

**IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA
FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA CON ACCUMULO
DENOMINATO "SASSARI 01"**

REGIONE SARDEGNA
PROVINCIA di SASSARI
COMUNI di SASSARI e PORTO TORRES

PROGETTO DEFINITIVO

Tav.:

Titolo:

R05
agg1

**Relazione di verifica esposizione ai
campi elettromagnetici**

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

n.a.

A4

R05_RelazioneCampiElettromagnetici_05-agg1

Progettazione:

Committente:

DOTT. ING. FABIO CALCARELLA

Via Bartolomeo Ravenna, 14 - 73100 Lecce
Mob. +39 340 9243575
fabio.calcarella@gmail.com - fabio.calcarella@ingpec.eu
P. IVA 04433020759

Whysol-E Sviluppo S.r.l.

Via Meravigli, 3 - 20123 - MILANO
Tel: +39 02 359605
info@whysol.it - whysol-e.sviluppo@legalmail.it
P. IVA 10692360968



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Fabio Calcarella".

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Marzo 2021	Prima emissione	STC	FC	WHYSOL-E Sviluppo s.r.l.
Giugno 2022	Integrazioni MiTE - MIC - Regione Sardegna	STC	FC	WHYSOL-E Sviluppo s.r.l.

Sommario

1	Oggetto.....	2
2	Compatibilità Elettromagnetica	4
2.1	Riferimenti normativi	4
2.2	Valutazione dell'esposizione umana. Valori limite	4
2.3	Campo magnetico.....	5
2.4	Campo elettrico	7
3	Fonti di emissione.....	7
3.1	Campo elettromagnetico generato dagli elettrodotti	8
3.1.1	Calcolo del campo di induzione elettromagnetica generato dagli elettrodotti	9
3.2	Gruppo di trasformazione	13
3.3	Sottostazione Elettrica Utente 30/150 kV e cavo AT	14
3.3.1	Determinazione della fascia di rispetto.....	16
3.4	Conclusioni e Distanze di prima approssimazione (DPA).....	19
3.4.1	Cabina di Raccolta FV	20
3.4.2	Cavidotti MT interni ed esterni	20
3.4.3	Sottostazione Utente (SSE)	20
3.4.4	Cavidotto AT.....	20
3.4.5	DpA assunte in progetto	20

1 Oggetto

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico (impianto **FV**) di potenza nominale **73 MW** con annesso Sistema di Accumulo dell'energia prodotta (**SdA**), avente potenza nominale pari a **120 MW**. L'impianto si svilupperà su una superficie pari a circa 115 ha.

L'impianto sarà costituito dall'area di installazione dei moduli fotovoltaici, dei gruppi di conversione / trasformazione e dei moduli prefabbricati (container) contenenti le batterie al litio per l'accumulo dell'energia prodotta, nonché da tutte le opere annesse (cavidotti MT), sarà ubicato nel Comune di Sassari (SS). L'energia elettrica prodotta a 550 V in c.c. dai generatori fotovoltaici (moduli) viene prima raccolta in dei Quadri di Parallelo Stringhe posizionati in campo in prossimità delle strutture di sostegno dei moduli e quindi convogliata presso i gruppi di conversione/trasformazione (Shelter), all'interno dei quali avviene la conversione della corrente da c.c. a c.a. (per mezzo di un inverter centralizzato da 2.500, o 3.000 kVA) e l'innalzamento di tensione da 0,55 kV a 30 kV (per mezzo di un trasformatore MT/BT). Da qui, l'energia sarà trasportata verso la più vicina Cabina di Campo.

Le caratteristiche dell'area d'impianto sono riassunte nelle seguenti tabelle:

Lotto	Latitudine	Longitudine	Comune
1	40°47'46.83"N	8°20'39.58"E	Porto Torres (SS)
2	40°47'57.02"N	8°21'45.40"E	Porto Torres (SS)
3	40°47'55.20"N	8°24'0.49"E	Porto Torres (SS)

Tabella A – Ubicazione geografica delle opere

Estensione (ha)	Potenza (MW)	Rapporto ha / MW
115,32 ha	73	1,57

Tabella B – Estensione e Potenza installata

In estrema sintesi l'impianto di generazione è costituito da:

➤ **Per l'Impianto Fotovoltaico:**

- **130.488** moduli fotovoltaici di potenza unitaria paria a 575 Wp, installati su strutture di sostegno in acciaio di tipo mobile (inseguitori), con relativi motori elettrici per la movimentazione. Le strutture saranno ancorate al suolo tramite paletti in acciaio direttamente infissi nel terreno; **evitando qualsiasi struttura in calcestruzzo, riducendo sia i movimenti si terra (scavi e rinterrì) che le opere di ripristino conseguenti.** È previsto in particolare che siano installati inseguitori 807 inseguitori che sostengono 24 moduli e 2.897 inseguitori che sostengono 48 moduli.
- **25** cabinati (*Shelter*) preassemblati in stabilimento dal fornitore e contenenti il gruppo conversione / trasformazione, di dimensioni (**L x H x p**) **6,10 x 3,10 x 2,50 m**, cioè le dimensioni standard di un container metallico da 20' (piedi);
- **14** Cabine di Campo (**CdC**) contenenti i Quadri BT e MT dell'impianto fotovoltaico di dimensioni pari a (**L, H, p**) **10,00 x 3,10 x 2,50 m**;
- **2** Cabine di Raccolta (**CdR FV**) per la raccolta dell'energia prodotta dall'impianto avente dimensioni pari a (**L, H, p**) **20,00 x 3,10 x 2,50 m**;
- Tutta la rete BT, ovvero dei cavi BT in c.c. (cavi solari) e relativa quadristica elettrica (quadri di parallelo stringhe), dei cavi BT in c.a. e relativa quadristica elettrica di comando, protezione e controllo;

➤ **Per il Sistema di Accumulo (SdA):**

- **48** Cabinati prefabbricati (shalter/container) contenenti le batterie al litio ferro fosfato per l'accumulo dell'energia prodotta, dimensioni pari a (**L x h x p**) = **12,20 x 2,59 x 2,43 m**, cioè le dimensioni standard di un container metallico da 40' (piedi);
- **12** cabinati prefabbricati preassemblati in stabilimento dal fornitore e contenenti gli Inverter (PCS); i cabinati avranno dimensioni (**L x H x p**) **6,10 x 3,10 x 2,50 m**, cioè le dimensioni standard di un container metallico da 20' (piedi);
- **24** trasformatori BT/MT (2 per ogni per ogni PCS);
- **Una** Cabina di Raccolta (**CdR SdA**), in cui converge in media tensione tutta l'energia del Sistema di Accumulo avente dimensioni pari a (**L, H, p**) **20,00 x 3,10 x 2,50 m**.

2 Compatibilità Elettromagnetica

2.1 Riferimenti normativi

- D.M. del 29 maggio 2008;
- Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato A al DM 29.05.08;
- Norma CEI 106-11 (*Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del D.P.C.M. 8 luglio 2003 (art.6)*);
- D.P.C.M. del 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*";
- Legge n.36 del 22 febbraio 2001;
- Decreto Interministeriale del 21 marzo 1988 n.449.

2.2 Valutazione dell'esposizione umana. Valori limite

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:

- 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 μT** 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 μT** , 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, é 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

- 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 *fascia di rispetto* lo 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.
- ***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 μT .***

2.3 Campo magnetico

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

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 elettromagnetico è descritto dall'insieme di equazioni note come equazioni di Maxwell.

La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo così i "campi elettromagnetici quasi statici" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza".

Nel caso dei campi quasi statici, 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.

Il modello quasi statico 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 30-300 Hz.

DENOMINAZIONE		SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE		ELF	0 - 3kHz	> 100Km
FREQUENZE BASSISSIME		VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm
INFRAROSSO		IR	0,3 - 385THz	1000 - 0,78mm
LUCE VISIBILE			385 - 750THz	780 - 400nm
ULTRAVIOLETTO		UV	750 - 3000THz	400 - 100nm
RADIAZIONI IONIZZANTI		X	> 3000THz	< 100nm

Spettro elettromagnetico

2.4 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.

Per le linee elettriche aeree, l'intensità maggiore del campo elettrico si misura generalmente al centro della campata, ossia nel punto in cui i cavi si trovano alla minore distanza dal suolo. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderà anche dalla disposizione e dalle distanze tra i conduttori della linea.

3 Fonti di emissione

Le apparecchiature elettriche previste nella realizzazione dell'impiantofotovoltaico in oggettogenerano normalmente, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici con radiazioni non ionizzanti.

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

- Elettrodotti:

- linee elettriche MT di interconnessione fra le Cabine di Campo dei sottocampi e le **Cabine di Raccolta (CdR)** e tra le Cabine di Raccolta del Sistema di Accumulo (CdR SdA) e la CdR FV.

Di seguito verrà data una caratterizzazione delle sorgenti appena individuate.

3.1 Campo elettromagnetico generato dagli elettrodotti

Quella che viene presentata in questi paragrafi è una valutazione analitica del campo magnetico generato dagli elettrodotti, basata sulle metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, e specificate dalla norma CEI 106-11.

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

In linea generale l'utilizzo di cavi MT in configurazione ad "elica visibile" con sezione sino a 240 mm², fanno sì che il campo magnetico prodotto sia notevolmente inferiore a quello prodotto da cavi analoghi posati in piano o a trifoglio. Le particolarità costruttive di questi cavi, ossia la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione dovuta alla cordatura, fa sì che il campo elettromagnetico generato dai cavi di sezione 50 – 185 mm² risulta essere infatti di gran lunga inferiore ai valori limite richiesti e, pertanto, già dopo una prima analisi qualitativa, se ne può escludere la valutazione numerica, così come previsto dalla normativa e dalle leggi vigenti.

3.1.1 Calcolo del campo di induzione elettromagnetica generato dagli elettrodotti

Nello specifico del nostro caso, sono stati considerati cavi posati a trifoglio “worst-case”.

Nella tabella che segue si schematizza la configurazione dei cavidotti MT all’interno del campo, specificandone la tipologia, la lunghezza, la corrente in esso circolante, la sezione e la portata nominale del cavo stesso nonché il tratto di appartenenza.

Per la valutazione del campo magnetico generato da tali elettrodotti occorre innanzitutto individuare le possibili diverse configurazioni di progetto, e sulla base di queste individuare i diversi casi sui quali effettuare la valutazione del campo.

Consideriamo quindi i tratti di elettrodotta che accolgono le sezioni di cavo maggiore e in cui fluisce il valore di corrente maggiore.

Ciò avviene in corrispondenza della Celle Cabina di Raccolta (CdR FV 2) dove convergono le linee provenienti dalla Cabina di Raccolta del Sistema di Accumulo e quelle dei sottocampi del lotto Est dell’Impianto.

Consideriamo il “worst-case”, cioè la contemporanea presenza all’interno dello scavo delle 4, linee provenienti dalla CdR SdA.

Linea CdR SdA - CdR FV 2									
Tratti	Potenza (kWp)	Tensione (kV)	Corrente (A)	Sezione (mm ²)	Portata	Lunghezza CAD (m)	5%	Ingr. In Cabina (m)	Stima finale (m)
CdR SdA - CdR FV 2	30.000,00	30,00	589,13	630,00	725 A	4.175,00	4.383,75	10,00	4.393,75
CdR SdA - CdR FV 2	30.000,00	30,00	589,13	630,00	725 A	4.175,00	4.383,75	10,00	4.393,75
CdR SdA - CdR FV 2	30.000,00	30,00	589,13	630,00	725 A	4.175,00	4.383,75	10,00	4.393,75
CdR SdA - CdR FV 2	30.000,00	30,00	589,13	630,00	725 A	4.175,00	4.383,75	10,00	4.393,75

Di seguito verrà calcolato il campo di induzione magnetica generato nel caso detto.

In linea generale, nel caso di cavidotti in cui sono posate più terne di cavi, è possibile fare ricorso ad un modello matematico che tenga conto del campo magnetico generato da ogni singola terna.

Il modello costituito, secondo quanto previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap. 4.3, tiene conto delle componenti spaziali dell’induzione magnetica, calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori.

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right] \quad B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{x_i - x}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

È possibile a questo punto effettuare una semplificazione del modello, che consideri il contributo non del singolo conduttore ma dell’intera terna, della quale sono note le

caratteristiche geometriche. Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati: in questo modo viene introdotto un grado di protezione maggiore nel sistema, essendo il campo magnetico generato dal un cavo elicordato meno intenso di quello di una terna posata a trifoglio.

Per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

$$B = 0,1 * \sqrt{6} \frac{S * I}{R^2}$$

dove:

B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante;

R [m] dal conduttore centrale;

S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A].

Si precisa che R è la distanza dal conduttore misurata in piano, cioè al livello del suolo, quindi a quota 0.

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

Possiamo quindi riscrivere la formula nella maniera seguente:

$$Bi = 0,1 * \sqrt{6} \frac{Si * Ii}{(x - xi)^2 + (y - d)^2}$$

Per cui applicando la formula di cui sopra si ottengono i risultati riportati nella tabella seguente. Il calcolo è stato effettuato per diverse altezze dal livello del suolo e con intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m. Inoltre, si è tenuto conto della profondità di posa dei cavi all'arrivo in cabina prima dell'attestazione nei quadri MT. Si è considerata quindi una profondità pari a 0,90 m.

Distanza dall'asse centrale (m)	B _{tot} a 0 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 1 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 1,5 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 2 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 2,5 m dal suolo (μT)	B _{tot} a 3 m dal suolo (μT)
-10,00	0,32	0,31	0,31	0,30	0,29	0,28
-9,50	0,35	0,34	0,34	0,33	0,32	0,31
-9,00	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34
-8,50	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37
-8,00	0,50	0,48	0,46	0,45	0,43	0,41
-7,50	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,45
-7,00	0,65	0,61	0,59	0,56	0,53	0,50
-6,50	0,75	0,70	0,67	0,64	0,60	0,56
-6,00	0,88	0,82	0,77	0,73	0,68	0,63
-5,50	1,04	0,95	0,90	0,84	0,77	0,71
-5,00	1,25	1,13	1,05	0,97	0,88	0,80
-4,50	1,53	1,35	1,24	1,13	1,02	0,91
-4,00	1,92	1,65	1,49	1,32	1,17	1,04
-3,50	2,48	2,04	1,79	1,56	1,36	1,18
-3,00	3,30	2,56	2,19	1,86	1,57	1,34
-2,50	4,58	3,28	2,69	2,20	1,81	1,51
-2,00	6,72	4,25	3,31	2,60	2,08	1,68
-1,50	10,56	5,52	4,04	3,03	2,34	1,85
-1,00	17,86	7,01	4,78	3,44	2,57	1,99
-0,50	30,50	8,37	5,38	3,73	2,74	2,09
0,00	39,91	8,95	5,61	3,84	2,80	2,13
0,50	30,50	8,37	5,38	3,73	2,74	2,09
1,00	17,86	7,01	4,78	3,44	2,57	1,99
1,50	10,56	5,52	4,04	3,03	2,34	1,85
2,00	6,72	4,25	3,31	2,60	2,08	1,68
2,50	4,58	3,28	2,69	2,20	1,81	1,51
3,00	3,30	2,56	2,19	1,86	1,57	1,34
3,50	2,48	2,04	1,79	1,56	1,36	1,18
4,00	1,92	1,65	1,49	1,32	1,17	1,04
4,50	1,53	1,35	1,24	1,13	1,02	0,91
5,00	1,25	1,13	1,05	0,97	0,88	0,80
5,50	1,04	0,95	0,90	0,84	0,77	0,71
6,00	0,88	0,82	0,77	0,73	0,68	0,63
6,50	0,75	0,70	0,67	0,64	0,60	0,56
7,00	0,65	0,61	0,59	0,56	0,53	0,50
7,50	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,45
8,00	0,50	0,48	0,46	0,45	0,43	0,41
8,50	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37
9,00	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34
9,50	0,35	0,34	0,34	0,33	0,32	0,31
10,00	0,32	0,31	0,31	0,30	0,29	0,28

Tab. A Valori del campo di induzione magnetica per diverse distanze dall'asse dei cavidotti e altezze dal suolo

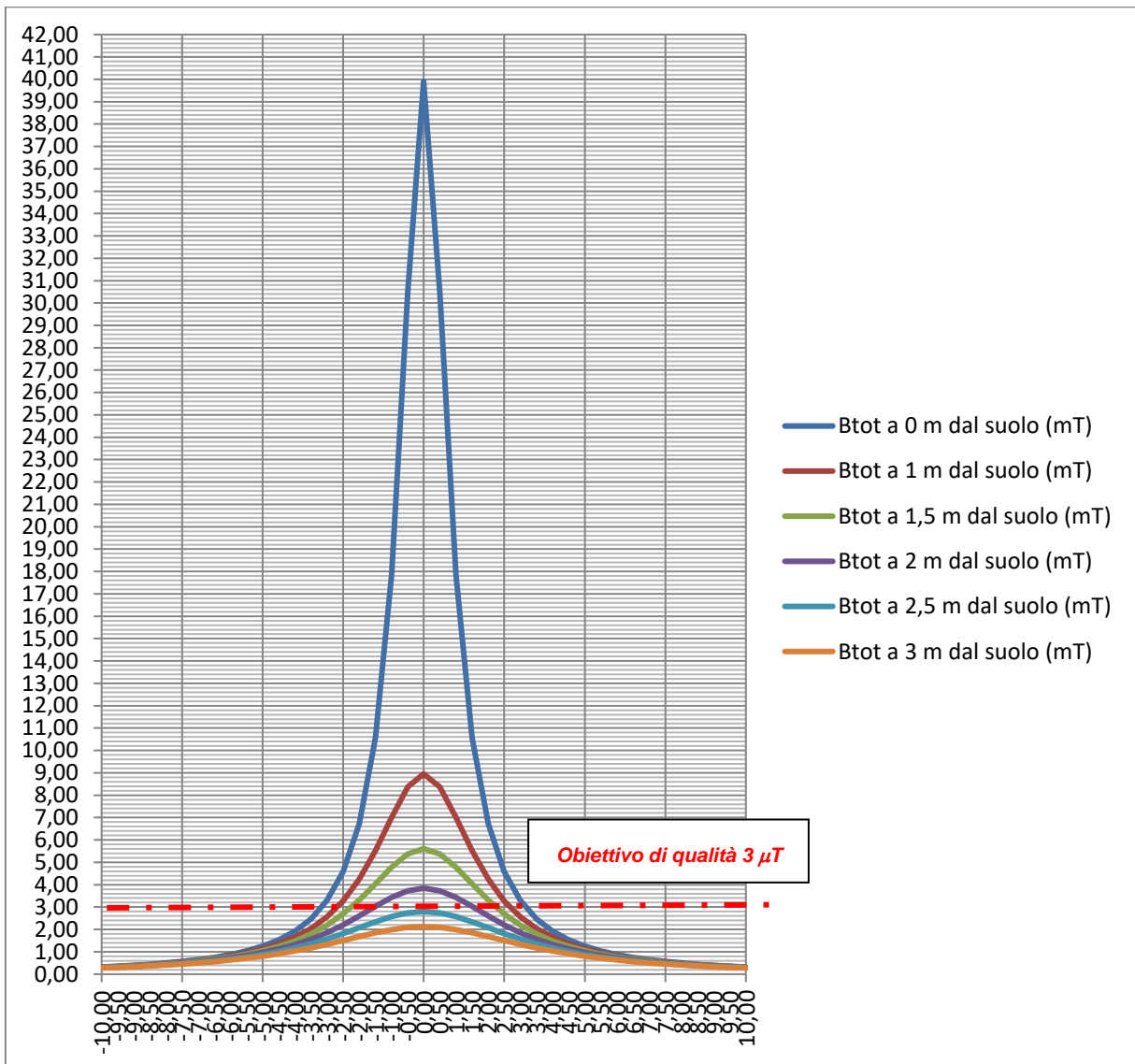


Grafico del campo di induzione magnetica per diverse distanze dall'asse dei cavidotti e altezze dal suolo

Il grafico mostra come nel caso esaminato, il valore del Campo di Induzione Elettromagnetica risulta superiore all'obiettivo di qualità, pari a $3 \mu T$, risultando ad una quota dal suolo pari ad 0 m e sull'asse dei conduttori, pari a **$39,91 \mu T$** (v. Tab. A). Tuttavia si può anche vedere il valore dell'induzione elettromagnetica scende rapidamente a **$2,48 \mu T < 3 \mu T$** ad una distanza di 3,50 m. Il valore di induzione superiore ai **$3 \mu T$** , rimane quindi confinato all'interno delle aree di Impianto dal momento che tutte le Cabine distano dalla recinzione 5 m, distanza pertanto superiore a quello entro la quale il valore di B è superiore a 3. Possiamo così affermare che l'impatto elettromagnetico è limitato ad una ristretta fascia (attorno l'elettrodotto), avente

larghezza pari a 7 m (3,5 m in destra e 3,5 metri in sinistra), oltre la quale il Campo di induzione magnetica rispetta l'obiettivo di qualità.

Come detto questo valore rappresenta il caso peggiore ed è adottato cautelativamente per tutte le linee MT interne ed esterne all'impianto fotovoltaico, intendendo per esterne quelle che vanno dalle aree di impianto alla Sottostazione elettrica.

Si prevedono ad ogni modo, nelle fasi di esercizio e manutenzione dell'impianto, tempi di permanenza di personale addetto all'interno delle Cabine, inferiori alle 4 ore. Per tempi che dovessero prospettarsi superiori, si prevede comunque la disalimentazione di parte o di tutto l'impianto, a seconda della zona sulla quale si andrà ad operare.

In **fase di esercizio**, pertanto, il funzionamento dei cavidotti elettrici produrrà campi elettromagnetici di entità modesta ed inferiore ai livelli di qualità previsti dal DPCM 8 luglio 2003. Inoltre i cavidotti saranno installati in gran parte al di sotto di strade secondarie in aree agricole dove non vi è presenza di abitazioni, e dove non è prevista la permanenza continuativa di persone.

3.2 Gruppo di trasformazione

Nel caso delle Cabine di Campo e Trasformazione, determiniamo direttamente il valore della **DPA**.

La **DPA**, Distanza di **Prima Approssimazione**, per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa, che garantisce che ogni punto, la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del perimetro di cabina più di DPA, si trovi all'esterno delle fasce di rispetto.

Per fascia di rispetto s'intende, in questo caso, lo spazio circostante la cabina che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica d'intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità (**3 μ T**). Il calcolo della DPA deve essere effettuato anche per le *Cabine di Campo*, all'interno delle quali avviene la trasformazione da BT in MT a mezzo di un Trasformatore BT/MT. Si prende a tale scopo in considerazione, il trasformatore di taglia maggiore previsto all'interno dell'impianto e che risulta avere una potenza pari a 3.000 kVA.

Ai sensi del *DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1*, la **DPA** si determina applicando la formula di seguito riportata.

La struttura semplificata sulla base della quale si calcola la **DPA** è un sistema trifase, percorso da una corrente pari alla corrente nominale di bassa in uscita dal trasformatore, e con distanza

tra le fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore stesso. Quindi i dati necessari per il calcolo delle **DPA** sono:

- corrente nominale di bassa tensione del trasformatore;
- diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore.

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

Dove: **I** è la corrente nominale di bassa del trasformatore in (A);

x il diametro dei cavi in (m).

Nel caso in esame i dati di ingresso saranno assegnati considerando il “*worst-case*” del nostro progetto:

I = 3.052,56 A (valore massimo della corrente di bassa all'interno dell'impianto in ingresso al trasformatore).

x = diametro esterno massimo del cavo pari a 33 mm trattandosi un *FG16R16 3 x(1x300 mm²)*.

Dal calcolo si ottiene:

DPA pari a 3,79 m

che arrotonda per eccesso all'intero superiore fissa il valore della **Distanza di Prima Approssimazione pari a 4 m**.

Quindi anche la fascia di rispetto per le Cabine Elettriche, rientra nei confini dell'aerea di pertinenza dell'impianto stesso, essendo queste come innanzi detti, sempre ubicate oltre il margine interno delle strade perimetrali, cioè ad una distanza dalla recinzione mai inferiore ai 5 m. Inoltre cabina è posizionata all'aperto e normalmente non è permanentemente presidiata.

3.3 Sottostazione Elettrica Utente 30/150 kV e cavo AT

L'energia proveniente dall'Impianto Fotovoltaico, raggiungerà la Sottostazione di Trasformazione, ubicata in prossimità della SE TERNA “*Porto Torres 1*”. Qui è previsto:

- 1) un ulteriore innalzamento della tensione con una trasformazione 30/150 kV;
- 2) la misura dell'energia prodotta;
- 3) la consegna a TERNA S.p.a.

La Sottostazione Elettrica Utente sarà costituita da:

- due Stalli AT 150 kV ognuno con Trasformatore AT/MT da 63 kVA con raffreddamento in olio ONAN/ONAF, con vasca di raccolta sottostante, in caso di perdite accidentali. Oltre al trasformatore MT/AT saranno installate apparecchiature AT per protezione, sezionamento e misura:
 - Scaricatori di sovra tensione – n. 3
 - Interruttore tripolare con in SF6 Trasformatori di corrente integrato – n. 3
 - Sezionatore a doppia apertura con lame di terra
 - Sbarre AT a 150 kV;
 - Trasformatori di tensione induttivi (TVI) sotto le Sbarre AT – n. 3
- un edificio servizi in cui saranno allocati gli scomparti MT, i quadri BT, il locale Trasformatore Servizi Ausiliari, il locale Misure, il gruppo elettrogeno e un locale deposito.

Gli elementi di cui ai punti precedenti, troveranno posto in un'area recintata con elementi prefabbricati "a pettine", che saranno installati su apposito cordolo in calcestruzzo (interrato). La finitura del piazzale interno alla SSE sarà in asfalto. In corrispondenza delle apparecchiature AT sarà realizzata una finitura in ghiaietto.

L'area avrà una superficie di circa 5.000 m² e sarà predisposta quindi dimensionata, per accogliere altri produttori che condivideranno il punto di Connessione alla RTN sulla Stazione Elettrica Terna "Porto Torres 1". Ciò avverrà a mezzo di un sistema di Sbarre a 150 kV ubicato sempre all'interno dell'area di 5.000 m² prima detta.

Per quanto concerne la determinazione della fascia di rispetto, la SSE è del tutto assimilabile ad una Cabina Primaria, per la quale la fascia di rispetto rientra, nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto (area recintata). Ciò in conformità a quanto riportato al paragrafo 5.2.2 dell'Allegato al Decreto 29 maggio 2008 che afferma che: per questa tipologia di impianti la DPA e, quindi, la fascia di rispetto, rientrano generalmente nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso.

L'impatto elettromagnetico nella SSE è essenzialmente prodotto:

- dall'utilizzo dei trasformatori BT/MT e MT/AT;
- dalla realizzazione delle linee/sbarre aeree di connessione tra la trasformazione e le apparecchiature elettromeccaniche
- dalla linea interrata AT (già trattata nel paragrafo precedente)

L'impatto generato dalle linee/sbarre AT è di gran lunga quello più significativo e pertanto si propone il calcolo della fascia di rispetto dalle linee/sbarre AT.





3.3.1 Determinazione della fascia di rispetto

Per le **DPA** ci si è rifatti comunque alle “*Linee Guida per l’applicazione del § 5.1.3. dell’Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche*”, di cui si riporta di seguito lo stralcio per quanto di interesse che pongono la distanza di prima approssimazione dal centro delle sbatte AT pari a **14 m**.

Dalla stessa tabella si evince che per un cavo AT a 150/132 kV interrato con portata di 1100 A, la DpA è pari a 3,10 m. Nel nostro caso abbiamo che la corrente massima che fluisce nel cavo AT 150 kV è pari a 470 A. Possiamo pertanto assumere tale DpA di **3,1 m** come valida anche per il caso in progetto ed oltre modo cautelativa.

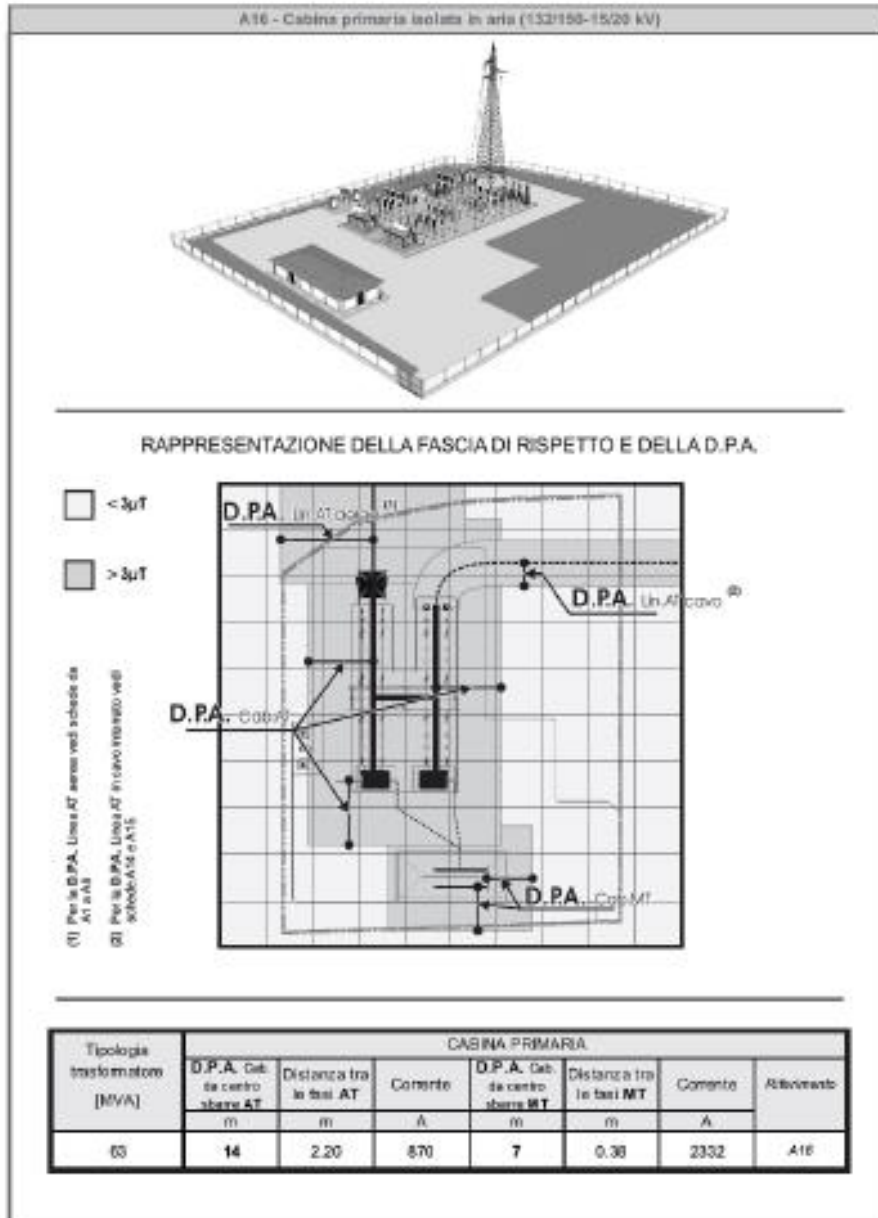


DIVISIONE INFRASTRUTTURE E RETI
Q&A/TUN

Tipologia sostegno	Formazione	Armamento	Corrente	DPA (m)	Rif.
Tubolare Doppia Terna con mensole isolanti (serie 132/150 kV) Scheda A13	22.8 mm 307.75 mm²		576	22	A13a
			444	19	A13b
	31.5 mm 585.35 mm²		870	27	A13c
			675	23	A13d
CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti in piano (serie 132/150 kV) Scheda A14	108 mm 1600 mm²		1110	5.10	A14
CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV) Scheda A15	108 mm 1600 mm²		1110	3.10	A15
CABINA PRIMARIA ISOLATA IN ARIA (132/150kV - 15/20kV) Trasformatori 63MVA Scheda A16	Distanza tra le fasi AT = 2.20 m		870	14	A16
	Distanza tra le fasi MT = 0.37 m		2332	7	



DIVISIONE INFRASTRUTTURE E RETI
 QUALITÀ



Inoltre:

- in conformità a quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 *la Distanza di Prima Approssimazione (DPA) e, quindi, la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza della cabina di trasformazione in progetto;*
- *la sottostazione di trasformazione è comunque realizzata in un'area agricola, con totale assenza di edifici abitati per un raggio di oltre 100 m.*
- *all'interno dell'area della sottostazione non è prevista la permanenza di persone per periodi continuativi superiori a 4 ore con l'impianto in tensione.*

Pertanto si può quindi affermare che l'impatto elettromagnetico su persone, prodotto dalla realizzazione della SSE, sarà trascurabile.

3.4 Conclusioni e Distanze di prima approssimazione (DPA)

Alla luce dei calcoli eseguiti, non si riscontrano problematiche particolari relative all'impatto elettromagnetico dei componenti del Parco Fotovoltaico in oggetto ed in particolare delle Cabine elettriche e i cavidotti, in merito all'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici. A conforto di ciò che è stato fin qui detto, a lavori ultimati si potranno eseguire prove sul campo che dimostrino l'esattezza dei calcoli e delle assunzioni fatte.

Lo studio condotto conferma la conformità dell'impianto dal punto di vista degli effetti del campo elettromagnetico sulla salute umana.

Per quanto concerne i cavi interrati infatti, considerati gli accorgimenti di progetto adottati relativi a:

- minimizzazione dei percorsi della rete;
- disposizione a fascio delle linee trifase

si può escludere la presenza di rischi di natura sanitaria per la popolazione, sia per i bassi valori del campo sia per assenza di possibili recettori nelle zone interessate.

Le opere elettriche in progetto e relative DPA non interessano aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici o luoghi adibiti a permanenze di persone superiori a quattro ore, rispondendo pienamente agli obiettivi di qualità dettati dall'art.4 del D.P.C.M 8 luglio 2003.

Inoltre, sono rispettate ampiamente le distanze da fabbricati adibiti ad abitazione o ad altra attività che comporti tempi di permanenza prolungati, previste dal D.P.C.M. 23 aprile 1992 *"Limiti massimi di esposizione al campo elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale di 50 Hz negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno"*.

In definitiva, volendo riassumere, si sono assunte le seguenti Distanze di Prima Approssimazione:

3.4.1 Cabina di Raccolta FV

Come riportato nel paragrafo ad esse dedicato, per le cabine di trasformazione è stata considerata una fascia di rispetto pari a 4 m, oltre la quale il valore del Campo di induzione magnetica risulta inferiore a 3 μ T (valore di qualità).

Per la Cabina di Smistamento si considereranno i medesimi valori.

3.4.2 Cavidotti MT interni ed esterni

Pure essendo i valori del campo di induzione elettromagnetica al di sotto dei limiti di qualità, assumeremo come larghezza della fascia di rispetto 7,00 m, cioè 3,5 metri dall'asse da entrambi i lati.

3.4.3 Sottostazione Utente (SSE)

Per la sottostazione Utente, sono state assunte come Distanze di Prima approssimazione, quelle indicate nelle "Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3. dell'Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche", che pongono la distanza di prima approssimazione dal centro delle sbarre AT pari a **14 m**.

3.4.4 Cavidotto AT

Assumeremo come fascia di rispetto assumeremo come larghezza della fascia di rispetto 6,20 m, cioè 3,10 metri dall'asse da entrambi i lati, avendo come riferimento valori tabulati riferiti a cavidotti con portate ampliamenti superiori a quelle di progetto.

3.4.5 DpA assunte in progetto

<u>Cabine di Trasformazione:</u>	4 m intorno la cabina;
<u>Cabina di Raccolta:</u>	4 m intorno alla cabina;
<u>Cavidotti MT interni all'impianto fotovoltaico</u>	3,5 m a sx e dx asse cavi
<u>Cavidotti MT esterni all'impianto fotovoltaico</u>	3,5 m a sx e dx asse cavi
<u>Sottostazione MT/AT Utente:</u>	14 m a dx e sx delle sbarre AT;
<u>Cavidotto AT 150 kV:</u>	3,1 m a dx e sx asse cavi;