

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE SOLARE
"ASCOLI SATRIANO MASSERIA SAN POTITO" - POTENZA NOMINALE IMPIANTO FOTOVOLTAICO 47,5 MVA
POTENZA NOMINALE SISTEMA DI ACCUMULO ENERGIA 90 MVA

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA di FOGGIA
COMUNE di ASCOLI SATRIANO
Località: Masseria San Potito

PROGETTO DEFINITIVO
Id AU 82BKAH2

Tav.:

Titolo:

R05
rev2

Relazione di verifica esposizione ai
campi elettromagnetici

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

n.a.

A4

82BKAH2_DocumentazioneSpecialistica_05rev2

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



Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Aprile 2020	Prima emissione	STC	FC	WHYSOL-E Sviluppo s.r.l.
Giugno 2020	Rev2 - Progetto connessione vidimato Terna	STC	FC	WHYSOL-E Sviluppo s.r.l.

Sommario

1	Oggetto	2
2	Compatibilità Elettromagnetica	3
2.1	Riferimenti normativi.....	3
2.2	Valutazione dell'esposizione umana. Valori limite.....	3
2.3	Campo magnetico	4
2.4	Campo elettrico	6
3	Fonti di emissione	7
3.1	Campo elettromagnetico generato dagli elettrodotti.....	7
3.1.1	Caso A - Linea elettrica in cavo interrato costituita da 5 terne di cavi MT posati a trifoglio (arrivo linea in Cabina di Smistamento da Cabine di Campo).....	9
3.1.2	Caso B – Dorsale esterna di collegamento della CdS (Cabina di Smistamento) alla SSE (Sottostazione Elettrica). Cavo interrato costituita da 5 terne di cavi MT posate a trifoglio, da 630 mmq (collegamento dalla Cabina di Smistamento alla SSE 30/150 kV) .	14
3.2	Gruppi conversione / trasformazione (Shelter).....	17
3.3	Sottostazione Elettrica Utente 30/150 kV	18
3.3.1	Determinazione della fascia di rispetto	19
3.4	Conclusioni e Distanze di prima approssimazione (DPA)	24
3.4.1	Impianto Fotovoltaico	24
3.4.2	Cabina di Smistamento e Cabine di Campo	25
3.4.3	Cavidotti MT interni	25

1 Oggetto

Scopo del progetto è la realizzazione di un “Impianto Fotovoltaico” per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (sole) e l'immissione, attraverso un'opportuna connessione, dell'energia prodotta nella Rete di Trasmissione Nazionale di TERNA S.p.A. o inviata al Sistema di Accumulo (storage) installato nell'area di impianto.

L'impianto avrà potenza Nominale pari a 47.500 kVA, Interesserà un'area agricola ricadente nel Comune di Ascoli Satriano (FG), per quanto riguarda l'impianto fotovoltaico propriamente detto. Per quanto riguarda le opere di connessione, il Cavidotto MT a 30 kV interesserà i Comuni di Ascoli Satriano (FG) e di Deliceto (FG). La SSE Utente di nuova costruzione “*Renoir*” è ubicata nel Comune di Deliceto (FG).

L'impianto sarà costituito da 109.200 moduli fotovoltaici da 435 Wp ognuno, raggruppati in 4.550 stringhe e montati su strutture metalliche ad inseguitori solari monoassiali, “*Tracker*”.

L'energia prodotta dall'impianto sarà convogliata, dopo la trasformazione da BT in MT, mediante linee interrate in MT a 30 kV, ad una Cabina di Smistamento, interna al parco fotovoltaico, e da qui, mediante linea interrata in MT a 30 kV, sarà trasportata nella Sottostazione Elettrica Utente 30/150 kV, dove avverrà la trasformazione di tensione (30/150 kV) e la successiva consegna (in AT a 150 kV) alla SE TERNA 150/380 kV “*Deliceto*”, tramite cavo interrato AT.

In alternativa, in uscita dalla CdS, l'energia elettrica prodotta potrà essere inviata al Sistema di Accumulo installato nell'area di impianto ed essere da qui prelevata e riversata nella RTN nei momenti opportuni (per picchi di assorbimento o per livellamento di frequenza).

L'impianto fotovoltaico propriamente detto è ubicato ad Ovest del Comune di Ascoli Satriano (FG). Il Cavidotto MT a 30 kV interesserà i Comuni di Ascoli Satriano (FG) e di Deliceto (FG). La SSE Utente sarà realizzata nel Comune di Deliceto (FG). L'impianto avrà un'estensione di circa 72,5 ha.

Le caratteristiche dell'area di impianto sono riportate nelle tabelle seguenti:

<i>Latitudine</i>	<i>Longitudine</i>	<i>Comune</i>
41° 12.728'N	15° 29.569'E	Ascoli Satriano (FG)

Tabella A – Ubicazione geografica delle opere

<i>Estensione (ha)</i>	<i>Potenza (MW)</i>	<i>Rapporto ha / MW</i>	<i>Ubicazione NCT</i>
72,5	47,502	1,53	Foglio 57-21 (Ascoli Satriano)

Tabella B – Estensione e Potenza installata

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 μ T** per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci;
- All'art.3 comma 2: a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore

giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il **valore di attenzione di 10 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 (**$B=3\mu\text{T}$**) 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 50 Hz. 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 50 Hz, 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 notevolmente 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'impianto fotovoltaico in oggetto generano normalmente, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici con radiazioni non ionizzanti.

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

- Elettrodotti:
 - linee elettriche BT di interconnessione fra i Quadri di Parallelo Stringhe ed i Gruppi conversione / trasformazione (contenenti un inverter ed un trasformatore);
 - linee elettriche interrate MT di interconnessione fra Gruppi conversione / trasformazione e le Cabine di Campo e tra queste e la Cabina di Smistamento;
 - linea elettrica interrata MT fra la Cabina di Smistamento e la Sottostazione Elettrica Utente 30/150 kV. In questo caso, la linea sarà costituita da 5 terne di cavi MT da 630 mm², poiché la massima energia trasportabile sarà data dalla somma dell'energia erogabile dall'Impianto (47,5 MW) e la massima energia erogabile dal sistema di accumulo, (90 MW);
- Sottostazione Elettrica Utente 30/150 kV:
 - Trasformatore MT/AT;
 - Cavo interrato AT.

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.

Nello specifico del nostro caso, sono stati considerati cavi posati a trifoglio “worst-case”. Tale scelta è stata dettata dal fatto che al momento non è nota la disponibilità sul mercato e quindi quelle che potranno essere le scelte in fase di progettazione esecutiva.

Nella tabella che segue si schematizza la configurazione dei cavidotti MT all’interno del campo, specificandone la tipologia, la lunghezza e il tratto di appartenenza.

<i>Lunghezza, sezione e formazione cavidotti MT</i>							
Shelter	Tratte	Misura CAD	piu 5 %	Ingr. cabina e arrivo al quadro	Stima finale (m)	Sezione e formazione cavi	
A-B	CAB. 1- 2	6	6	10	16	3x1x50 mmq	SOTTOCAMPO 1
C-D	CAB. 2 - CdS	470	494	10	504	3x1x120 mmq	
E-F	CAB. 3- 4	6	6	10	16	3x1x50 mmq	SOTTOCAMPO 2
G-H	CAB. 4 - CdS	683	717	10	727	3x1x120 mmq	
I-L	CAB. 5 - CdS	241	253	10	263	3x1x70 mmq	SOTTOCAMPO 3
M-N	CAB. 6 - 7	124	130	10	140	3x1x50 mmq	SOTTOCAMPO 4
O-P	CAB. 7 - CdS	986	1.035	10	1.045	3x1x120 mmq	
Q	CAB. 8- 9	6	6	10	16	3x1x50 mmq	SOTTOCAMPO 5
R-S	CAB. 9 - 10	321	337	10	347		
T-U	CAB. 10 - CdS	1.483	1.557	10	1.567	3x1x185 mmq	

Tabella 1 – lunghezze tratte di cavidotto MT e formazione cavi

Per la valutazione del campo magnetico generato da tali elettrodotti occorre innanzitutto individuare le possibili diverse configurazioni che si presentano nel caso in esame, e sulla base di questi individuare i diversi casi sui quali effettuare la valutazione del campo.

Nel nostro caso, consideriamo il tratto di elettrodotti che accoglie il numero di sezioni maggiore. le sezioni di cavo maggiore (120 mm² – v. tabella sopra riportata) e successivamente il tratto di elettrodotti esterno che unisce la CdS alla SEE, costituito come detto da 5 terne di cavi in alluminio da 630 mm².

3.1.1 Caso A - Linea elettrica in cavo interrato costituita da 5 terne di cavi MT posati a trifoglio (arrivo linea in Cabina di Smistamento da Cabine di Campo)

Ricordiamo che l'Impianto è stato elettricamente configurato in modo tale da formare 5 sottocampi. Ciascuno di essi trasporta una *quota parte* della potenza complessivamente prodotta dall'Impianto stesso, così come dettagliato nelle tabelle che seguono.

Sottocampo 1				
Shelter	P (kW)	P tot(kW)	Ib (A)	
A	2.578,68	2.578,68	53	
B	2.495,16	5.073,84	103	
C	2.505,60	7.579,44	154	
D	2.505,60	10.085,04	205	sez. cavi
CdC 2		10.085,04	205	120 mmq

Sottocampo 2				
Shelter	P (kW)	P tot(kW)	Ib (A)	
E	2.516,04	2.516,04	51	
F	2.526,48	5.042,52	103	
G	2.463,84	7.506,36	153	
H	2.359,44	9.865,80	200	sez. cavi
CdC 4		9.865,80	200	120 mmq

Sottocampo 3				
Shelter	P (kW)	P tot(kW)	Ib (A)	
I	2.495,16	2.495,16	51	
L	2.589,12	5.084,28	103	sez. cavi
CdC 5		5.084,28	103	70 mmq

Sottocampo 4				
Shelter	P (kW)	P tot(kW)	Ib (A)	
M	2.516,04	2.516,04	51	
N	2.463,84	4.979,88	101	
O	2.589,12	7.569,00	154	
P	2.432,52	10.001,52	203	sez. cavi
CdC 7		10.001,52	203	120 mmq

Sottocampo 5				
Shelter	P (kW)	P tot(kW)	Ib (A)	
R	2.547,36	2.547,36	52	
S	2.516,04	5.063,40	103	
T	2.390,76	7.454,16	152	
U	2.474,28	9.928,44	202	
Q	2.536,92	12.465,36	253	sez. cavi
CdC 8		12.465,36	253	185 mmq

Tabella 2 – Sottocampi elettrici

Nelle tabelle sopra riportate sono indicate anche le sezioni dei cavi uscenti da ciascun sottocampo.

Come indicato nell'elaborato *82BKAH2_ElaboratoGrafico_4_19 "Planimetria vie cavi MT"*, il tratto di scavo che conterrà il maggior numero di terne di cavi MT è quello in prossimità della Cabina di Smistamento, ed ha una lunghezza pari a circa 40 m. In particolare all'interno di detto scavo saranno presenti:

- 3 terne di cavi in alluminio ARP1H5(AR)E da 120 mm²;
- 1 terne di cavi in alluminio ARP1H5(AR)E da 70 mm²;

- 1 terna di cavi in alluminio ARP1H5(AR)E da 185 mm²;

Nel seguente paragrafo verrà calcolato il campo di induzione magnetica generato dalle 5 linee MT in arrivo alla Cabina di Smistamento. Possiamo considerare questo il “**worst case**” cioè la situazione più gravosa riscontrabile all’interno dell’impianto.

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.

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

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.

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

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 1 [A].

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:

$$B_i = 0,1 * \sqrt{6} \frac{S_i * I_i}{(x-x_i)^2 + (y-d)^2} \quad (2)$$

dove B_i è il campo magnetico generato dalla i -esima terna di cavi.

Nel particolare, il nostro caso prevede come detto cinque terne di cavi. Quindi il campo di induzione sarà dato dalla somma dei campi di induzione generati dalle singole terne.

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 0,80 m.

Si fa riferimento ai valori delle correnti e delle sezioni riportati nella in *tabella 2* di pagina 9.

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	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
-9,50	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
-9,00	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
-8,50	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
-8,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
-7,50	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
-7,00	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
-6,50	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05
-6,00	0,06	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
-5,50	0,07	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07
-5,00	0,09	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08
-4,50	0,11	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09
-4,00	0,14	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10
-3,50	0,18	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11
-3,00	0,24	0,24	0,21	0,18	0,15	0,13
-2,50	0,33	0,32	0,26	0,21	0,17	0,14
-2,00	0,50	0,41	0,32	0,25	0,20	0,16
-1,50	0,80	0,55	0,40	0,30	0,23	0,18
-1,00	1,40	0,71	0,48	0,34	0,25	0,19
-0,50	2,59	0,86	0,54	0,37	0,27	0,20
0,00	3,60	0,93	0,57	0,38	0,28	0,21
0,50	2,59	0,86	0,54	0,37	0,27	0,20
1,00	1,40	0,71	0,48	0,34	0,25	0,19
1,50	0,80	0,55	0,40	0,30	0,23	0,18
2,00	0,50	0,41	0,32	0,25	0,20	0,16
2,50	0,33	0,32	0,26	0,21	0,17	0,14
3,00	0,24	0,24	0,21	0,18	0,15	0,13
3,50	0,18	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11
4,00	0,14	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10
4,50	0,11	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09
5,00	0,09	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08
5,50	0,07	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07
6,00	0,06	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
6,50	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05
7,00	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
7,50	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
8,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
8,50	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
9,00	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
9,50	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
10,00	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Tabella 3 – valori del campo di Induzione elettromagnetica per diverse altezze dal suolo e distanza dall'asse dei conduttori

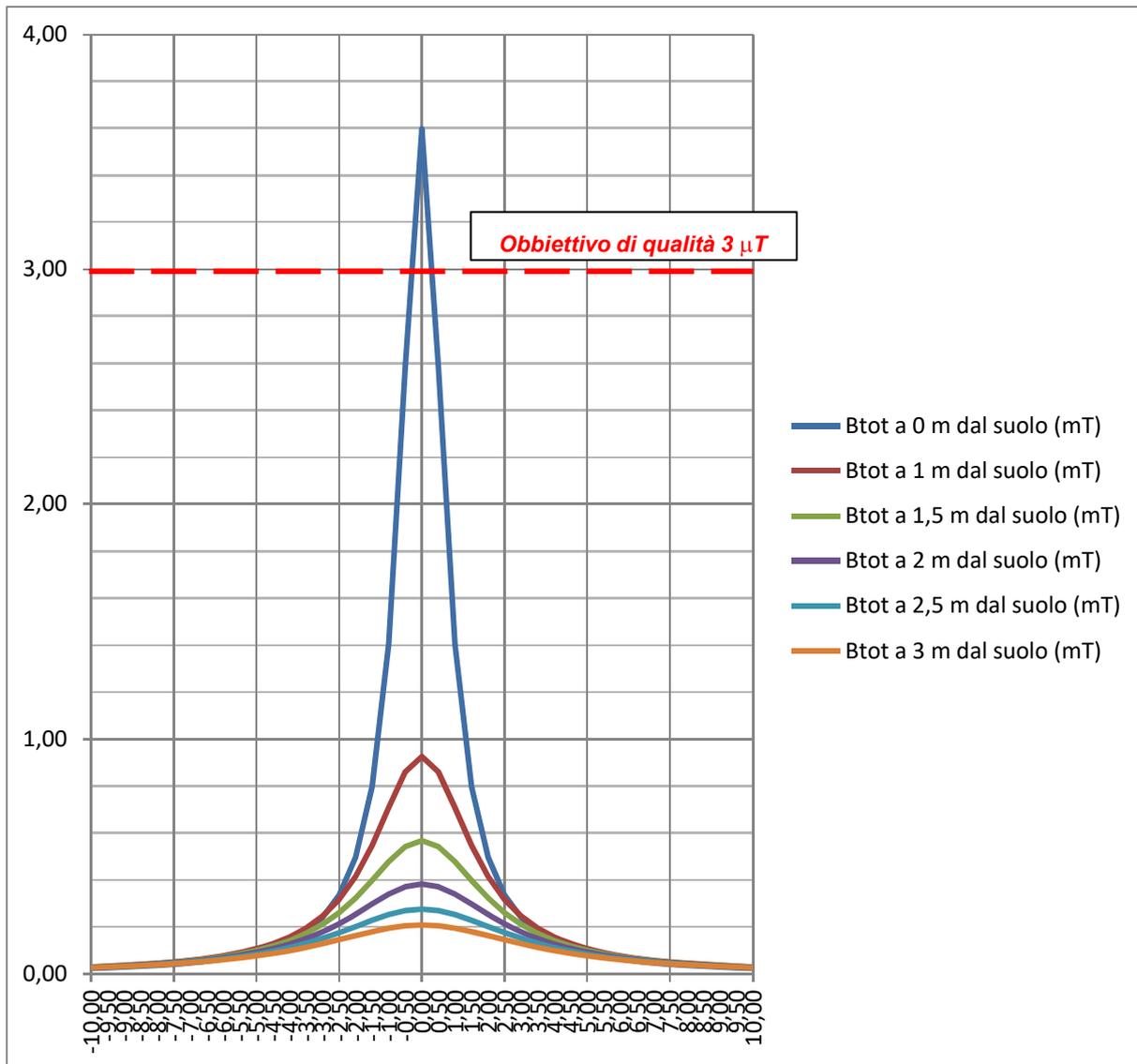


Tabella 4 – andamento grafico del valore della Induzione Elettromagnetica per diverse altezze dal suolo e distanza dall'asse dei conduttori

Il grafico mostra come nel caso in esame, il valore del Campo di Induzione Elettromagnetica sia al di sopra dell'obiettivo di qualità, per una altezza dal suolo pari a 0 (raso terra), risultando pari a **3,60 μT** . Si evince anche che tale valore si riduce a **0 μT** già a 0,50 metri dall'asse del cavidotto.

Si prevedono comunque, 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.

3.1.2 Caso B – Dorsale esterna di collegamento della CdS (Cabina di Smistamento) alla SSE (Sottostazione Elettrica). Cavo interrato costituita da 5 terne di cavi MT posate a trifoglio, da 630 mmq (collegamento dalla Cabina di Smistamento alla SSE 30/150 kV)

Le opere in progetto prevedono anche la realizzazione di un sistema di Accumulo dell'Energia prodotta, costituito da 36 container contenenti batterie agli ioni di litio. Questo, nei momenti di minor produzione dell'Impianto, potrà assorbire/ricevere l'energia erogata dai moduli fotovoltaici, immagazzinandola per successivo riutilizzo e/o immissione in rete per la consegna della stessa alla Rete di Terna. È da non escludere che ci si possa trovare nella situazione in cui sia l'Impianto fotovoltaico (di potenza nominale pari a 47.500 kW) che il sistema di accumulo (di potenza nominale complessiva pari a 90 MW), immettano energia in rete.

In tale caso verrà erogata dal sistema Impianto Fotovoltaico + Sistema di Storage, una potenza complessiva pari a 137.500 kW.

La dorsale esterna, che convoglierà la detta quantità di energia alla SSE, sarà costituita da 5 terne di cavi in alluminio da 630 mm². Ciascuna terna quindi trasporterà una *quota parte* 1/5 della potenza complessivamente prodotta dal sistema costituito dall'Impianto Fotovoltaico propriamente detto (2 terne) ed il sistema di Accumulo dell'energia (3 terne) pari 137.500 kW / 5 = 27.500 kW.

Un tale valore di Potenza genera nella terna di cavi, una corrente pari a **558 A**.

Applicando come fatto in precedenza la relazione (2) a pagina 11, si ottiene quanto riportato in tabella 5.

Distanza dall'asse centrale (m)	Btot a 0 m dal suolo (μT)	Btot a 1 m dal suolo (μT)	Btot a 1,5 m dal suolo (μT)	Btot a 2 m dal suolo (μT)	Btot a 2,5 m dal suolo (μT)	Btot a 3 m dal suolo (μT)
-10,00	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14
-9,50	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15
-9,00	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16
-8,50	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18
-8,00	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20
-7,50	0,28	0,27	0,26	0,24	0,23	0,22
-7,00	0,32	0,30	0,29	0,27	0,26	0,24
-6,50	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27
-6,00	0,44	0,40	0,37	0,35	0,33	0,30
-5,50	0,51	0,46	0,43	0,40	0,37	0,34
-5,00	0,61	0,54	0,50	0,46	0,42	0,38
-4,50	0,75	0,64	0,58	0,53	0,47	0,42
-4,00	0,93	0,77	0,69	0,61	0,54	0,48
-3,50	1,18	0,94	0,82	0,71	0,61	0,53
-3,00	1,53	1,15	0,97	0,82	0,70	0,60
-2,50	2,07	1,42	1,16	0,96	0,79	0,66
-2,00	2,88	1,77	1,39	1,10	0,89	0,73
-1,50	4,16	2,18	1,63	1,25	0,98	0,79
-1,00	6,10	2,61	1,86	1,38	1,06	0,84
-0,50	8,45	2,96	2,03	1,47	1,12	0,88
0,00	9,71	3,10	2,09	1,51	1,14	0,89
0,50	8,45	2,96	2,03	1,47	1,12	0,88
1,00	6,10	2,61	1,86	1,38	1,06	0,84
1,50	4,16	2,18	1,63	1,25	0,98	0,79
2,00	2,88	1,77	1,39	1,10	0,89	0,73
2,50	2,07	1,42	1,16	0,96	0,79	0,66
3,00	1,53	1,15	0,97	0,82	0,70	0,60
3,50	1,18	0,94	0,82	0,71	0,61	0,53
4,00	0,93	0,77	0,69	0,61	0,54	0,48
4,50	0,75	0,64	0,58	0,53	0,47	0,42
5,00	0,61	0,54	0,50	0,46	0,42	0,38
5,50	0,51	0,46	0,43	0,40	0,37	0,34
6,00	0,44	0,40	0,37	0,35	0,33	0,30
6,50	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27
7,00	0,32	0,30	0,29	0,27	0,26	0,24
7,50	0,28	0,27	0,26	0,24	0,23	0,22
8,00	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20
8,50	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18
9,00	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16
9,50	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15
10,00	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14

Tabella 5 – valori del campo di Induzione elettromagnetica per diverse altezze dal suolo e distanza dall'asse dei conduttori

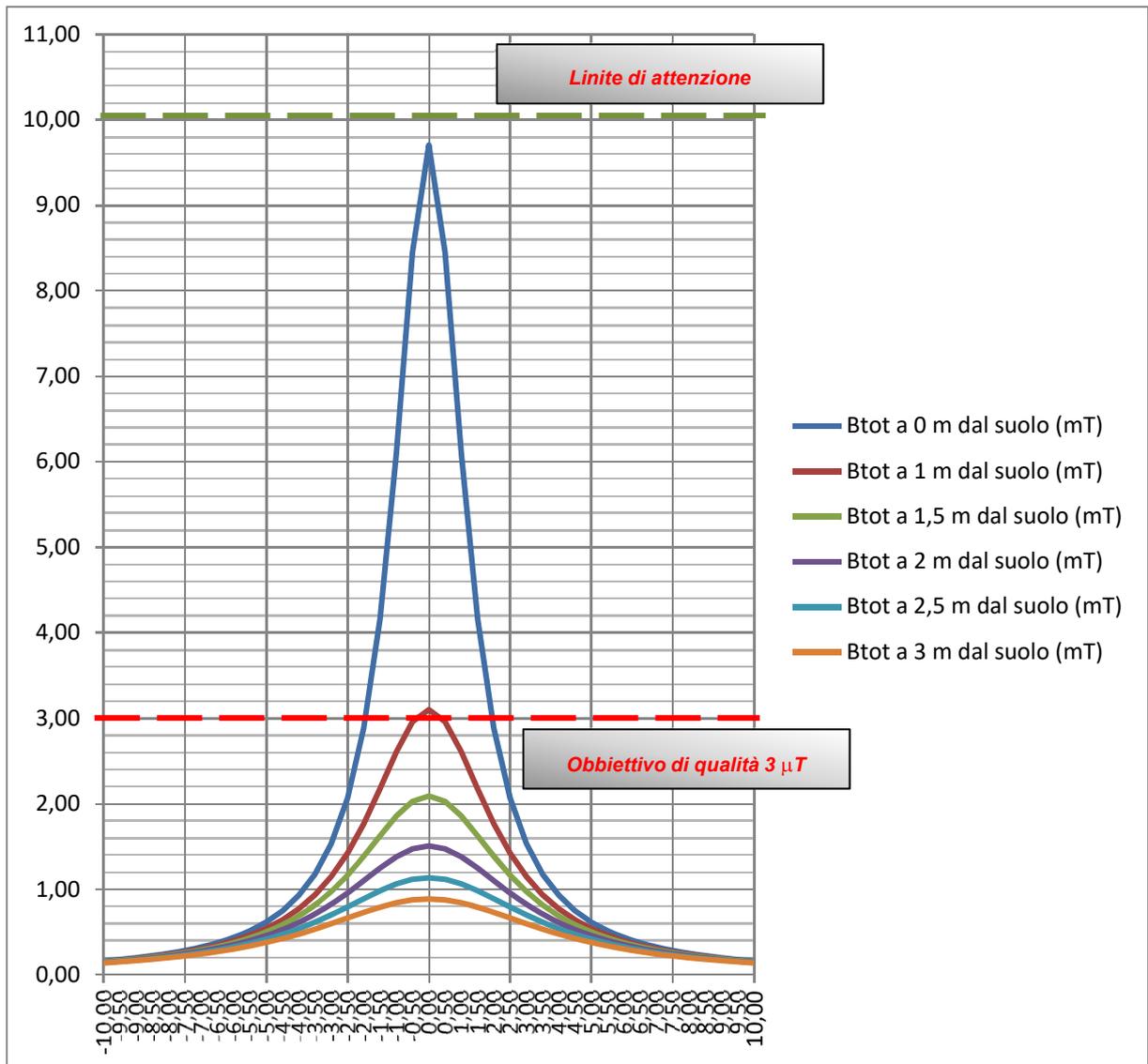


Tabella 6 – andamento grafico del valore della Induzione Elettromagnetica per diverse altezze dal suolo e distanza dall’asse dei conduttori

Il campo di induzione magnetica calcolato al livello del suolo (0 metri dal piano campagna) e sull’asse del cavidotto risulta essere pari a **9,71 μT** , valore comunque inferiore al limite di attenzione di **10 μT** fissato per tempi di permanenze nelle vicinanze dei conduttori non inferiori a quattro ore giornaliere, per altro in ambienti diversi da quello in esame. Inoltre dalla tabella 5, si evince che il valore di **B**, risulta inferiore ai **3 μT** , a livello del piano campagna, ad una distanza dall’asse del cavidotto pari a 2,0 m, distanza inferiore alla fascia di rispetto dello stesso cavidotto la cui larghezza sarà pari a 5 m. Il Cavidotto inoltre, sarà posato al di sotto

di terreni privati con destinazione agricola, per cui si esclude la permanenza nelle vicinanze dello stesso per periodi inferiori alle 4 ore.

3.2 Gruppi conversione / trasformazione (Shelter)

Nel caso dei cabinati preassemblati (Shelter), contenenti il gruppo inverter / trasformatore, sia quelli all'interno dell'Impianto Fotovoltaico propriamente detto che quelli costituenti il sistema di storage, 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 (**3μT**). Il calcolo della DPA deve essere effettuato anche per i cabinati preassemblati, all'interno dei quali avviene la trasformazione da BT in MT a mezzo di un Trasformatore BT/MT avente una potenza pari a 2.500 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:

- $I = 2.735 \text{ A}$ (valore massimo della corrente di bassa in c.a. all'interno dell'impianto in ingresso al trasformatore).
- $x =$ diametro esterno massimo del cavo pari a **33 mm** trattandosi un *FG16R16 5x(3x300 mmq)*.

Dal calcolo si ottiene:

DPA pari a 3,58 m

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

Quindi, la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso, essendo ogni Shelter sempre ubicato oltre il margine interno delle strade perimetrali, cioè ad una distanza dalla recinzione sempre superiore ai 4 m. Inoltre, il cabinato è posizionato all'aperto e normalmente non è permanentemente presidiato.

Le stesse considerazioni valgono per i gruppi di conversione/trasformazione associati ai container del Sistema di Accumulo.

3.3 Sottostazione Elettrica Utente 30/150 kV

L'energia proveniente dall'Impianto Fotovoltaico e dal Sistema di Accumulo, raggiungerà la Sottostazione di Trasformazione di nuova costruzione “*Renoir*”, ubicata in prossimità della SE TERNA di “Deliceto”. Qui è previsto:

- un ulteriore innalzamento della tensione con una trasformazione 30/150 kV;
- la misura dell'energia prodotta;

La sottostazione avrà una superficie di circa 2.800 m². Al suo interno saranno presenti due edifici adibiti a locali tecnici, in cui saranno allocati gli scomparti MT, i quadri BT, il locale comando controllo, il gruppo elettrogeno.

È prevista altresì l'installazione di tre trasformatori AT/MT, di potenza pari a 50 MVA ciascuno. Saranno quindi realizzati tre stalli di trasformazione che si collegheranno ad un sistema di sbarre, dal quale poi uscirà il cavo AT per il collegamento alla SSE “Elce”.

I tre trasformatori 30/150 kV, come detto, avranno potenza nominale di 50 MVA raffreddamento in olio ONAN/ONAF, con vasca di raccolta sottostante, in caso di perdite accidentali.

Oltre ai trasformatori MT/AT saranno installate apparecchiature AT per protezione, sezionamento e misura:

- scaricatori di tensione;
- sezionatore tripolare con lame di terra;
- trasformatori di tensione induttivi per misure e protezione;
- interruttore tripolare 150kV;
- trasformatori di corrente per misure e protezione;
- trasformatori di tensione induttivi per misure fiscali.

La superficie su cui sorgerà la SSE avrà una forma rettangolare, con dimensione 70 x 40 m (2.800 m² circa)

La recinzione sarà realizzata 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.

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 il trasformatore 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

Le sbarre AT sono assimilabili ad una linea aerea trifase 150 kV, con conduttori posti in piano ad una distanza reciproca di 2,2 m, ad un'altezza di circa 7,5 m dal suolo, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate.

Nel caso in esame si ha:

- **S** (distanza tra i conduttori)= 2,2 m;
- **P_n** = Potenza massima dell'impianto in progetto (137.500 MW);
- **V_n** = Tensione nominale delle sbarre AT (150kV).

Indicando con: P_{max} = Potenza massima dell'impianto si avrà: $P_{max} = 137,5$ MW

$$I_{b_max} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi} = \frac{137,5 * 10^6}{0,95 * \sqrt{3} * 150 * 10^3} = 557,09 \text{ A}$$

ed utilizzando la **formula di approssimazione** proposta al paragrafo 6.2.1 della norma CEI 106-11, si avrà:

$$R' = 0,34 \times \sqrt{2,2 \times 557,09} = 11,9 \text{ m}$$

Per le **DPA** ci si è rifatti 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 sbarre AT pari a **14 m > 11,9 m** ottenuti dal calcolo.



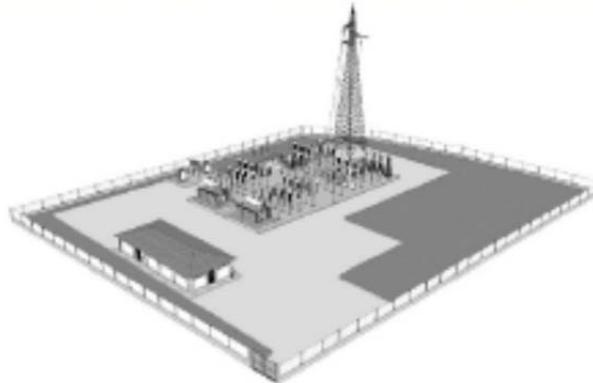
DIVISIONE INFRASTRUTTURE E RETI
OGATUN

Tipologia sostegno	Formazione	Armamento	Corrente	DPA (m)	Rif.
Tubolare Doppia Terna con mensole isolanti (serie 132/150 kV) <u>Scheda A13</u>	22.8 mm 307.75 mm ²		576	22	A13a
			444	19	A13b
	31.5 mm 585.35 mm ²		870	27	A13c
			675	23	A13d
CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti in piano (serie 132/150 kV) <u>Scheda A14</u>	108 mm 1600 mm ²		1110	5.10	A14
CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV) <u>Scheda A15</u>	108 mm 1600 mm ²		1110	3.10	A15
CABINA PRIMARIA ISOLATA IN ARIA (132/150kV - 15/20kV) Trasformatori 63MVA <u>Scheda A16</u>	Distanza tra le fasi AT = 2.20 m		870	14	A16
	Distanza tra le fasi MT = 0.37 m		2332	7	

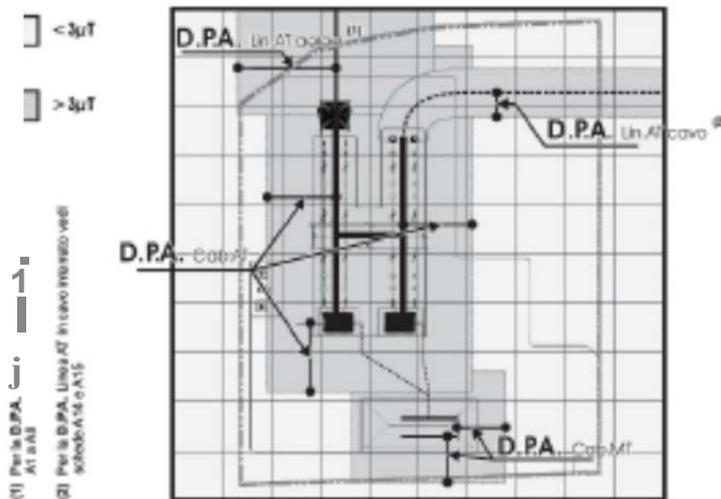


DIVISIONE INFRASTRUTTURE E RETI
 QS&TUN

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



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

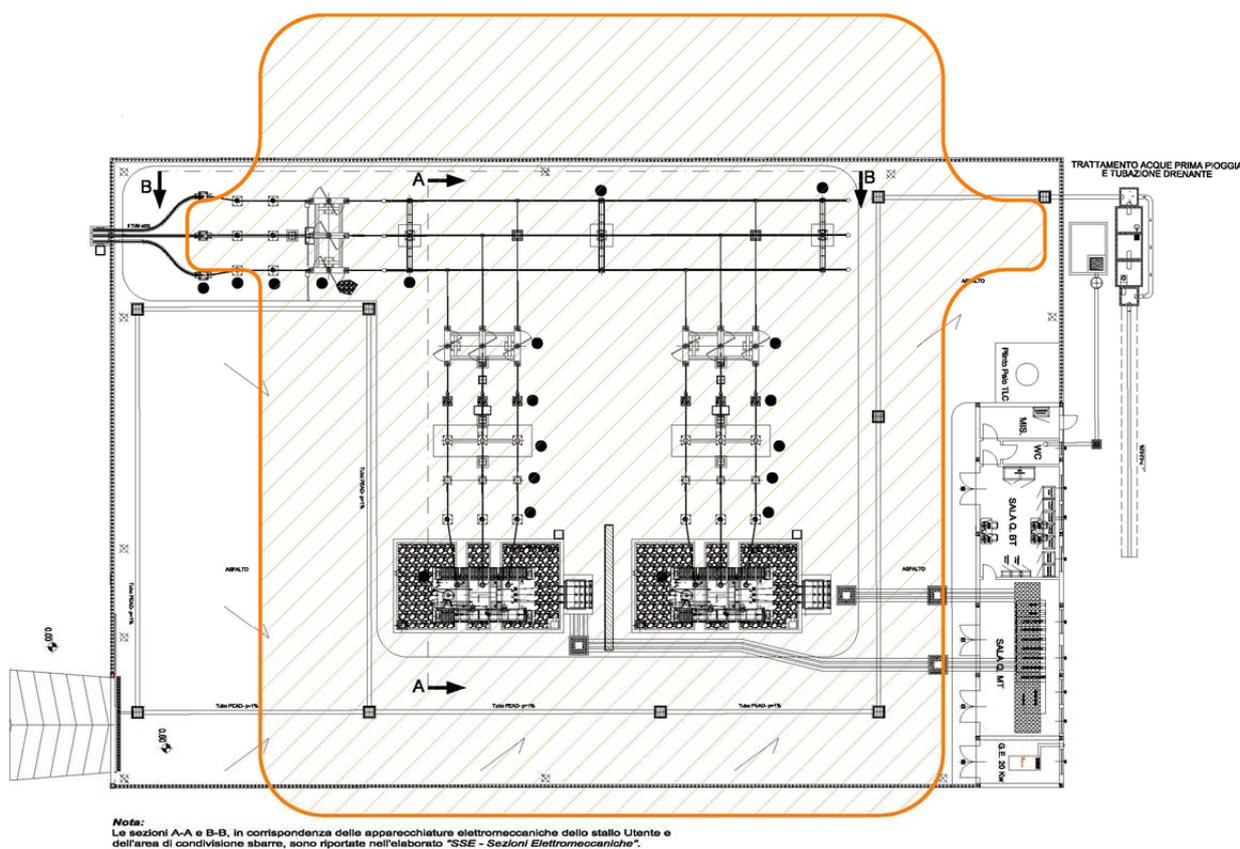


Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						
	D.P.A. Cab. da centro staz. AT m	Distanza tra le fasi AT m	Corrente A	D.P.A. Cab. da centro staz. MT m	Distanza tra le fasi MT m	Corrente A	Altezza m
60	14	2.20	870	7	0.30	2332	A16

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 almeno 400 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.*
- *l'area a sud della SSE Renoir, ove il campo di induzione è al di fuori della recinzione, è destinata ad ospitare altre infrastrutture come quelle della stessa SSE.*

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



Applicazione delle D.P.A. secondo "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"

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, 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 Impianto Fotovoltaico

<u>Gruppo Conversione / Trasformazione (Shelter):</u>	4 m in tutto l'intorno
<u>Cabina di Campo:</u>	4 m in tutto l'intorno
<u>Cabina di Smistamento:</u>	4 m in tutto l'intorno
<u>Cavidotti MT interni all'impianto fotovoltaico</u>	2 m dall'asse
<u>Cavidotto MT da CdS a SSE 30/150 kV</u>	2,5 m dall'asse
<u>Cavidotto AT da SSE Renoir a SSE Elce</u>	4 m dall'asse

3.4.2 Cabina di Smistamento e Cabine di Campo

Come riportato nel paragrafo ad essi dedicati, per i Gruppi Conversione / 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 μT (valore di qualità).

Per la Cabina di Smistamento e per le Cabine di Campo si considereranno i medesimi valori.

3.4.3 Cavidotti MT interni

Pure essendo i valori del campo di induzione elettromagnetica ben al di sotto dei limiti di qualità, assumeremo come larghezza della fascia di rispetto 4,00 m., cioè 2,00 metri dall'asse da entrambi i lati.