

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Provincia del Sud Sardegna
COMUNE DI SILIQUA COMUNE DI VALLERMOSA



TITOLO
TITLE

VALUTAZIONI ED AUTORIZZAZIONI AMBIENTALI

PROGETTO DEFINITIVO

DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVANZATO DENOMINATO "NYX"
E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE

PROGETTAZIONE
ENGINEERING

Sviluppatore:

ENERGETICA  AGROLUX s.r.l.

Gruppo di progettazione:

Studio Ing. Valeria Medici

COMMITTENTE
CLIENT

 NYX S.R.L.

 GREENCELLS
GROUP

OGGETTO
OBJECT

RELAZIONE ELETTROMAGNETISMO

REL

R10

DATA / DATE

MAGGIO 2024

AUTORE/CREATOR

F.C.

CONTROLLO/EDIT

V.M.

APPR

G.C.

REV

00

INDICE

1 OGGETTO	2
1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	2
1.2 INQUADRAMENTO CATASTALE.....	2
2 COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA.....	4
2.1RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2.2 VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE UMANA. VALORI LIMITE	4
3 CAMPO MAGNETICO	6
3.1 FONTI DI EMISSIONE	7
4. EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE INDOTTE DAGLI ELETTRODOTTI A SERVIZIO DELL'IMPIANTO	8
4.1 DIFFERENZA TRA CAMPI ELETTRICI E CAMPI MAGNETICI	8
4.1.1 CAMPO ELETTRICO	8
4.1.2 CAMPO MAGNETICO	8
5. ANALISI DELL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO IN PROGETTO.....	10
5.1 CALCOLO DEL CAMPO DI INDUZIONE ELETTROMAGNETICA GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI	10
6. LA DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE.....	14
6.1 CALCOLO DELLA DPA.....	15
6.2 DPA DI LINEE E CABINE ELETTRICHE.....	17
6.2.1 DPA CABINE DI CAMPO	19
6.3 CONCLUSIONI E DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA).....	23

1 OGGETTO

Il progetto oggetto della seguente relazione, come già citato nella premessa, consiste in un impianto agrivoltaico sito nelle aree agricole del comune di Siliqua, provincia del Sud Sardegna.

1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito individuato per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico è situato in località "Tanca di Berlingheri", ricadente in agro del Comune di Siliqua, nella Provincia del Sud Sardegna.

I dati per l'individuazione dell'impianto sono i seguenti:

- Latitudine di 39°19'58" N e Longitudine di - 8°46'20" E; altitudine media di 102 m s.l.m.;
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna in scala 1:10.000 foglio 556-060.

La linea di connessione in MT di collegamento dell'impianto alla SE Terna di nuova realizzazione, insisterà nei comuni di Siliqua e Vallermosa.

1.2 INQUADRAMENTO CATASTALE

I lotti su cui verrà realizzato l'impianto agrivoltaico sono individuati al Catasto dei Terreni del Comune di Siliqua come di seguito riportato.

Comune di Siliqua

- Foglio 112 mappale 39- 66- 67- 69- 70- 71- 72- 82- 90- 92.

I lotti su cui insisterà la Stazione Elettrica del Gestore di rete (Terna) sono individuati al Catasto dei Terreni del Comune di Vallermosa come di seguito riportato.

Comune di Vallermosa

- Foglio 412 mappali 5- 53- 54.

In riferimento ai parametri urbanistici di progetto, i lotti a disposizione della società proponente possiedono superficie catastale pari a circa 741.000 mq, mentre la superficie recintata dedicata alla protezione delle strutture fotovoltaiche avrà un'estensione pari a circa 350.000 mq.

Per quanto concerne la superficie coperta occupata, questa sarà ripartita secondo la tabella seguente.

CALCOLO SUPERFICI COPERTE					
	n°	L [m]	Largh [m]	Parz.[m²]	TOT [m²]
Tracker 56 moduli FV	922	36,86	4,82	179,56	165.554,32
Tracker 28 moduli FV	169	18,43	4,82	90,88	15.358,72
Shelter inverter/trasformatori 3125 kVA/2500 kVA	12	6,06	2,44	14,79	177,48
Area Cabina di Raccolta MT	1	20,00	3,10	62,00	62,00
TOTALE SUPERFICI COPERTE					181.152,52

Tabella 1.1: calcolo superfici coperte.

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 μ T**, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio;
- Art.4 comma 1. Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'**obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell'induzione magnetica**, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio

- Lo stesso DPCM, all'art 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità ($B=3\mu T$) di cui all'art. 4 sopra richiamato ed alla portata della corrente in servizio normale. L'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti) definisce quale *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 .

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	

Figura 1: Spettro elettromagnetico.

3.1 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 MT di interconnessione fra gli Shelter e la Cabina di Raccolta MT;
- linea MT di connessione tra l'impianto e la SE del Gestore di Rete;

Cabine:

- Shelter BT/MT;
- Cabina di raccolta MT.

Di seguito verrà data una caratterizzazione delle sorgenti appena individuate.

4. EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE INDOTTE DAGLI ELETTRODOTTI A SERVIZIO DELL'IMPIANTO

4.1 DIFFERENZA TRA CAMPI ELETTRICI E CAMPI MAGNETICI

4.1.1 CAMPO ELETTRICO

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata. Per le linee elettriche di MT a 50 Hz, i campi elettrici misurati attraverso prove sperimentali sono risultati praticamente nulli, per l'effetto schermante delle guaine metalliche e del terreno sovrastante i cavi interrati.

4.1.2 CAMPO MAGNETICO

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- distanza dalle sorgenti (conduttori);
- intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- presenza di sorgenti compensatrici;
- suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

I valori di campo magnetico, risultano essere notevolmente abbattuti mediante interrimento degli elettrodotti. Questi vengono posti a circa 1,5-1,85 metri di profondità e sono composti da un conduttore cilindrico, una guaina isolante, una guaina conduttrice (la quale funge da schermante per i disturbi esterni, i quali sono più acuti nel sottosuolo in quanto il terreno è molto più conduttore dell'aria) e un rivestimento produttivo.

I cavi interrati generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità di campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza (i circa 80 m diventano in questo caso circa 24). Tra i vantaggi collegati all'impiego dei cavi interrati sono da considerare i valori di intensità di campo magnetico che decrescono molto più rapidamente con la distanza. Tra gli svantaggi sono da considerare i problemi di perdita di energia legati alla potenza reattiva (produzione, oltre ad una certa lunghezza del cavo, di una corrente capacitiva, dovuta all'interazione tra il cavo ed il terreno stesso, che si contrappone a quella di trasmissione). Altri metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico possono essere quelli di usare "linee

compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro in quanto questi sono isolati con delle membrane isolanti. Queste portano ad una riduzione del campo magnetico. Confrontando il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si rileva che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata.

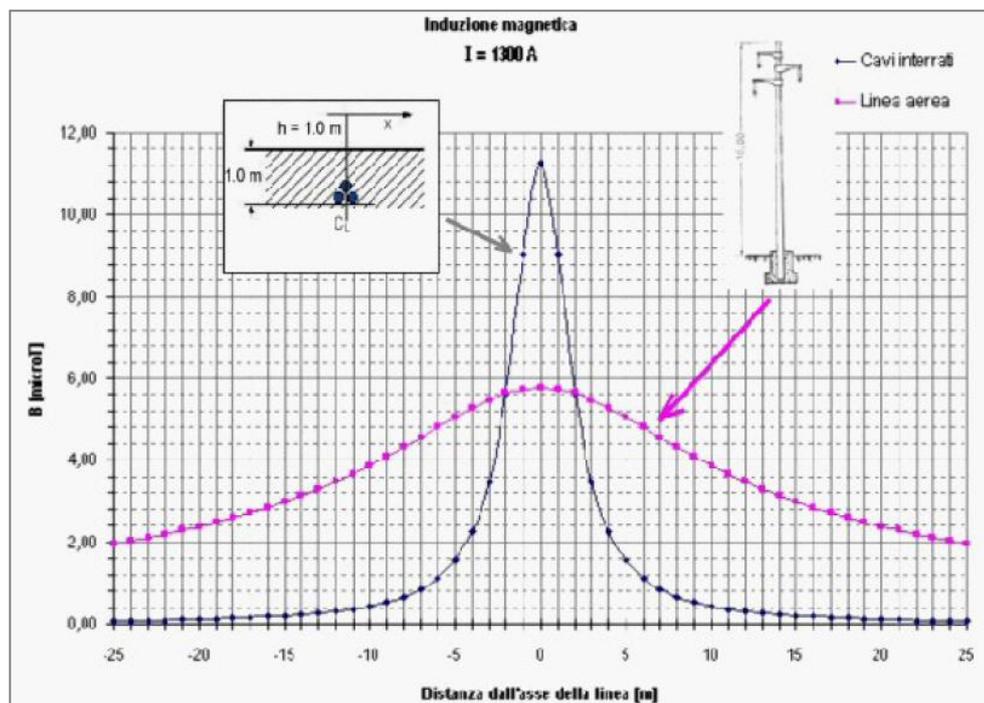


Figura 2: Attenuazione dell'induzione magnetica dovuta all'interramento dei cavi.

5. ANALISI DELL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO IN PROGETTO

L'impatto elettromagnetico relativo all'impianto fotovoltaico in progetto per la produzione di energia elettrica da fonte solare a conversione fotovoltaica, è legato:

- alla Realizzazione di cavidotto interrato per la connessione elettrica dei campi in cui è suddiviso elettricamente l'impianto, con la cabina elettrica di connessione e consegna alla rete di distribuzione nazionale;
- all'utilizzo dei trasformatori BT/MT.

Nell'intervento proposto è prevista la realizzazione di linee elettriche interrate in MT sia per il collegamento dei trasformatori BT/MT alla Cabina di Raccolta, sia per il collegamento dell'impianto alla SE Terna.

5.1 CALCOLO DEL CAMPO DI INDUZIONE ELETTROMAGNETICA GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI

Quella che viene presentata di seguito è una valutazione analitica del campo magnetico generato dagli elettrodotti, basata sulle metodologie di calcolo 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 caso di progetto, sono stati considerati cavi posati a trifoglio (*worst-case*). 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 caso di progetto si considerano i tratti di elettrodotti che accolgono le sezioni di cavo maggiore e in cui fluisce il valore di corrente maggiore. La linea MT si considera costituita da 2 terne di cavi MT della tipologia ARP1H5(AR)E; ciascuna terna con sezione pari a 500 mm².

Con riferimento alla soluzione tecnica adottata, sono stati calcolati gli andamenti tipici dell'induzione magnetica per la portata in corrente in servizio normale (come definita dalla CEI 11/60), per i collegamenti in cavo interrato e per le sbarre MT della cabina di smistamento.

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.

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

dove:

- μ_0 = permeabilità magnetica;
- I_i = valore istantaneo della corrente nella fase i-esima;
- x, y = coordinate del punto nel quale si calcola l'induzione;
- x_i, y_i = coordinate del conduttore iesimo.

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 [μ T] 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:

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

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.

Per il "Worst case", relativo al cavidotto MT, si hanno i seguenti dati in ingresso:

- Numero di terne di cavi: 2;
- Corrente circolante nella terna di cavi: 314,20 A;

- Sezione dei cavi scelta: 500 mm².

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	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07
-9,50	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08
-9,00	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09
-8,50	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10
-8,00	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11
-7,50	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12
-7,00	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
-6,50	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15
-6,00	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17
-5,50	0,28	0,25	0,24	0,22	0,21	0,19
-5,00	0,33	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21
-4,50	0,41	0,36	0,33	0,30	0,27	0,24
-4,00	0,51	0,44	0,40	0,35	0,31	0,28
-3,50	0,66	0,54	0,48	0,42	0,36	0,31
-3,00	0,88	0,68	0,58	0,50	0,42	0,36
-2,50	1,22	0,87	0,72	0,59	0,48	0,40
-2,00	1,79	1,13	0,88	0,69	0,55	0,45
-1,50	2,82	1,47	1,08	0,81	0,62	0,49
-1,00	4,76	1,87	1,28	0,92	0,69	0,53
-0,50	8,13	2,23	1,43	1,00	0,73	0,56
0,00	10,64	2,39	1,50	1,02	0,75	0,57
0,50	8,13	2,23	1,43	1,00	0,73	0,56
1,00	4,76	1,87	1,28	0,92	0,69	0,53
1,50	2,82	1,47	1,08	0,81	0,62	0,49
2,00	1,79	1,13	0,88	0,69	0,55	0,45
2,50	1,22	0,87	0,72	0,59	0,48	0,40
3,00	0,88	0,68	0,58	0,50	0,42	0,36
3,50	0,66	0,54	0,48	0,42	0,36	0,31
4,00	0,51	0,44	0,40	0,35	0,31	0,28
4,50	0,41	0,36	0,33	0,30	0,27	0,24
5,00	0,33	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21
5,50	0,28	0,25	0,24	0,22	0,21	0,19
6,00	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17
6,50	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15
7,00	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
7,50	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12
8,00	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11
8,50	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10
9,00	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09
9,50	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08
10,00	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07

Tab. 5.1: Valori del campo di induzione magnetica per diverse distanze dall'asse dei cavidotti e altezze dal suolo.

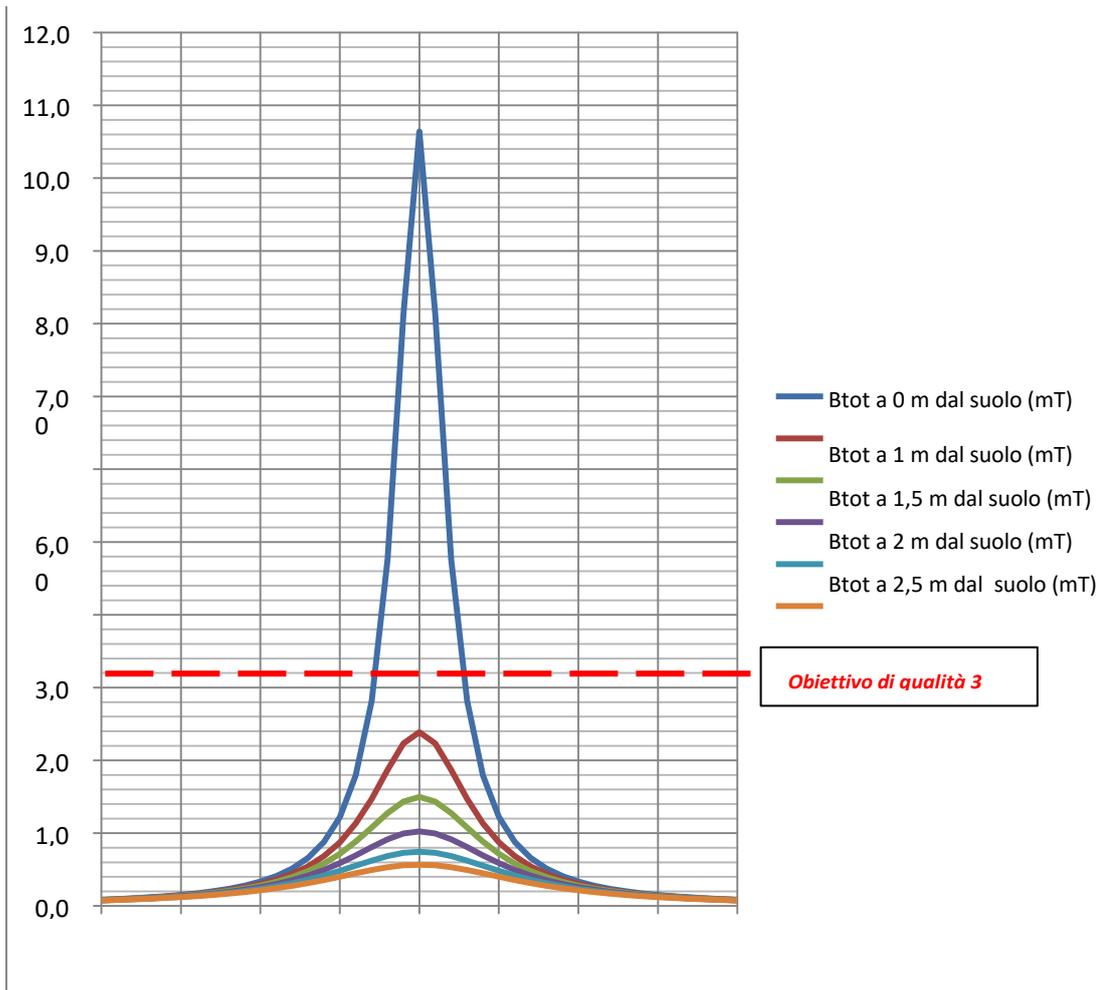


Figura 3: Grafico del campo di induzione magnetica per diverse distanze dall'asse dei cavidotti e altezze dal suolo.

Il grafico mostra come nel caso in esame, 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 $10,64 \mu T$ (Tab. 7.2). Tuttavia si può anche vedere che sull'asse dei conduttori già ad 1,5 metri dal suolo il valore dell'induzione elettromagnetica scende a $2,39 \mu T < 3 \mu T$. Se consideriamo poi che ad 1,5 metro di distanza dai conduttori (anche a quota 0 m dal suolo), il valore di B è pari a $2,82 \mu T < 3 \mu T$, possiamo affermare che l'impatto elettromagnetico è limitato.

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 permanenze continuativa di persone.

6. LA DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE

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

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

In particolare, al fine di agevolare/semplificare:

- l’iter autorizzativo relativo alla costruzione ed esercizio degli elettrodotti (linee e cabine elettriche);
- le attività di gestione territoriale relative a progettazioni di nuovi luoghi tutelati e a richieste di redazione dei piani di gestione territoriale, inoltrate dalle amministrazioni locali; sono state elaborate le schede sintetiche con le DPA per le tipologie ricorrenti di linee e cabine elettriche di proprietà Enel Distribuzione di nuova realizzazione e che possono essere prese a riferimento anche per gli elettrodotti in esercizio.

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

Nelle schede sintetiche delle Linea Guida pubblicate da Enel S.p.A. (per l’applicazione del § 5.1.3 dell’Allegato al DM 29.05.08), sono tabellate le DPA, in relazione alla geometria dei conduttori e alla portata di corrente in servizio normale, delle:

- a) linee AT e Cabine Primarie (CP);
- b) linee MT e Cabine Secondarie (CS).

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

Le DPA permettono, nella maggior parte delle situazioni, una valutazione esaustiva dell’esposizione ai campi magnetici. Si precisa, inoltre, che secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 sopra citato (§ 3.2), la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all’art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 si applica alle linee elettriche aeree ed interrate, esistenti ed in progetto ad esclusione di:

- linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50 Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);
- linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);
- linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);

- linee di Media Tensione in cavo cordato ad elica (interrate o aeree - Figura sottostante) in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i.

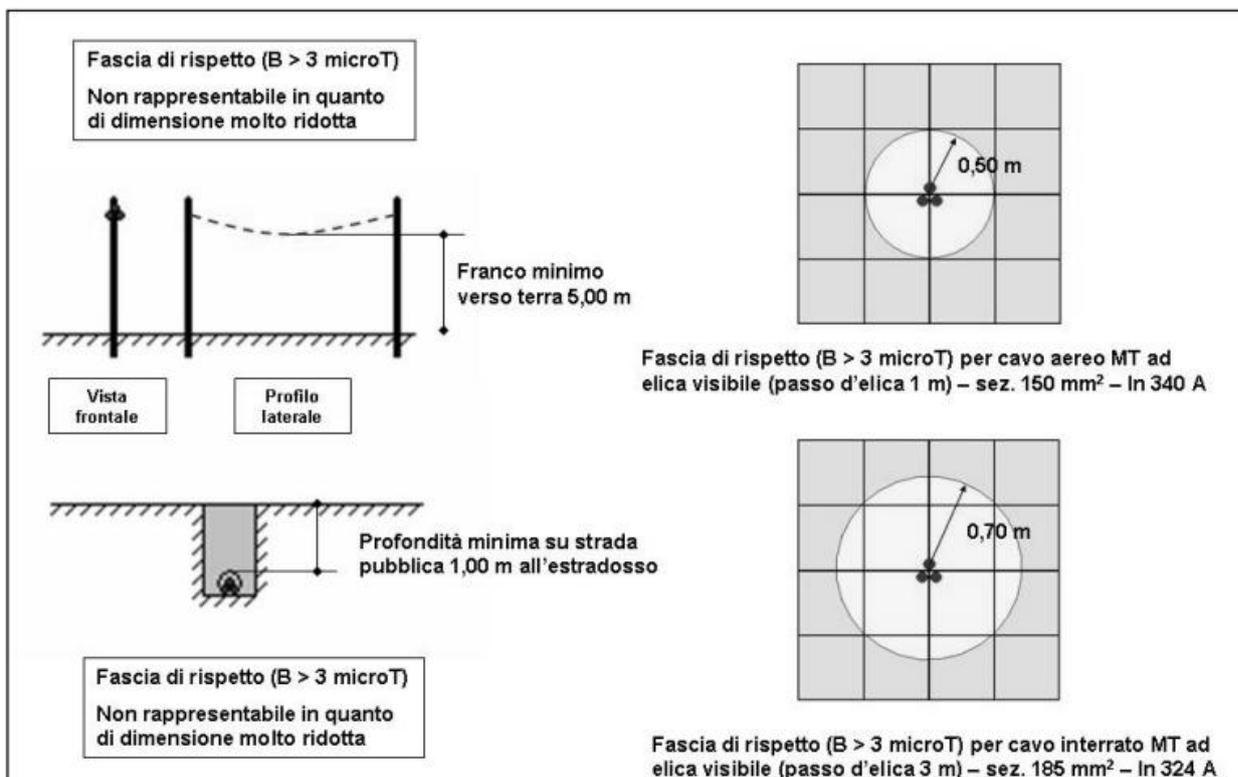


Figura 4: Curve di livello dell'induzione magnetica generata da cavi cordati ad elica – calcoli effettuati con il modello tridimensionale "Elico" della piattaforma "EMF Tools", che tiene conto del passo d'elica.

6.1 CALCOLO DELLA DPA

Al fine di agevolare la gestione territoriale ed il calcolo delle fasce di rispetto il Decreto introduce una procedura semplificata (§ 5.1.3), per il calcolo della DPA ai sensi della CEI 106-11 che fa riferimento ad un modello bidimensionale semplificato, valido per conduttori orizzontali paralleli, secondo il quale il proprietario /gestore deve: 1. calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco di linea (la configurazione ottenuta potrebbe non corrispondere ad alcuna campata reale); 2. proiettare al suolo verticalmente tale fascia; 3. comunicare l'estensione rispetto alla proiezione al centro linea: tale distanza (DPA) sarà adottata in modo costante lungo il tronco. Nei casi complessi, quali parallelismi, incroci tra linee o derivazioni e cambi di direzione, il Decreto sopraccitato introduce, al § 5.1.4, la possibilità per il proprietario/gestore di individuare l'Area di Prima Approssimazione (che ha la stessa valenza della DPA - § 5.1.3), da fornire alle autorità competenti:

- in fase di progettazione di nuovi elettrodotti;

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

In fase di progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati, allorquando risulti che la DPA relativa all’impianto da realizzare includa, se pur parzialmente, tali luoghi, per una corretta valutazione si dovrà procedere al calcolo esatto della fascia di rispetto lungo le necessarie sezioni, tenendo conto della portata in corrente in servizio normale dichiarata nel procedimento autorizzativo. In fase di progettazione di nuovi luoghi tutelati, allorquando dette realizzazioni si dovessero trovare, se pur parzialmente, all’interno della DPA, le autorità competenti potranno chiedere al proprietario/gestore il calcolo esatto della fascia di rispetto lungo le necessarie sezioni, al fine di consentire una corretta valutazione. In entrambi i casi, qualora la fascia di rispetto, ottenuta con calcolo esatto, includa, se pur parzialmente, il luogo tutelato si dovrà prevedere una variante al progetto, in quella specifica sezione, che non presenti luoghi tutelati all’interno della fascia di rispetto.

Il calcolo sarà effettuato con modello bidimensionale (2D), se rispettate le condizioni di cui alla CEI 106-11, o con modello tridimensionale (3D) in caso contrario.

La determinazione della fascia di rispetto è finalizzata alla definizione del volume, attorno ai conduttori, al cui interno si potrebbe avere una induzione magnetica superiore a 3 μ T e non all’individuazione della proiezione verticale al suolo di detto volume, come invece definito in maniera semplificata dalla procedura di calcolo della DPA. Pertanto il calcolo richiesto dalle autorità competenti va effettuato soltanto in corrispondenza della sezione di interesse, ovvero interferente con un luogo tutelato di cui all’art. 4 c. 1 lettera h) della Legge 36/2001.

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

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

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

1. Metodo semplificato, che permette di individuare l’Area di Prima Approssimazione, determinata sulla base di specifici incrementi parametrizzati per una prima verifica da parte delle autorità competenti, in sede di autorizzazione alla realizzazione di nuovi luoghi tutelati o nuovi elettrodotti;
2. Modello 3D in caso di luoghi tutelati in progettazione interni all’Area di Prima Approssimazione, al fine di fornire la reale fascia di rispetto al richiedente l’autorizzazione.

Nel caso di incroci di linee di proprietari/gestori diversi, questi devono eseguire il calcolo con approccio congiunto.

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

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

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

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

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

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

Come prescritto all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 i proprietari/gestori provvedono a comunicare non solo l'ampiezza delle fasce di rispetto, ma anche i dati per il calcolo delle stesse ai fini delle verifiche delle autorità competenti, trasmessi mediante relazione contenente i dati caratteristici delle linee o cabine e le relative DPA rispettivamente per linee AT/Cabine Primarie e per linee MT/Cabine Secondarie.

6.2 DPA DI LINEE E CABINE ELETTRICHE

In sede di verifica preliminare del rispetto dell'obiettivo di qualità, ai fini della richiesta di autorizzazione all'edificazione, è possibile effettuare una rapida valutazione in sito della DPA nella campata di linea in esame.

Il procedimento di valutazione prevede di riconoscere la tipologia delle teste dei due sostegni, che delimitano la campata, e successivamente, dalle schede allegate, di individuare la relativa DPA. La campata in oggetto sarà caratterizzata dalla DPA più grande tra le due, cioè quella della testa del sostegno con geometria più cautelativa (DPA maggiore) e sul quale è presente il conduttore di sezione più grande. Se il luogo tutelato risulta esterno a tale DPA si prosegue nella progettazione, altrimenti si rende necessario chiedere informazioni di dettaglio sulla linea per un calcolo puntuale della fascia di rispetto nella sezione di interesse. In sede di progettazione di nuove linee e cabine elettriche, nel rispetto dell'obiettivo di qualità, sarà dichiarata la DPA e i dati di calcolo corrispondenti (come predisposto nelle schede allegate). Detta DPA,

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

Per la determinazione delle DPA si è fatto riferimento alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto. Le DPA per linee aeree ed interrate di AT, per linee aeree di MT e per le cabine elettriche, fa riferimento alle seguenti teste dei sostegni e configurazioni elettriche:

A. Linee AT

- A 1. Semplice terna con mensole normali (132/150 kV);
- A 2. Semplice terna con mensole isolanti (132/150 kV);
- A 3. Semplice terna a bandiera con mensole normali (132/150 kV);
- A 4. Semplice terna a bandiera con mensole isolanti (132/150 kV);
- A 5. Tubolare semplice terna con mensole isolanti a triangolo (132/150 kV);
- A 6. Semplice terna a delta (132/150 kV);
- A 7. Semplice terna tipo portale (132/150 kV);
- A 8. Semplice terna con mensole normali (220 kV);
- A 9. Doppia terna con mensole normali (132/150 kV);
- A 10. Doppia terna ottimizzata con mensole normali (132/150 kV);
- A 11. Doppia terna con mensole isolanti (132/150 kV);
- A 12. Doppia terna ottimizzata con mensole isolanti (132/150 kV);
- A 13. Tubolare doppia terna con mensole isolanti (132/150 kV);
- A 14. Cavi interrati semplice terna disposti in piano (132/150 kV);
- A 15. Cavi interrati semplice terna disposti a trifoglio (132/150 kV);
- A 16. Cabina primaria isolata in aria (135/150-15/20 kV).

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

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

B. Linee MT

- B 1. Semplice terna con isolatori rigidi (15/20 kV);
- B 2. Semplice terna - mensola boxer (15/20 kV);
- B 3. Semplice terna con isolatori sospesi (15/20 kV);

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

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

6.2.1 DPA CABINE DI CAMPO

Nel caso delle Cabine di Campo e Trasformazione, si determina direttamente il valore della *DPA*. La *DPA* 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 ($3\mu T$). Il calcolo della *DPA* deve essere effettuato anche per il gruppo Inverter/trasformatori, 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 6.250 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.

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

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.

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 progetto:

I = 3.308 A (valore massimo della corrente di bassa tensione all'interno dell'impianto in ingresso al trasformatore).

x = diametro esterno massimo del cavo pari a 0,033 m trattandosi un *FG16R16 3 x(1x300 mm²)*.

Dal calcolo si ottiene:

$$DPA = 3,94 \text{ m}$$

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 le cabine sempre ubicate oltre il margine interno delle strade perimetrali, cioè ad una distanza dal confine della proprietà sempre superiore ai 6,0 m. Inoltre le cabine e gli shelter cabina sono posizionati all'aperto e non sono permanentemente presidiati.

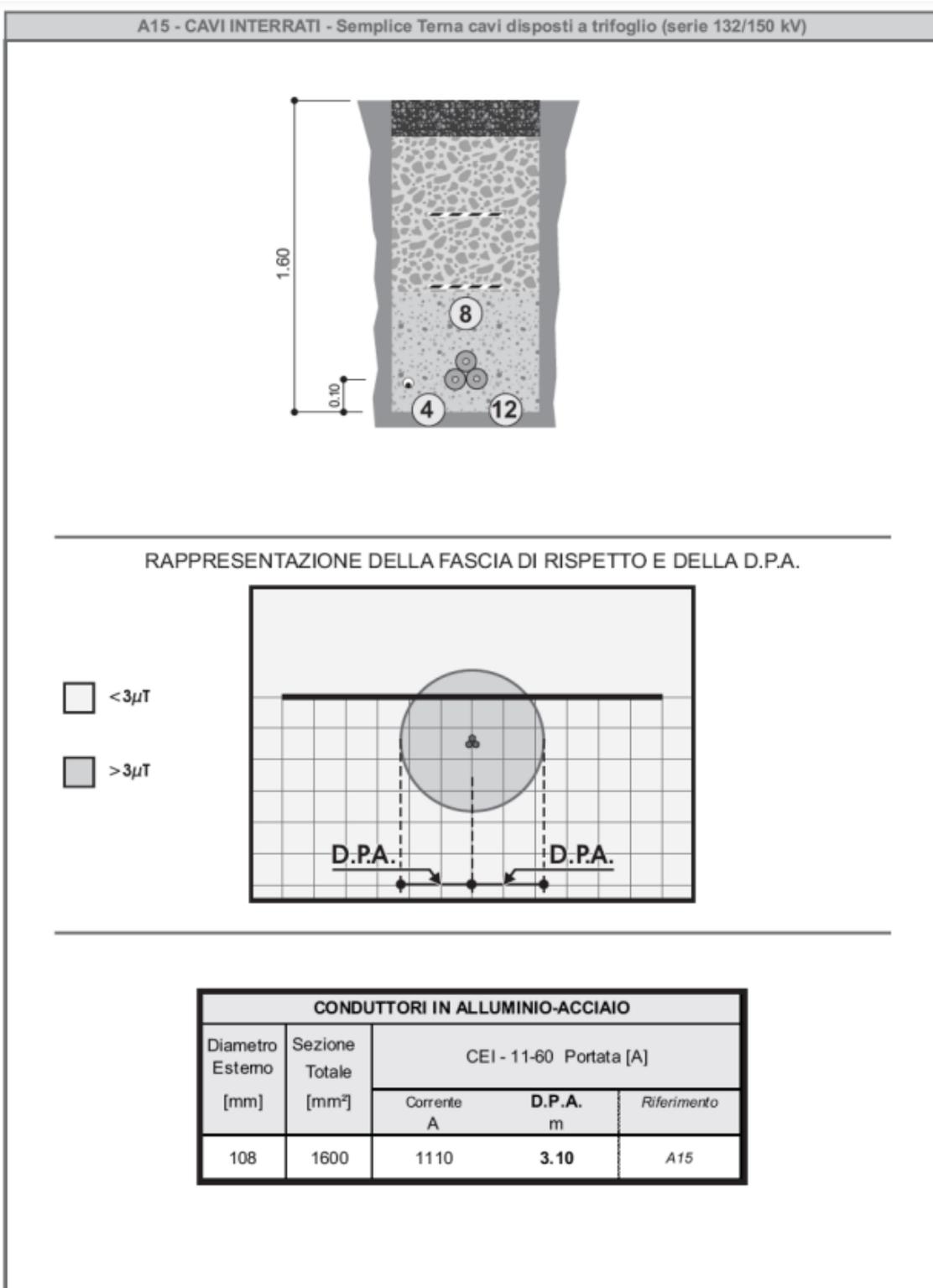


Figura 5: determinazione fascia di rispetto e DPA di cavidotto AT interrato composto da terna di cavi a trifoglio (scheda A15- Enel S.p.A.)

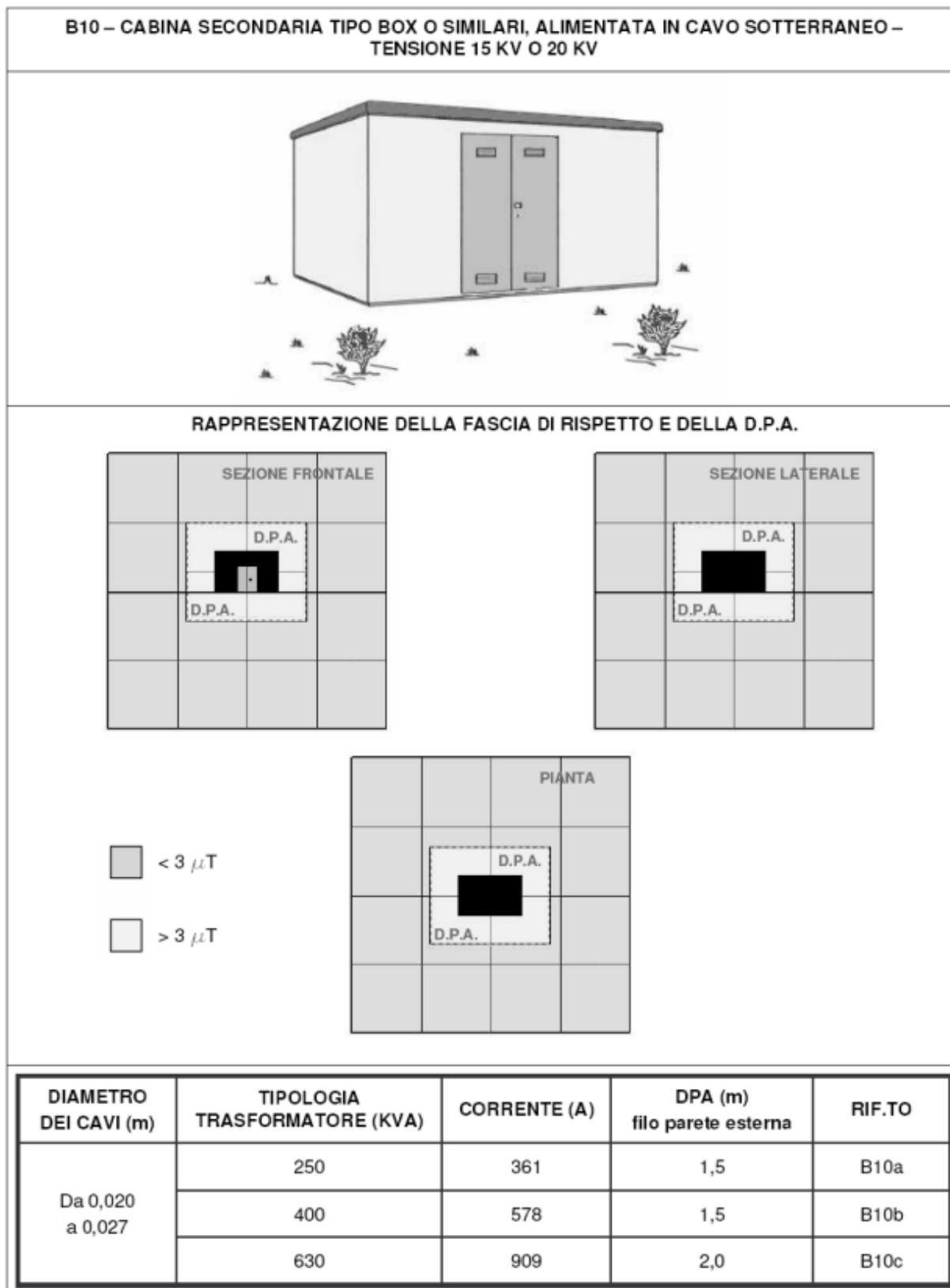


Figura 6: determinazione fascia di rispetto e DPA di Cabina secondaria (scheda B10- Enel S.p.A.)

6.3 CONCLUSIONI E DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)

Alla luce dei calcoli eseguiti, non si riscontrano problematiche particolari relative all'impatto elettromagnetico dei componenti dell'impianto Fotovoltaico in oggetto ed in particolare delle Cabine elettriche, i cavidotti e la Sottostazione Utente (SSE), 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.

Per quanto concerne il sistema di linee di connessione del trasformatore AT/MT e apparecchiature elettromeccaniche all'interno della SSE, abbiamo visto che la D PA calcolata ricade all'interno della SSE stessa e quindi non genera rischi di esposizione prolungata ai campi elettromagnetici, dal momento che si tratta di *Officina Elettrica* a cui è consentito l'accesso di personale specializzato, peraltro in modo saltuario e non continuativo (per tempi non superiori alle 4 ore).

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:

Impianto fotovoltaico

<u>Gruppo Inverter/Trasformatori:</u>	4 m in tutto il loro intorno;
<u>Cavidotti MT interni all'impianto fotovoltaico</u>	2 m in tutto l'intorno
<u>Cabina di Raccolta</u>	4 m in tutto il loro intorno.

Cavidotti MT (di connessione alla RTN)

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