 | 0,7 | 1,4 | 8,2 | 13,3 | 55 | 24 | 20 | 26 | 24 | 23 | 21 |
| 1 x 2,5 | 2,0 | 0,7 | 1,4 | 8,7 | 7,98 | 66 | 33 | 28 | 34 | 31 | 29 | 27 |
| 1 x 4 | 2,5 | 0,7 | 1,4 | 9,3 | 4,95 | 84 | 45 | 37 | 43 | 40 | 38 | 35 |
| 1 x 6 | 3,0 | 0,7 | 1,4 | 9,9 | 3,30 | 110 | 58 | 48 | 55 | 51 | 48 | 44 |
| 1 x 10 | 4,0 | 0,7 | 1,4 | 10,9 | 1,91 | 150 | 80 | 66 | 73 | 68 | 64 | 59 |
| 1 x 16 | 5,0 | 0,7 | 1,4 | 11,4 | 1,21 | 220 | 107 | 88 | 96 | 89 | 83 | 77 |
| 1 x 25 | 6,2 | 0,9 | 1,4 | 13,2 | 0,780 | 310 | 141 | 117 | 124 | 115 | 108 | 100 |
| 1 x 35 | 7,4 | 0,9 | 1,4 | 14,6 | 0,554 | 410 | 176 | 144 | 150 | 139 | 131 | 121 |
| 1 x 50 | 8,9 | 1,0 | 1,4 | 16,4 | 0,386 | 560 | 216 | 175 | 186 | 173 | 162 | 150 |
| 1 x 70 | 10,5 | 1,1 | 1,4 | 18,3 | 0,272 | 760 | 279 | 222 | 229 | 212 | 199 | 184 |
| 1 x 95 | 12,2 | 1,1 | 1,5 | 20,4 | 0,206 | 960 | 342 | 269 | 270 | 250 | 234 | 217 |
| 1 x 120 | 13,8 | 1,2 | 1,5 | 22,4 | 0,161 | 1210 | 400 | 312 | 312 | 289 | 271 | 251 |
| 1 x 150 | 15,4 | 1,4 | 1,6 | 24,8 | 0,129 | 1480 | 464 | 355 | 356 | 330 | 310 | 287 |
| 1 x 185 | 16,9 | 1,6 | 1,6 | 27,2 | 0,106 | 1790 | 533 | 417 | 401 | 371 | 349 | 323 |
| 1 x 240 | 19,5 | 1,7 | 1,7 | 30,4 | 0,0801 | 2320 | 634 | 490 | 471 | 436 | 409 | 379 |
| 1 x 300 | 23,0 | 1,8 | 1,8 | 33,0 | 0,0641 | 2840 | 736 | - | 533 | 493 | 463 | 429 |
| 1 x 400 | 26,5 | 2,0 | 1,9 | 37,7 | 0,0486 | 3735 | 868 | - | 621 | 575 | 540 | 500 |
| 1 x 500 (*) | 28,5 | 2,2 | 2,1 | 43,6 | 0,0384 | 4660 | 998 | - | 705 | 650 | 610 | 560 |

Figura 1 – Scheda tecnica del cavo in rame di BT per collegamento secondario trafo

La distanza di prima approssimazione è calcolata come segue:

$$R = D_{pa} = 0,40942 \cdot (30,4 \times 7 \cdot 10^{-3})^{0,5241} \cdot \sqrt{909,33} = 1,98[\text{m}]$$

Con riferimento alla cabina di ricevimento, è prevista l'installazione di N.1 trasformatore per servizi ausiliari di potenza da 50kVA, 20/0,4kV, con corrente nominale pari a:

$$I = \frac{50\text{kVA}}{0,4\text{kV} \cdot \sqrt{3}} = 72,17[\text{A}]$$

Avendo calcolato una linea BT connessa agli avvolgimenti del trafo costituita da cavo multipolare FG16OR16 in formazione 5G6mm² (diametro costruttivo tipico pari a 9,9mm considerato conservativamente nel caso di cavo unipolare della stessa tipologia e di sezione 6mm²), la distanza di prima approssimazione è calcolata come segue:

$$R = D_{pa} = 0,40942 \cdot (9,9 \cdot 10^{-3})^{0,5241} \cdot \sqrt{72,17} = 0,31[\text{m}]$$

Con riferimento alle cabine di conversione e di trasformazione, il caso peggiore si ha con la conversion unit SANTERNO modello SUNWAY 1500, in quanto è prevista l'installazione di N.1 trasformatore di potenza a doppio secondario da 1500kVA, 20/0,64kV, con corrente nominale complessiva lato BT pari a:

$$I = \frac{1500\text{kVA}}{0,64\text{kV} \cdot \sqrt{3}} = 1353,17[\text{A}]$$

Considerando una linea BT connessa agli avvolgimenti del trafo composta complessivamente da 4 cavi per fase di sezione 300mm² (diametro costruttivo tipico pari a 33,0mm per cavo – vedi Fig. 3.2.1, la distanza di prima approssimazione è calcolata come segue:

$$R = Dpa = 0,40942 \cdot (30,4 \times 7 \cdot 10^{-3})^{0,5241} \cdot \sqrt{1085,00} = 6,002[m]$$

Non è necessario calcolare la DpA relativa al trasformatore dei servizi ausiliari in quanto sarà comunque inferiore a quella precedentemente calcolata.

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

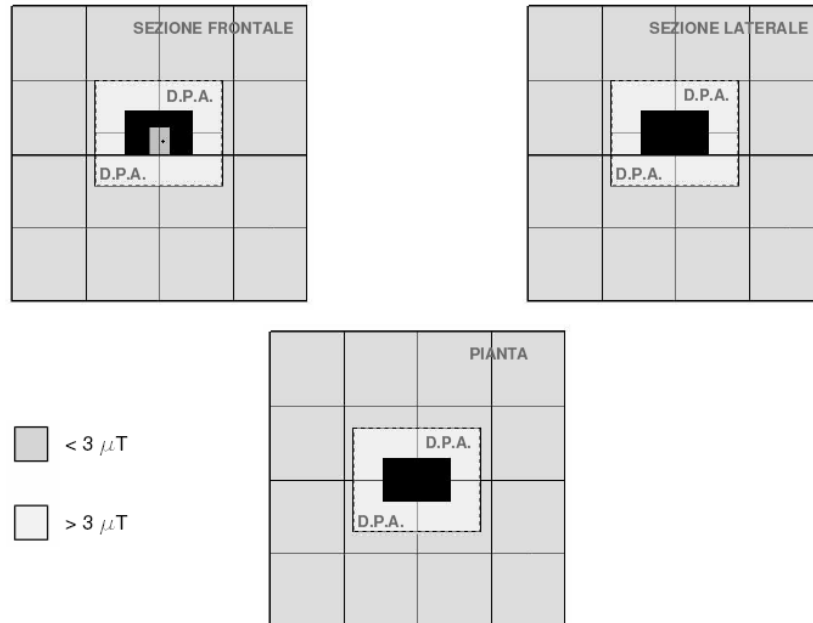


Figura 2 – Distanza di prima approssimazione calcolata per le cabine di impianto

In considerazione del fatto che il collegamento al secondario del trasformatore avverrà mediante condotti sbarre di dimensioni (e quindi di sezione) non note, si è optato di condurre la presente analisi considerando il diametro equivalente come se il suddetto collegamento fosse realizzato in cavo anziché in sbarre. In particolare, prendendo in considerazione cavi FG16R16 di diametro pari a 95 mm² avente diametro esterno pari a 35,0 mm per garantire una portata sufficiente a supportare la massima corrente prevista, il cavo utilizzato ha una portata di circa 255 A..

Sostituendo i valori nella formula di calcolo, avremmo una distanza di prima approssimazione di circa 1,13 m.

7.1.4 LINEE ELETTRICHE IN CAVO INTERNE AL CAMPO IN MEDIA TENSIONE

Per quanto riguarda la sezione relativa alle linee elettriche, la metodologia utilizzata per la valutazione delle emissioni elettromagnetiche è quella indicata dal D.M. 29.05.2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti"

Sono escluse dall'applicazione della metodologia:

- le linee esercite a frequenze diverse da quella di rete (50 Hz);
- le linee definite di classe zero secondo il decreto interministeriale 21.03.88 n. 449;
- le linee definite di prima classe secondo il decreto interministeriale 21.03.88 n. 449;
- le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

Per gli elettrodotti in media tensione in cavo cordato, siano essi interrati che aerei, anche nelle condizioni peggiori (sezione e corrente massima), il valore dell'induzione magnetica scende sotto al di sotto dei 3 μ T alla distanza di 50-60 cm, la fascia di rispetto perde pertanto di significato.

Le linee elettriche oggetto di analisi sono i tratti che collegano le transformation cabin in campo alla cabina di utenzaposta all'interno dell'area di impianto. Complessivamente saranno presenti in campo 8 linee dorsali a tensione nominale di 15 kV che collegheranno in serie (entra/esci) 3 transformation cabin ciascuna secondo la tabella di seguito riportata:

| CIRCUITO | Tratta |
|-----------------|------------------------|
| LINEA DORSALE 1 | C. UTENTE- CU1 |
| LINEA DORSALE 2 | C. UTENTE- CU2 |
| LINEA DORSALE 3 | C. UTENTE- CU3 |
| LINEA DORSALE 4 | CU2- CU3 |
| LINEA DORSALE 5 | C. UTENTE- CU4 |
| LINEA DORSALE 6 | CU4- CU5 |
| LINEA DORSALE 7 | CU5- CU6 |
| LINEA DORSALE 8 | C. CONSEGNA- C. UTENTE |

Tutti i circuiti saranno realizzati mediante linea in cavo interrato (posa diretta in trincea senza l'ausilio di cavidotti o altra protezione meccanica) di tipo cordato avente sigla di designazione ARE4H5EX, le sezioni dei cavi saranno valutate in funzione delle portate di corrente e delle cadute di tensioni non risultano comunque vincolanti ai fini della presente analisi in quanto "superate" dall'utilizzo di tipo di cavo cordato. L'impiego di questa tipologia di cavo "risolve" tutte le implicazioni elettromagnetiche delle linee elettriche di media tensione interne al campo fotovoltaico, proprio come indicato dal D.M. di riferimento.

7.1.5 LINEE ELETTRICHE IN CAVO INTERNE AL CAMPO IN BASSA TENSIONE

In questo caso si fa riferimento alle linee elettriche interrate che collegano gli inverter di stringa alla transformation cabin di riferimento, per tali linee la tensione nominale di riferimento è di 800 V in corrente alternata con valori massimi di circa 155 A. Come per i collegamenti di media tensione all'interno del campo, anche per quelli di bassa tensione saranno utilizzati cavi ad elica, nel senso che ciascuna linea non presenta i conduttori di fase tra loro paralleli. Questo ci consente di asserire che anche per questo tipo di collegamento le implicazioni elettromagnetiche dovute alle correnti in gioco siano del tutto trascurabili.

8. CONCLUSIONI

Le uniche radiazioni associabili a questo tipo di impianti sono le radiazioni non ionizzanti costituite dai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (50 Hz), prodotti rispettivamente dalla tensione di esercizio degli elettrodotti e dalla corrente che li percorre. I valori di riferimento, per l'esposizione ai campi elettrici e magnetici, sono stabiliti dalla Legge n. 36 del 22/02/2001 e dal successivo DPCM 8 Luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete di 50 Hz degli elettrodotti".

In generale, per quanto riguarda il campo elettrico in media tensione esso è notevolmente inferiore a 5kV/m (valore imposto dalla normativa) e per il livello 15 kV esso diventa inferiore a 5kV/m già a pochi metri dalle parti in tensione.

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

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

Per ciò che riguarda le transformation cabin l'unica sorgente di emissione è rappresentata dal trasformatore MT/BT, quindi in riferimento al DPCM 8 luglio 2003 e al DM del MATTM del 29.05.2008, l'obiettivo di qualità si raggiunge, nel caso peggiore (trasformatore da 1.600 kVA con 7 inverter ad esso collegati), a circa 6 metri (DPA) dalla cabina stessa. In questo caso occorre sottolineare che le transformation cabin non sono presidiate, non rappresentano cioè luogo di lavoro, e pertanto è esclusa la presenza di personale operativo per un tempo superiore a 4 ore consecutive.

La presenza di una recinzione metallica impedisce inoltre l'ingresso di personale non autorizzato, si può escludere, pertanto, pericolo per la salute umana.

L'impatto elettromagnetico può essere di fatto considerato non significativo.