



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA  
COMUNI DI VILLASOR E DECIMOPUTZU**  
Provincia del Sud Sardegna (SU)



**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO  
AGROVOLTAICO AVANZATO DENOMINATO VILLASOR Z**

Loc. "Sartu Is Coccus" 09034 Villasor (SU) e Loc. Mitza Cannas 09010 Decimoputzu (SU) - Sardegna, Italia

Potenza Nominale: Impianto FV 62'080,98 kWp

	<p><b>Committente - Sviluppo progetto FV:</b></p> <p><b>Apollo Villasor S.r.l.</b> Viale della Stazione n. 7 - 39100 Bolzano (BZ) P.IVA 03167130214, PEC: apollovillasor@legalmail.it</p>	<p><b>Gruppo di lavoro La SIA S.p.A.</b></p> <p>Riccardo Sacconi - Ingegnere Civile Antonio Dedoni - Ingegnere Idraulico Giulio Alberto Arca - Archeologo Marta Camba - Geologo Francesco Paolo Pinchera - Biologo</p> <p><b>Progettazione Agronomica (La SIA S.p.A.)</b></p> <p>Agr. Stefano Atzeni - Agronomo Agr. Franco Milito - Agronomo</p> <p><b>Progettazione Elettrica</b></p> <p>Ing. Silvio Matta – Ing. Elettrico</p>
	<p><b>Coordinamento Progettisti</b></p> <p><b>Innova Service S.r.l.</b> Via Santa Margherita n. 4 - 09124 Cagliari (CA) P.IVA 03379940921, PEC: innovaserviceca@pec.it</p>	
	<p><b>Coordinamento gruppo di lavoro</b></p> <p><b>La SIA S.p.a.</b> Viale Luigi Schiavonetti n. 286 – Roma (RM) P.IVA 08207411003, PEC: direzione.lasia@pec.it</p>	

Elaborato

**RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI**

Codice elaborato		Scala	Formato	
REL_SP_CAME				
REV.	DATA	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Maggio 2024	Ing. S. Matta	Innova Service S.r.l.	Apollo Villasor S.r.l.

Note

---

## **SOMMARIO**

<b>1) PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2) DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>3</b>
<b>3) NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>4</b>
<b>4) DESCRIZIONE SOMMARIA DEGLI IMPIANTI</b>	<b>6</b>
<b>5) CAMPI IN PROSSIMITA' DELLE LINEE IN AT E DELLE CABINE</b>	<b>11</b>
<b>6) CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI</b>	<b>13</b>
<b>7) SCHEMI E SCHEDE PER I CALCOLI</b>	<b>20</b>
<b>8) CONCLUSIONI</b>	<b>25</b>

---

## 1) PREMESSA

Scopo del presente documento è quello di descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche presenti nell'impianto Agrovoltaiico Avanzato in progetto e ad esso connesse, che sarà ubicato in località 'Sartu is Coccus e Mitza Cannas', nel territorio dei Comuni di VILLASOR (SU) e di Decimoputzu (SU), ai fini della verifica del rispetto dei limiti della legge n.36/2001 e dei relativi Decreti attuativi.

L'impianto Agrovoltaiico Avanzato, avrà potenza complessiva installata di **62'080.98 kWp**, potenza nominale di 58'200.00 kW, **potenza in Immissione su RTN pari a 58'200 kW**, e con un sistema di Accumulo dell'energia elettrica in forma elettrochimica (BESS) con una potenza di 16'500 kW ed energia pari a 49'500 kWh.

In particolare saranno valutate le emissioni elettromagnetiche dovute alle cabine elettriche e ai cavidotti presenti all'interno dell'impianto agrovoltaiico avanzato, individuando, in base al DM del MATTM del 29.05.2008, le DPA associate a tali opere.

Nel presente studio sono state prese in considerazione le condizioni maggiormente significative al fine di valutare la rispondenza ai requisiti di legge dei nuovi elettrodotti all'interno del campo, assumendo per il calcolo le ipotesi di funzionamento più gravose.

## 2) DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- 1) DPCM 8 luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".
- 2) DL 9 aprile 2008 n° 81 "Testo unico sulla sicurezza sul lavoro"
- 3) Norma CEI 0-2 "Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici"
- 4) Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche"
- 5) Norma CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo"
- 6) DM del MATTM del 29.05.2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti"

---

### 3) NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici si riferisce alla legge 22/2/01 n°36 che è la legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici completata a regime con l'emanazione del D.P.C.M. 8.7.2003.

Nel DPCM 8 Luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti", vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti. In particolare negli articoli 3 e 4 vengono indicate le seguenti 3 soglie di rispetto per l'induzione magnetica:

*"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  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci" [art. 3, comma 1];*

*"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  $\mu$ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio." [art. 3, comma 2];*

*"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  $\mu$ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio". [art. 4]*

L'obiettivo qualità da perseguire nella realizzazione dell'impianto è pertanto quello di avere un valore di intensità di campo magnetico **non superiore ai 3 $\mu$ T** come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. A tal proposito occorre precisare che nelle valutazioni che seguono è stata considerata normale condizione di esercizio quella in cui l'impianto FV trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima potenza (58'200 kW).

Come detto, il 22 Febbraio 2001 l'Italia ha promulgato la Legge Quadro n.36 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) a copertura dell'intero intervallo di frequenze da 0 a 300.000 MHz.

Tale legge delinea un quadro dettagliato di controlli amministrativi volti a limitare l'esposizione umana ai CEM e l'art. 4 di tale legge demanda allo Stato le funzioni di stabilire, tramite Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri: i livelli di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, le tecniche di misurazione e rilevamento.

Il 28 Agosto 2003 G.U. n.199, è stato pubblicato il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 Luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalla esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz".

L'art. 3 di tale Decreto riporta i limiti di esposizione e i valori di attenzione indicati nelle Tabelle 1 e 2:

---

**Tabella 1: Limiti di esposizione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003:**

<b>Intervallo di FREQUENZA (MHz)</b>	<b>Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)</b>	<b>Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)</b>	<b>DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m<sup>2</sup>)</b>
0,1-3	60	0,2	-
>3 – 3'000	20	0,05	<b>1</b>
>3000 – 300'000	40	0,01	<b>4</b>

**Tabella 2: Valori di attenzione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003 in presenza di aree, all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore:**

<b>Intervallo di FREQUENZA (MHz)</b>	<b>Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)</b>	<b>Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)</b>	<b>DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m<sup>2</sup>)</b>
0,1 – 300'000	6	0,016	0,10 (3 MHz – 300 GHz)

L'art. 4, invece, riporta i valori di immissione che non devono essere superati in aree intensamente frequentate, così come riportato in Tabella 3:

**Tabella 3 Obiettivi di qualità di cui all'art.4 del DPCM 8 luglio2003 all'aperto in presenza di aree intensamente frequentate:**

<b>Intervallo di FREQUENZA (MHz)</b>	<b>Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)</b>	<b>Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)</b>	<b>DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m<sup>2</sup>)</b>
0,1 – 300'000	6	0,016	0,10 (3 MHz – 300 GHz)

Per quanto riguarda la metodologia di rilievo il D.P.C.M. 8 Luglio 2003 fa riferimento alla norma CEI 211-7 del Gennaio 2001.

---

## 4) DESCRIZIONE SOMMARIA DEGLI IMPIANTI

### Generalità

L'impianto Agrovoltaiico Avanzato in progetto sorgerà all'interno di una vasta area pianeggiante individuata a circa 4 km dai paesi vicini, in località 'Sartu is Coccus e Mitza Cannas', nel territorio dei Comuni di VILLASOR (SU) e di Decimoputzu (SU).

Per tale impianto è previsto il collegamento elettrico alla rete di distribuzione di TERNA tramite una nuova linea elettrica come descritto sulla STMG, che recita: <<il Vostro impianto verrà ...la Vs. centrale venga collegata in antenna a 36 kV su una futura Stazione Elettrica (SE) della RTN 150/36 kV da inserire in entra-esce alle linee a 150 kV "Tuili – Villasor" e "Taloro – Villasor".>>.

La linea avrà origine dalla Cabina di Raccolta Generale C-00 sita a bordo impianto, con una lunghezza simata in circa 750 metri.

Allo stato attuale del progetto la nuova SE risulta definita almeno sommariamente nella sua posizione finale e, pertanto, si rimanda ai rispettivi elaborati di progetto per tutti i dettagli relativi all'esatto percorso dell'elettrodotta e alle sue caratteristiche tecniche specifiche.

Il progetto prevede la costruzione e l'esercizio di un impianto Agrovoltaiico Avanzato, di tipo "a terra", con pannelli FV posizionati su Tracker monoassiali ad asse N-S, con formazione 1P, azimuth=0°, Tilt= ±60°, distanza tra le carpenterie pari a 0.5 m, e distanza tra le file (Pitch) pari a 5.5 m.

La potenza complessiva installata a terra è pari a 62'080.98 kWp, la potenza nominale in uscita dagli inverter è di 58'200.00 kW, e la potenza in immissione alla RTN (P.O.I.) è stata stimata in 58'200 kW.

L'impianto prevede l'utilizzo di pannelli fotovoltaici monocristallini di tipo bifacciale con potenza di 710 Wp, collegati elettricamente in stringhe da 26 pannelli; meccanicamente è previsto l'utilizzo di strutture Tracker delle seguenti tipologie:

Struttura Media	(1x13)	246	2'270'580
Struttura Grande	(1x26)	3'240	59'810'400
<b>Strutture Totali:</b>		<b>3'486</b>	<b>62'080'980</b>

Complessivamente saranno connessi 87'438 pannelli fotovoltaici a formare 3'363 stringhe di 26 pannelli ciascuna, la cui energia sarà convertita dalla forma "continua" a quella "alternata" mediante 194 inverter trifase tipo HUAWEI tipo HUAWEI-SUN2000-330KTL-H1 da 300 kW, dislocati all'aperto in apposite strutture di supporto e posizionati in maniera baricentrica rispetto alle aree da essi servite.

<b>Totale:</b>			
Pannelli:			87'438
Stringhe:			3'363
Cabine / Trafo			19
Inverter:			194
Pot a terra:			62'080'980
Pot OUT (P.O.I.):			58'200'000

---

L'impianto è internamente suddiviso in 19 Aree, contenenti ciascuna la propria "Cabina di Raccolta di Area" con al suo interno di un trafo da 3.30 MVA e da 2.40 MVA che raccoglierà l'energia prodotta dagli inverter di quell'area.

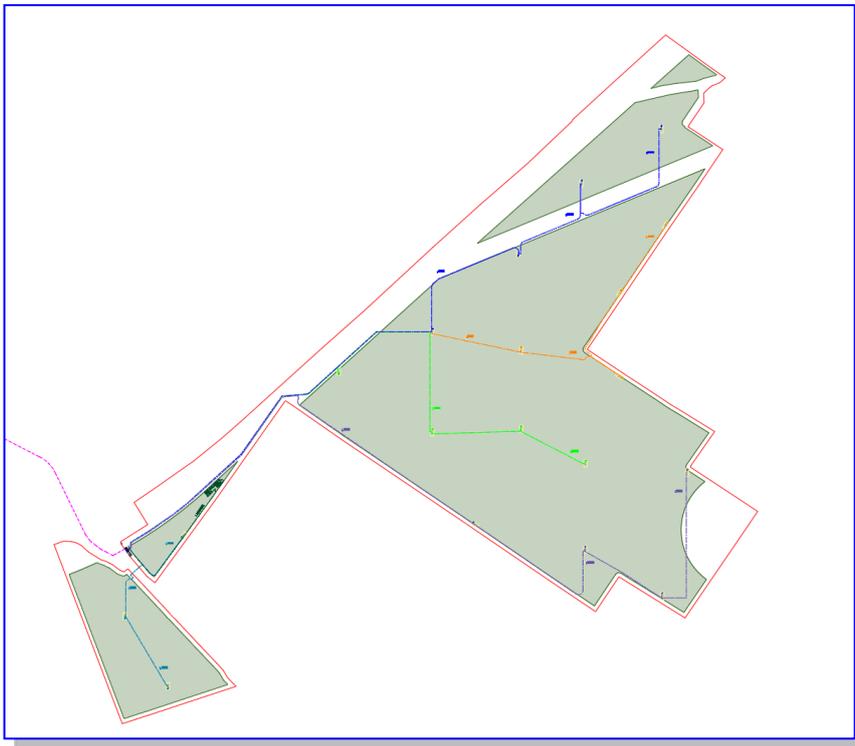
Le stringhe immettono l'energia dei pannelli tramite linee elettriche in corrente continua alla tensione di circa **1'132 V**.

Gli inverter trasformano la potenza ricevuta e la erogano ad una tensione di 800 V trifase alternata, veicolandola tramite apposite linee elettriche interrato verso i rispettivi dispositivi di sezionamento e protezione (interruttori) presenti all'interno delle Cabine di Raccolta di Area (Power Station). La linea di collegamento tra il Quadro Elettrico Generale di BT e il trafo BT/AT porta l'energia captata fino al trasformatore appunto, per effettuare la modifica dei valori di tensione e corrente.

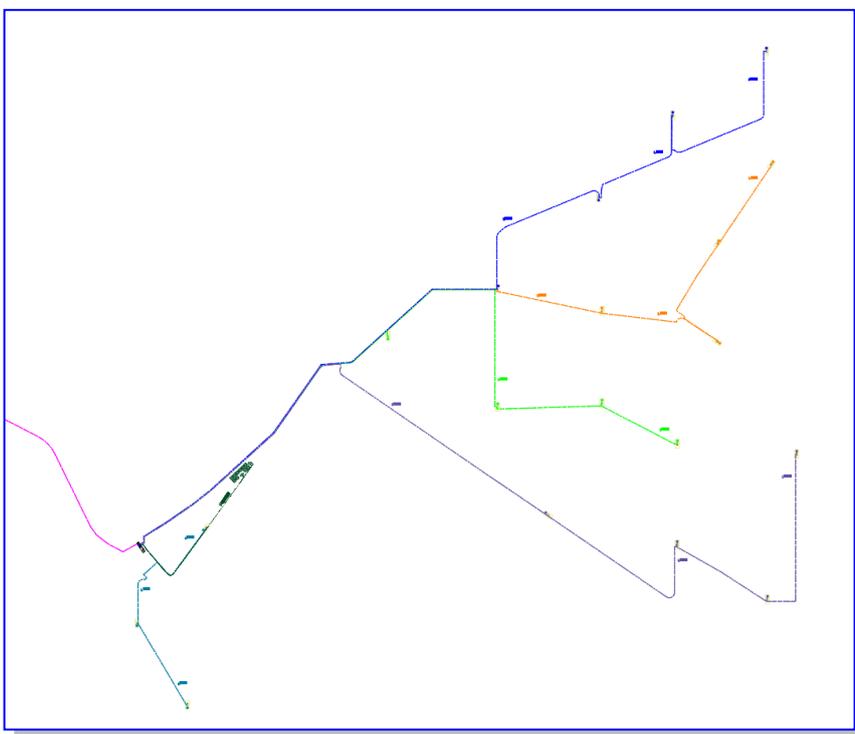
I trasformatori elevatori all'interno di ciascuna cabina BT/AT, presumibilmente del tipo in resina a secco, ricevono dagli inverter l'energia ad una tensione di 800 V a.c. trifase e la elevano a 36 kV per la successiva trasmissione su lunga distanza su apposito elettrodotto interrato che viaggia all'interno del campo fv fino alla Cabina Generale di Raccolta a bordo lotto e, uscendo dalla C-00, fino alla S.E. di collegamento dell'impianto alla RTN.



*Planimetria generale dell'impianto agrovoltaiico avanzato e del cavidotto di collegamento tra l'impianto FV e la RTN di TERNA, con indicazione anche della nuova S.E. a cui l'impianto FV verrà collegato.*



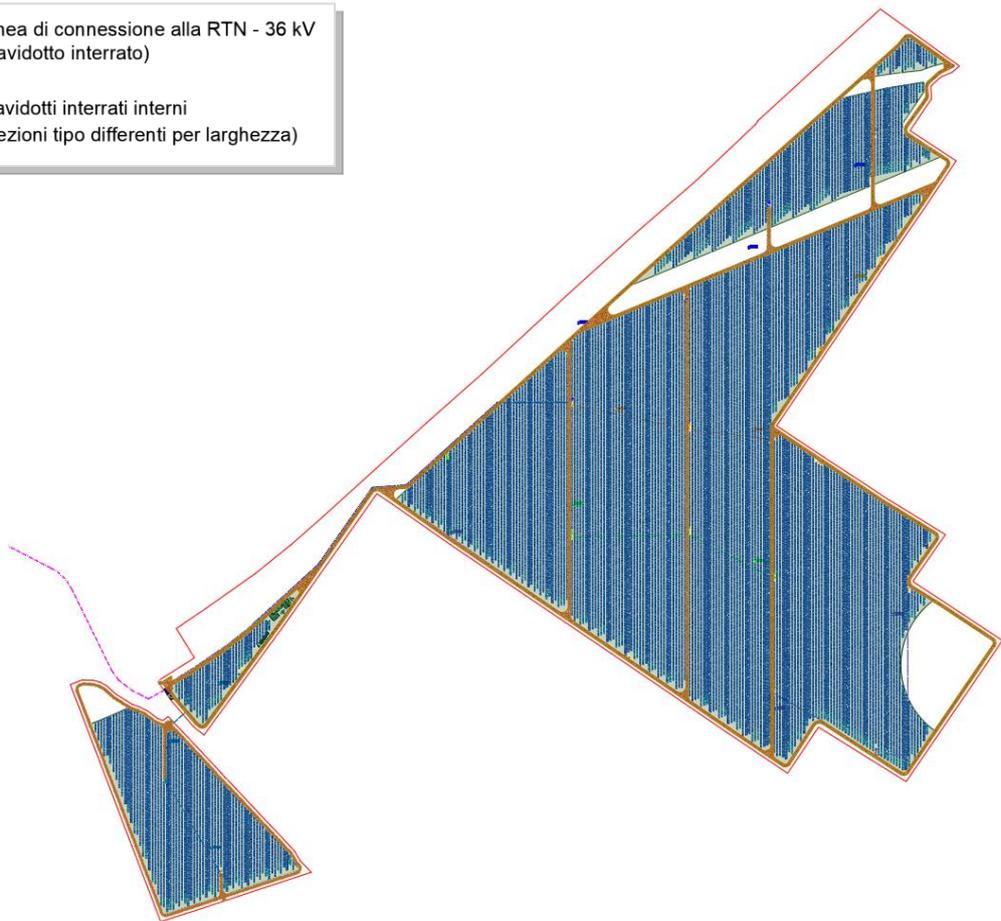
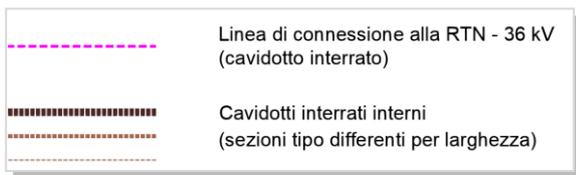
*Layout dell'impianto FV, con linee interne di trasporto dell'energia prodotta.*



*Schema per il collegamento delle Cabine di Raccolta di Area e dei cavidotti interrati in AT a 36 kV per la loro connessione alla Cabina di Raccolta Generale. Per ulteriori dettagli si rimanda alle relative tavole di progetto.*

Cabina N°	P out:	Tipo	Linea-1	Linea-2	Linea-3	Linea-4	Linea-5
Cabina-01	2'400'000	2 x	2'400'000				
Cabina-02	2'400'000	2 x	2'400'000				
Cabina-03	3'300'000	1		x 3'300'000			
Cabina-04	3'300'000	1 x	3'300'000				
Cabina-05	3'300'000	1		x 3'300'000			
Cabina-06	3'300'000	1 x	3'300'000				
Cabina-07	3'300'000	1		x 3'300'000			
Cabina-08	3'300'000	1			x 3'300'000		
Cabina-09	3'300'000	1		x 3'300'000			
Cabina-10	3'300'000	1			x 3'300'000		
Cabina-11	3'300'000	1			x 3'300'000		
Cabina-12	3'300'000	1				x 3'300'000	
Cabina-13	3'300'000	1			x 3'300'000		
Cabina-14	3'300'000	1				x 3'300'000	
Cabina-15	3'300'000	1				x 3'300'000	
Cabina-16	3'300'000	1				x 3'300'000	
Cabina-17	2'400'000	2					x 2'400'000
Cabina-18	2'400'000	2					x 2'400'000
Cabina-19	2'400'000	2					x 2'400'000
POI:	58'200'000		13'400'000	13'200'000	13'200'000	13'200'000	7'200'000
Lungh. Scavi (m):	8'179.00		1'953.00	1'857.00	1'635.00	2'154.00	580.00
Lungh. Linee (m):	9'534.00		3'000.00	1'955.00	1'660.00	2'172.00	747.00
Tensione:			36 kV	36 kV	36 kV	36 kV	36 kV
Potenza:			11.4 MW	13.2 MW	13.2 MW	13.2 MW	7.2 MW
Corrente:			192.45 A	222.84 A	222.84 A	222.84 A	121.55 A

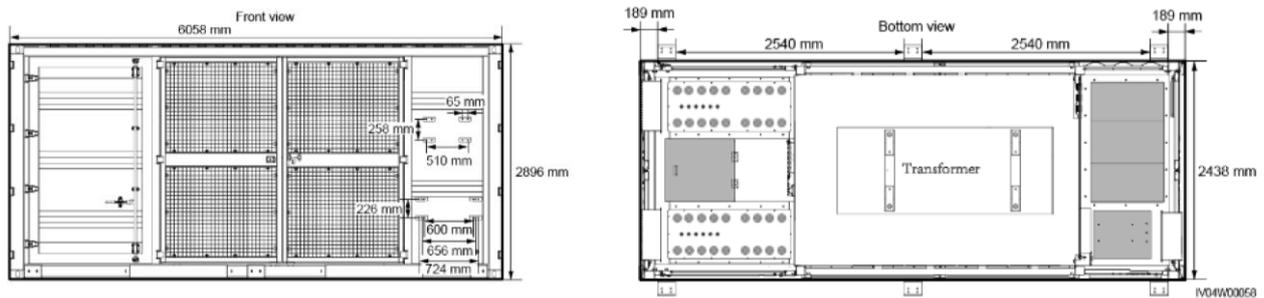
Ripartizione delle potenze su relative linee elettriche di connessione alle Cabine di campo (Power Station), e loro raggruppamento.



Planimetria delle linee a 36 kV (cavidotti interrati) per il collegamento delle Cabine di Raccolta di Area alla Cabina di Raccolta Generale (C-00), e tabella di ripartizione delle potenze delle Cabine di Raccolta di Area sulle linee dorsali in AT interne al Campo.

## Cabine elettriche di Campo (Cabine di Raccolta di Area)

Le Cabine di Raccolta di Area saranno del tipo prefabbricato, su apposito box-container metallico, munite di accessi con porte in metallo e griglie di areazione grigliato metallico. Il basamento di fondazione, anch'esso prefabbricato, sarà del tipo a vasca, posate se necessario su basamento in cls cementizio di livellamento e ripartizione carichi al suolo. Nel caso sia presente all'interno un trasformatore in Olio, la stessa sarà dotata di apposita vasca di raccolta per eventuali fuoriuscite di olio dal trasformatore, secondo quanto previsto dalle attuali normative in materia. Per le caratteristiche tecniche si rimanda alla consultazione delle relative schede tecniche.

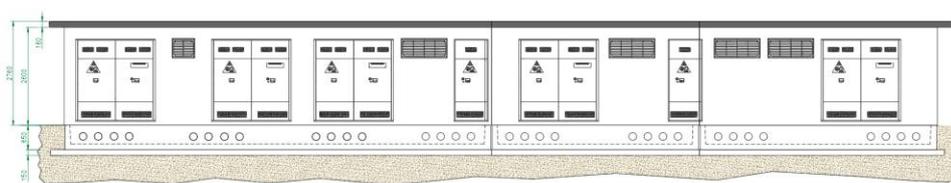


## Cabina elettrica di Campo (Cabina di Raccolta Generale)

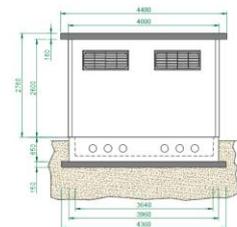
La Cabina di Raccolta Generale, unica, a cui conferiranno energia tutte le 19 cabine interne dell'impianto agrivoltaico, sarà del tipo prefabbricato in c.a.v. in monoblocco, munita di accessi con porte in metallo e griglie di aereazione anch'esse in metallo o in vetroresina. Il basamento di fondazione, anch'esso prefabbricato, sarà del tipo a vasca, posate se necessario su basamento in cls cementizio di livellamento e ripartizione carichi al suolo. Per le caratteristiche tecniche si rimanda alla consultazione delle relative schede tecniche.

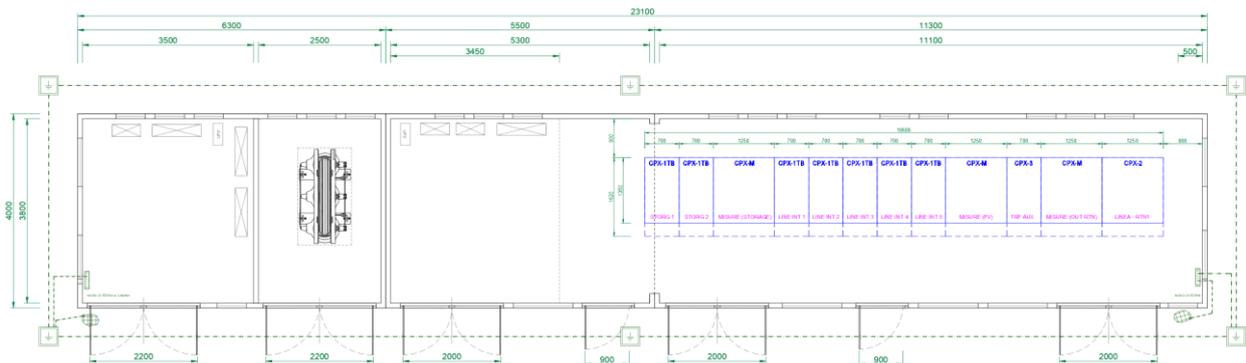
Tale cabina conterrà al suo interno tutti i dispositivi di sezionamento e protezione per le linee in AT in arrivo dalle diverse Cabine di Area in cui è stato suddiviso l'impianto e dalle sezioni di Storage. Inoltre saranno presenti i dispositivi per la protezione dell'intero impianto (dispositivi di interfaccia) e quelli per il sezionamento e protezione della linea elettrica che collegherà l'impianto FV alla RTN di TERNA. La cabina non contiene al suo interno trasformatori di potenza ma, se dal caso, solo un piccolo trasformatore per alimentare i servizi ausiliari indispensabili al funzionamento della cabina stessa.

PROSPETTO ANTERIORE



PROSPETTO LATERALE

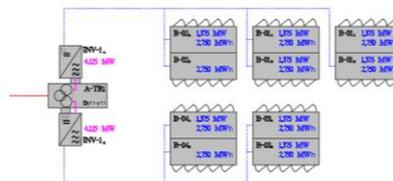
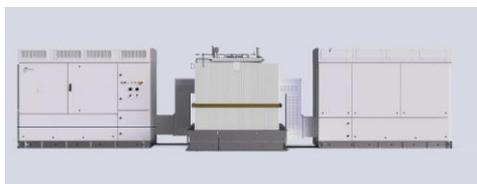




## ▪ Sistema di Storage

Il sistema di Storage previsto per questo impianto sarà di tipo “modulare” e composto da un certo numero di container metallici all’interno dei quali sono immagazzinate le batterie e i sistemi elettronici di potenza del sistema.

La configurazione adottata prevede un gruppo “trafo-inverter doppio” già ingegnerizzati e assemblati in forma compatta, alimentati da un sistema modulare di container contenenti le batterie e i sistemi di gestione e controllo delle stesse, come schematicamente indicato di seguito:



Le batterie sono disposte in rack all’interno dei container, e sono messe in parallelo tramite dei bus che a loro volta le collegano agli inverter. Le potenze in gioco sono di circa 1,375 MW per container e pertanto inferiori alle potenze già viste per le Cabine di Raccolta di Area ( 3.30 MW) da cui si può dedurre che anche le DPA siano inferiori secondo quanto già descritto.

## 5) CAMPI IN PROSSIMITA’ DELLE LINEE IN AT E DELLE CABINE

Quando si parla degli elettrodotti per il trasporto e la distribuzione dell’energia elettrica, date le elevate tensioni e correnti in gioco, non si può non pensare alle elevate intensità di campo elettrico e magnetico da essi generati.

---

La linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico e un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale alla corrente che vi circola.

Entrambi i campi (B ) tuttavia decrescono molto rapidamente con la distanza e, inoltre, nel caso di cavidotti e cavi interrati come in questo progetto la presenza dello schermo e la relativa vicinanza dei conduttori delle tre fasi elettriche **rende di fatto il campo elettrico praticamente nullo ovunque**. Pertanto il rispetto della normativa vigente in corrispondenza dei recettori sensibili è **sempre garantito** indipendentemente dalla distanza degli stessi dall'elettrodotto.

### ▪ **Andamento dei campi**

Alla frequenza di 50 Hz, le componenti del campo magnetico ed elettrico possono essere considerate separatamente. Esaminiamo, allora, distintamente.

*Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della linea e si attenua, allontanandosi da essa, come l'inverso della distanza dai conduttori.*

Contrariamente alle correnti, i valori efficaci delle tensioni sulle linee non variano in maniera apprezzabile nel tempo: l'intensità del campo elettrico può considerarsi, quindi, praticamente costante. La configurazione della linea, se a singola oppure a doppia terna, influenza il campo così come, nelle linee a doppia terna, la disposizione delle fasi di ciascuna terna. L'andamento ed il valore massimo delle intensità dei campi dipenderà anche dalla disposizione e dalle distanze tra i conduttori della linea.

Anche il **campo magnetico**, così come il campo elettrico, è dato dalla risultante di tre contributi, in questo caso, le tre correnti del sistema trifase. Dall'intensità di tali correnti e dall'ordine delle fasi dipenderà l'ampiezza del campo magnetico.

Inoltre, poichè dipende dalle correnti in transito che, durante la giornata, possono variare sensibilmente, allora il campo magnetico non sarà costante durante la giornata, ma negli andamenti temporali sarà possibile individuare dei valori minimi, in genere nelle ore notturne, e dei valori massimi, in corrispondenza delle ore di maggiore irraggiamento solare dell'impianto fv.

Rispetto a quanto visto per il campo elettrico, **il campo magnetico decade molto rapidamente allontanandosi dalle linee.**

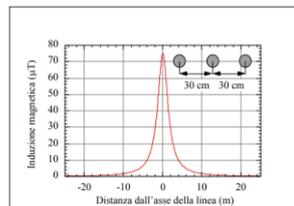
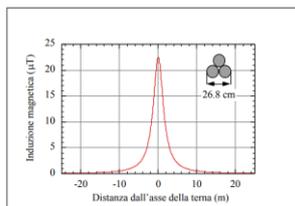
### ▪ **I cavi interrati**

Attualmente le linee interrate sono una delle soluzioni possibili per ridurre l'intensità dei campi. La possibilità di poter avvicinare i conduttori consente di ridurre l'intensità del campo elettrico e magnetico rispetto alle linee aeree.

---

Le linee interrate sono formate da terne trifasi in cavo, **disposte linearmente** sullo stesso piano, secondo una disposizione detta a terna piana, oppure **disposte a triangolo**, secondo una disposizione detta a trifoglio. Per la trasmissione di energia elettrica ad alte tensioni viene utilizzato un cavo isolato con polietilene reticolato (XLPE).

Nelle Figure sottostanti, come esempio, sono riportati gli andamenti teorici del campo di induzione magnetica al suolo, relativi ad una terna piana ed a triangolo di cavi, interrati alla profondità di 1.5 m dal suolo. Il cavo utilizzato è in XLPE.



Il campo elettrico, non riportato nelle figure, risulta ridotto in maniera significativa data la possibilità di avvicinare i cavi e per l'effetto schermante dovuto alla guaina metallica ed al terreno.

La riduzione del campo elettrico, operata grazie all'effetto combinato dell'azione schermante del terreno e dalla maggior prossimità reciproca tra i conduttori della linea, è in parte annullata dalla possibilità, per gli individui, di avvicinarsi maggiormente ai conduttori stessi, che sono di solito interrati a soli 1.5 m di profondità.

Al contrario, il campo magnetico non risente di questi effetti schermanti ed in particolare sull'asse di una terna interrata assume un valore massimo più elevato di quello prodotto da una linea aerea che trasporta la stessa potenza.

## 6) CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

### 6.1 CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO AGROVOLTAICO AVANZATO

#### 6.1.1 Moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente continua, per cui la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente (durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento), peraltro di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici secondo la Norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono pertanto menzionate prove di compatibilità elettromagnetica **poiché assolutamente irrilevanti**.

#### 6.1.2 Inverter

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi pertanto sono costituiti per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze.



---

D'altro canto il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo).

A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) (CEI EN 50273 (CEI 95-9), CEI EN 61000-6-3 (CEI 210-65), CEI EN 61000-2-2 (CEI 110-10), CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31), CEI EN 61000-3-3 (CEI 110-28), CEI EN 55022 (CEI 110-5), CEI EN 55011 (CEI 110-6)).

Tra gli altri aspetti queste norme riguardano:

- i livelli armonici: le direttive del gestore di rete prevedono un THD globale (non riferito al massimo della singola armonica) inferiore al 5% (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10). Gli inverter scelti presentano un THD globale inferiore all' 1%;
- i disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in sovrapposizione alla trasmissione di energia sulle proprie linee;
- le variazioni di tensione e frequenza. Gli effetti sulla rete di tali variazioni sono limitati dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia. Tuttavia, le fluttuazioni di tensione e frequenza hanno per lo più origine dalla rete stessa; si rendono quindi necessarie finestre di taratura abbastanza ampie per evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto fv;
- la componente continua immessa in rete. La presenza del trasformatore elevatore permette di bloccare tale componente. Ad ogni modo, anche il dispositivo di interfaccia di ogni inverter interviene in presenza di componenti continue maggiori dello 0,5% della corrente nominale.

Le questioni di compatibilità elettromagnetica concernenti i buchi di tensione (fino ai 3 s in genere) sono in genere dovute al coordinamento delle protezioni effettuato dal gestore di rete locale.

### **6.1.3 Linee elettriche in corrente alternata interne all'impianto FV**

Per quanto riguarda il **rispetto delle distanze da ambienti presidiati** ai fini dei campi elettrici e magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta legislazione a **3  $\mu$ T**, anche se per la particolarità dell'impianto le aree al suo interno sono da classificare ai sensi della normativa come luoghi di lavoro, e quindi con livelli di riferimento maggiori rispetto a questi ultimi, in quanto frequentate da persone professionalmente esposte.

Si precisa peraltro che il tracciato dei cavi BT ed AT si sviluppa completamente all'interno dell'impianto agrovoltaiico avanzato stesso, e inoltre le linee elettriche transitano su cavidotti interrati (quelle in AT prevedono una profondità minima di posa di 1.50 m) per l'intera lunghezza dei percorsi, che vanno da ciascuna Cabina di Raccolta di Area alla Cabina di Raccolta Generale.

Per quanto riguarda invece l'elettrodotto di connessione tra l'impianto e la nuova SE della RTN di Terna, con livello di tensione pari a 36 kV, si rimanda al relativo paragrafo successivo, e per maggiori dettagli ai relativi elaborati di progetto.

Il livello di tensione previsto in uscita dall'impianto fv, così come il livello di tensione previsto per la nuova connessione che si richiede all'Ente Gestore della RTN, è pari a 36 kV in osservanza alla nuova tipologia di soluzione tecnica di connessione alla RTN per gli impianti di produzione indicate nella ultima versione dell'Allegato A.2 del Codice di Rete

---

del 15/10/2021 (TERNA), che dovrebbe consentire una "migliore integrazione degli impianti di produzione di energia elettrica di potenza fino a 100 MW attraverso soluzioni di connessione alla RTN più efficienti e adeguate alla taglia dei medesimi impianti di produzione".

Questo nuovo livello di tensione dal punto di vista della attuale normativa è classificato come alta tensione (AT) e tuttavia, considerando il fatto che 36 kV è una tensione che si discosta poco da 30 kV (diversamente dai successivi livelli di "Alta Tensione" standardizzati nelle RTN quali il 110 kV, 150 kV e superiori), e pertanto si può ragionevolmente ritenere che le considerazioni e gli andamenti qualitativi dei campi elettrici e magnetici di una linea da 36 kV siano poco dissimili da quelli di una linea a 30 kV, anche in virtù del fatto che queste grandezze sono in funzione della frequenza, tensione e soprattutto della corrente in gioco.

Per quanto riguarda il **rispetto delle distanze da ambienti presidiati** ai fini dei campi elettrici e magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta legislazione a **3  $\mu$ T**, anche se per la particolarità dell'impianto le aree al suo interno sono da classificare ai sensi della normativa come luoghi di lavoro, e quindi con livelli di riferimento maggiori rispetto a questi ultimi, in quanto frequentate da persone professionalmente esposte.

Si evidenzia dunque che per il trasporto della potenza prodotta dall'intero campo agrovoltaiico avanzato il progetto prevede l'impiego di cavi AT a 36 kV con posa interrata, di tipo tripolare (per correnti e relativi campi di minor valore) o unipolare con disposizione in linea o a triangolo, per i quali si ritiene valga quanto riportato nella norma CEI 106-11 e nella norma CEI 11-17.

Inoltre, come illustrato nella suddetta norma CEI 106-11 la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di  $3\mu$ T, anche in condizioni limite con conduttori di sezione elevata, venga raggiunto già a brevissima distanza dall'asse del cavo stesso. Si fa notare anche il fatto che anche il recente decreto del 29.05.2008, sulla determinazione delle fasce di rispetto, ha esentato dalla procedura di calcolo le linee MT in cavo interrato e/o aereo con cavi elicordati, pertanto a tali fini si ritiene valido quanto riportato nella norma richiamata.

Ne consegue che in tutti i tratti realizzati mediante l'uso di cavi elicordati si può considerare che l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia pari a 2,0 m, a cavallo dell'asse del cavidotto, pertanto all'interno della fascia di asservimento della linea. L'ampiezza della fascia di rispetto sale a 3,0 metri per la sola linea per connettere l'intero impianto alla RTN (per il fatto che il cavo risulta comunque interrato a un'aprofondità di 1.60m dal livello del terreno), secondo quanto indicato nei paragrafi successivi.

Discorso analogo ovviamente per i tratti in cui il cavidotto interrato prevede il passaggio di più linee in AT parallele che ovviamente sommano la potenza che trasportano ai fini degli effetti (semplificazione), nell'ultima porzione di percorso in cui le stesse si riuniscono per giungere alla Cabina di Raccolta Generale di impianto.

Tuttavia, nel momento in cui sono presenti più terne, per il calcolo dell'induzione magnetica generata in un dato punto da tutte le terne congiuntamente, è stata fatta una stima con somma aritmetica delle correnti che ogni terna trasporterebbe da sola. La sovrapposizione di tipo aritmetico non è quello che avviene generalmente nella realtà, perché la composizione dei contributi di ogni singola terna, al valore totale dell'induzione magnetica, andrebbe considerata come una somma vettoriale di fasori.

Lo scegliere una somma aritmetica e non vettoriale è giustificato dalle seguenti assunzioni:

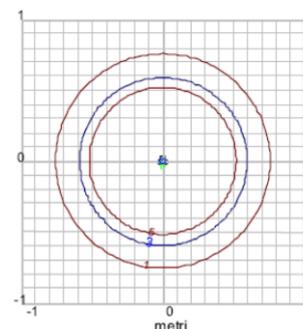


Figura 5.1.3 a: Curve di equilivello per il campo magnetico di una linea interrata (da CEI 106-11)

---

1. La somma aritmetica è cautelativa. Infatti, la somma vettoriale coincide con la somma aritmetica solo in caso di sincronismo temporale dei vettori di induzione magnetica associati ad ogni singola terna, e nel caso di un impianto fv possiamo dire con ragionevole certezza che tutte le aree saranno in “produzione” negli stessi intervalli di tempo e, poichè tutte le linee convergono verso la Cabina di Raccolta Generale, tutte le correnti fluiscono nella stessa direzione.

2. L’induzione magnetica generata da una singola terna varia sia longitudinalmente che valutandola su una circonferenza centrata sull’asse della terna elicordata stessa. Componendo le induzioni magnetiche delle varie terne, può accadere la precedente condizione di sincronismo di fase. Quindi, dal punto di vista radio-protezionistico, il considerare una somma aritmetica è un obbligo piuttosto che una scelta.

Per quanto riguarda invece l’elettrodotto di connessione tra l’impianto agrovoltaiico avanzato e la nuova SE della RTN di Terna, con livello di tensione pari a 36 kV, si rimanda al relativo elaborato di progetto per maggiori dettagli.

#### 5.1.4 Cabine di Raccolta di Area

Per le Cabine di Raccolta di Area (cabine elettriche di campo) la principale sorgente di emissione è il trasformatore BT/AT, della potenza di 2.40 MVA e di 3.30 MVA.

In questo caso, in base al DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1, l’ampiezza delle DPA si determina come di seguito descritto:



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, come riportati negli **allegati A e B** della presente Linea Guida, rispettivamente per linee AT/Cabine Primarie e per linee MT/Cabine Secondarie.

Tale determinazione si basa sulla corrente di bassa tensione del trasformatore e considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore. Per determinare le DPA si applica la formula di cui al citato cap.5.2.1 e cioè:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 \cdot x^{0,5242}$$

dove:

DPA = distanza di prima approssimazione (m) [da arrotondare al mezzo metro superiore]

I = corrente nominale (A)

X = diametro dei cavi (m)

Pertanto si hanno i seguenti:

Corrente di calcolo:

L'impianto è internamente suddiviso in 19 aree, con le seguenti tipologie di cabine:

- Tipo I - Trafo da 3.30 MVA;
- Tipo II - Trafo da 2.40 MVA;

▪ **Cabine di Raccolta di Area (BT/AT dislocate all'interno del campo fv):**

Potenza del **trasformatore** BT/AT della Cabina: 3.30 MVA

- Corrente corrispondente in AT (36 kV, ~ 50Hz, trifase): 55.71 A
- Corrente corrispondente in BT (800 V, ~ 50Hz, trifase): 2'506.92 A

Considerando che per un trasformatore da 3.30 MVA (cabina più potente) con il secondario ad 800 V la corrente in uscita è pari a I=2'506.92 e che il cavo tipo ARE4H10ZR-26/45 kV scelto sul lato BT del trasformatore per veicolare tale potenza risulta essere 3(4x400)mm<sup>2</sup> per fase.

Il diametro esterno del cavo da 400 mmq è pari a circa 50.00 mm (diametro interno di 23.40 mm), mentre il diametro equivalente dei 4 cavi in parallelo può essere determinato analiticamente/graficamente in circa 72.80 mm; con questo valore si ottiene un valore della DPA di circa 5.19 m, che arrotondato per eccesso al mezzo metro superiore dà una **DPA pari a 5.50 m.**

Le altre cabine hanno correnti inferiori e i risultati sono indicati nelle schede subito sotto.

N°	TRATTO DEL PRECORSO		NUMERO DI LINEE			POTENZA		TENSIONE		CORRENTE		IPOTESI CAVO					DPA																
	Orig.	Add.	TOT	[MW]	[MW]	[kV]	[kV]	[A]	[A]	Lu/Cab	l.cavo	Plan / Tr	Dist/Posa	Somma I	Sez Linea [mm <sup>2</sup> ]	Sez eq [mm <sup>2</sup> ]	Diam eq [mm]	Le tra tra cav	Cabina	Piana	Triangolo	Calcolo di servizio DPA											
																						DPA			DPA			DPA					
																						calcolata:			[m]			[m]			[m]		
<b>CABINE DI AREA - CABINE TIPO:</b>																																	
I	CABINA	Tipo I				3.30	3.30	800	2'506.92	0.95	C	U	P	0.15	4x400	4x400	72.80	1	0.15	5.19	6.59	5.55	3.86	5.19	5.19	5.50							
II	CABINA	Tipo II				2.40	2.40	800	1'823.21	0.95	C	U	P	0.15	3x400	3x400	66.53	1	0.15	4.22	5.62	4.73	3.15	4.22	4.22	4.50							

▪ **Cabine di Raccolta Generale (BT/AT posizionata a bordo impianto):**

Potenza in arrivo / in transito nella Cabina di raccolta Generale: 58'200 kW  
 ○ Corrente corrispondente in AT (36 k V, ~ 50Hz, trifase, cosfi= 0.95)): 982.51 A

Il cavo necessario per il trasporto di questa potenza (una possibile formazione del cavo) risulta essere del tipo TRATOS® ARE4H10R-26/45 kV, unipolare in alluminio, con formazione di 3x(2x500) mmq, con un diametro esterno pari a 64.61 mm da cui risulta una DPA pari a 3.05 m che viene arrotondata al mezzo metro superiore per cui risulta essere: **DPA = 3.50 m.**

N°	TRATTO DEL PRECORSO	NUMERO DI LINEE			POTENZA		TENSIONE	CORRENTE	cosφ	C	U	T	I	IPOTESI CAVO				DPA															
		Orig.	Add.	TOT	[MW]	[MW]	[kV]	[A]						Sez Linea	Sez eq	Diam eq	e   <sub>est.tra cav</sub>	Calcolo di servizio DPA			DPA	DPA											
														[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	Cabina	Piana	Triangolo	calcolata:	[m]	[m]										
<b>CABINA DI CONSEGNA</b>																																	
64	CABINA DI RACC. GEN	1		1	58.20	58.20	36	982.51	0.95	C	U	T	I	982.51	2x500	2x500	64.61	1	0.18	3.05	3.37	2.83	2.28	3.05	3.05	3.50							

**Linee interrattate in AT per il trasporto dell'energia internamente al campo fv (caso più elevato):**

Potenza della **linea di trasmissione** tra le cabine interne (la più caricata): 13'200 kW  
 ○ Corrente corrispondente in AT (36 k V, ~ 50Hz, trifase): 222.84 A

Il cavo necessario per il trasporto di una tale potenza risulta avere una formazione di 3x(1x185) mmq con un diametro esterno pari a 42.40 mm da cui risulta una una DPA pari a 1.13 m che viene arrotondata al mezzo metro superiore per cui: **DPA = 1,50 m.** In alcuni tratti in cui alcune linee viaggiano in parallelo, la relativa DPA potrebbe arrivare a 2.00÷2.50 metri.

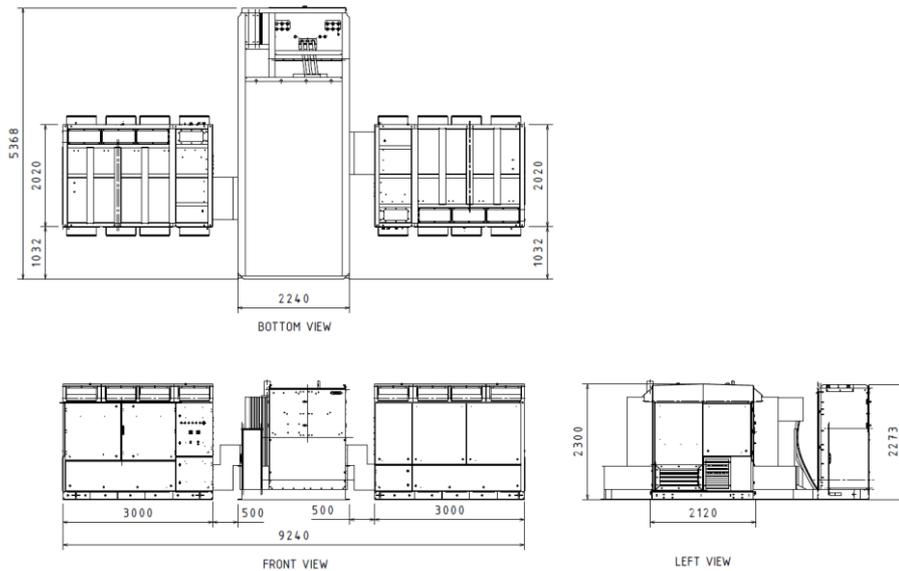
Per quanto riguarda i cavi BT, come sopra detto, i relativi cavidotti si sviluppano totalmente all'interno dell'area di impianto e l'ampiezza delle DPA è tale da non invadere zone con la presenza di recettori sensibili e di luoghi adibiti alla permanenza di persone per durate non inferiori alle 4 ore al giorno.

▪ **Sistema di Storage (Trafo BT/AT e relativi inverter centralizzati):**

Il sistema di storage in progetto prevede una potenza di 16'500 kW ed energia immagazzinabile pari a 49'500 kWh.

Questi parametri vengono raggiunti utilizzando i seguenti componenti:

- Inverter bidirezionale tipo FREMAQ MULTI PCSK 690V / Frame 4;
- Gruppo di trasformazione: trasformatore elevatore a doppio secondario da 11.00 MW massimi;
- Gruppo Batterie in Container, tipo: TWIN SKID COMPACT (1,375 MW e 2,75 MWh)



I dispositivi sono racchiusi all'interno di strutture compatte metalliche, e sono assimilabili a dei sistemi in cabina prefabbricata, pertanto è possibile calcolare la relativa DPA come per le cabine di trasformazione ai paragrafi precedenti.

In base alla potenza prevista e al fatto che essa viene ripartita in due gruppi, possiamo calcolare la potenza e la relativa corrente per ciascuno dei trafo:

N°	TRATTO DEL PRECORSO	NUMERO DI LINEE			POTENZA		TENSIONE	CORRENTE	Tipo	Posa	IPOTESI CAVO				DPA										
		Orig.	Add.	TOT	[MW]	[MW]	[kV]	[I]			Lu/Cab	cavo	Plan / Tr.	Dist. Posa	Somma I	Sez. Linea	Sez. eq.	Diam. eq.	U <sub>0</sub> /U <sub>1</sub>	U <sub>0</sub> /U <sub>1</sub> tra. cav.	Cabina	Plana	Triangolo	DPA	
														Calcolo di servizio DPA		DPA		DPA							
														calcolata:		[m]	[m]	[m]	[m]						
<b>GRUPPI BESS</b>																									
a	TRAF0 STORAGE 1				4.13	4.13	800	2'976.96	1.00	c	u			5x500	5x500	61.05	1	0.15	5.16	7.18	6.04	3.86	5.16	5.16	5.50
b	INVERTER STORAGE 1				4.13	4.13	800	2'976.96	1.00	c	u			5x500	5x500	61.05	1	0.15	5.16	7.18	6.04	3.86	5.16	5.16	5.50
c	TRAF0 STORAGE 2				4.13	4.13	800	2'976.96	1.00	c	u			5x500	5x500	61.05	1	0.15	5.16	7.18	6.04	3.86	5.16	5.16	5.50
d	INVERTER STORAGE 2				4.13	4.13	800	2'976.96	1.00	c	u			5x500	5x500	61.05	1	0.15	5.16	7.18	6.04	3.86	5.16	5.16	5.50

Data la tipologia di trafo utilizzata (spesso per grosse potenze vengono indicati nei datasheet dei trafo a doppio secondario), per avere valori più precisi sarà necessario effettuare le misure direttamente sui componenti in funzione, ad impianto finito e in servizio. Sarà sempre possibile applicare misure contenitive (schermature) dei campi elettromagnetici rilevati, in funzione dei valori delle misure e dei valori finali che si vorranno ottenere nelle aree circostanti.

### 5.1.5 Altri cavi

Altri campi elettromagnetici dovuti al monitoraggio e alla trasmissione dati possono essere trascurati, essendo le linee dati realizzate normalmente in cavo schermato e interessate da correnti di valore estremamente modesto.

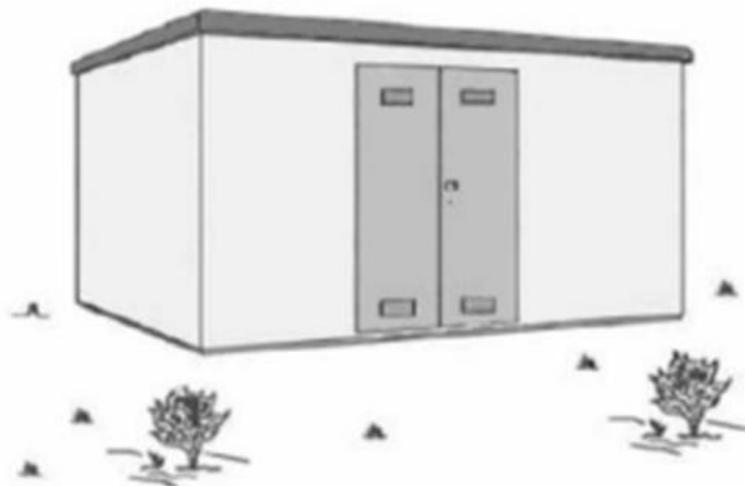
## 7) SCHEMI E SCHEDE PER I CALCOLI

N°	TRATTO DEL PRECORSO		TIPO	NUMERO DI LINEE			POTENZA		TENSIONE	CORRENTE	IPOTESI CAVO										DPA								
	Da	a		Orig.	Add.	TOT	[MW]	[MW]	[kV]	[I]	Tipo		Posa		Sez Linea		Sez eq	Diam eq	Dist. tra cavi (m)	Calcolo di servizio DPA				DPA		DPA			
										Ln/Cab	cavo	Pian / Tr	Dist. Posa	Somma I	[mm]	[mm]	/e	Cabina		Unip-Piana	Unip-Triang.	Multip-Triang.	calcolata:	[m]	[m]				
1	L1-Tr1	C01	PN-1	c	1	1	2.40	2.40	36	40.52	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.48	0.84	0.71	0.36	0.36	AT-(0.36)	0.50	
2	L1-Tr2	PN-1	PN-2	p	1	1		2.40	36	40.52	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.48	0.84	0.71	0.36	0.36	AT-(0.36)	0.50	
3	L1-Tr3	C02	PN-2	c	2	2	2.40	4.80	36	40.52	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.48	0.84	0.71	0.36	0.36	AT-(0.36)	0.50	
4	L1-Tr4	PN-2	PN-3	p	1	1		4.80	36	81.03	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.68	1.19	1.00	0.51	0.51	AT-(0.51)	1.00	
5	L1-Tr5	C04	PN-3	c	2	2	3.30	8.10	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
6	L1-Tr6	PN-3	PN-4	p	1	1		8.10	36	136.74	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.88	1.54	1.30	0.66	0.66	AT-(0.66)	1.00	
7	L1-Tr7	C06	PN-4	c	2	2	3.30	11.40	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		120	120	40.40	1	0.15	0.57	0.98	0.83	0.43	0.43	AT-(0.43)	0.50	
8	L1-Tr8	PN-4	COO	p	1	2	3	11.40	36	192.45	0.95	L	T	t	0.15	425.19	120	120	40.40	1	0.15	1.06	2.72	2.28	1.19	1.19	AT-(1.19)	1.50	
13	L2-Tr1	C03	PN-1	c	1	1	3.30	3.30	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
14	L2-Tr2	PN-1	PN-2	p	1	1		3.30	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
15	L2-Tr3	C05	PN-2	c	2	2	3.30	6.60	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
16	L2-Tr4	PN-2	PN-3	p	1	1		6.60	36	111.42	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.79	1.39	1.17	0.60	0.60	AT-(0.6)	1.00	
17	L2-Tr5	C09	PN-3	c	2	2	3.30	9.90	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
18	L2-Tr6	PN-3	PN-4	p	1	1		9.90	36	167.13	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.97	1.70	1.43	0.73	0.73	AT-(0.73)	1.00	
19	L2-Tr7	C07	PN-4	c	2	2	3.30	13.20	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		185	185	42.40	1	0.15	0.58	0.98	0.83	0.44	0.44	AT-(0.44)	0.50	
20	L2-Tr8	PN-4	COO	p	1	2	3	13.20	36	222.84	0.95	L	T	t	0.15	369.48	185	185	42.40	1	0.15	1.17	2.53	2.13	1.13	1.13	AT-(1.13)	1.50	
25	L3-Tr1	C13	PN-1	c	1	1	3.30	3.30	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
26	L3-Tr2	PN-1	PN-2	p	1	1		3.30	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
27	L3-Tr3	C10	PN-2	c	2	2	3.30	6.60	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
28	L3-Tr4	PN-2	PN-3	p	1	1		6.60	36	111.42	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.79	1.39	1.17	0.60	0.60	AT-(0.6)	1.00	
29	L3-Tr5	C11	PN-3	c	2	2	3.30	9.90	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		120	120	40.40	1	0.15	0.57	0.98	0.83	0.43	0.43	AT-(0.43)	0.50	
30	L3-Tr6	PN-3	PN-4	p	1	2	3	9.90	36	167.13	0.95	L	T	t	0.15	582.41	120	120	40.40	1	0.15	0.98	3.18	2.67	1.39	1.39	AT-(1.39)	1.50	
31	L3-Tr7	C08	PN-4	c	2	2	4	3.30	13.20	55.71	0.95	L	T	t	0.15	638.12	185	185	42.40	1	0.15	0.58	3.33	2.80	1.49	1.49	AT-(1.49)	1.50	
32	L3-Tr8	PN-4	COO	p	1	2	3	13.20	36	222.84	0.95	L	T	t	0.15	638.12	185	185	42.40	1	0.15	1.17	3.33	2.80	1.49	1.49	AT-(1.49)	1.50	
37	L4-Tr1	C12	PN-1	c	1	1	3.30	3.30	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
38	L4-Tr2	PN-1	PN-2	p	1	1		3.30	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
39	L4-Tr3	C16	PN-2	c	2	2	3.30	6.60	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
40	L4-Tr4	PN-2	PN-3	p	1	1		6.60	36	111.42	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.79	1.39	1.17	0.60	0.60	AT-(0.6)	1.00	
41	L4-Tr5	C15	PN-3	c	2	2	3.30	9.90	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.56	0.98	0.83	0.42	0.42	AT-(0.42)	0.50	
42	L4-Tr6	PN-3	PN-4	p	1	1		9.90	36	167.13	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.97	1.70	1.43	0.73	0.73	AT-(0.73)	1.00	
43	L4-Tr7	C14	PN-4	c	2	2	3.30	13.20	36	55.71	0.95	L	T	t	0.15		120	120	40.40	1	0.15	0.57	0.98	0.83	0.43	0.43	AT-(0.43)	0.50	
44	L4-Tr8	PN-4	COO	p	1	2	3	13.20	36	222.84	0.95	L	T	t	0.15	860.96	120	120	40.40	1	0.15	1.14	3.86	3.25	1.69	1.69	AT-(1.69)	2.00	
49	L5-Tr1	C19	PN-1	c	1	1	2.40	2.40	36	40.52	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.48	0.84	0.71	0.36	0.36	AT-(0.36)	0.50	
50	L5-Tr2	PN-1	PN-2	p	1	1		2.40	36	40.52	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.48	0.84	0.71	0.36	0.36	AT-(0.36)	0.50	
51	L5-Tr3	C18	PN-2	c	2	2	2.40	4.80	36	40.52	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.48	0.84	0.71	0.36	0.36	AT-(0.36)	0.50	
52	L5-Tr4	PN-2	PN-3	p	1	1		4.80	36	81.03	0.95	L	T	t	0.15		95	95	39.30	1	0.15	0.68	1.19	1.00	0.51	0.51	AT-(0.51)	1.00	
53	L5-Tr5	C17	PN-3	c	2	2	2.40	7.20	36	40.52	0.95	L	T	t	0.15	411.91	95	95	39.30	1	0.15	0.48	2.67	2.25	1.15	1.15	AT-(1.15)	1.50	
54	L5-Tr6	PN-3	COO	p	1	2	3	7.20	36	121.55	0.95	L	T	t	0.15	492.94	95	95	39.30	1	0.15	0.83	2.92	2.46	1.26	1.26	AT-(1.26)	1.50	
61	BESS-L1	BSS-1	COO	p	1	1	2	8.25	8.25	36	139.27	0.95	L	T	t	0.15	278.55	95	95	39.30	1	0.15		2.20	1.85	0.95	0.95	AT-(0.95)	1.00
62	BESS-L2	BSS-2	COO	p	1	1	2	8.25	8.25	36	139.27	0.95	L	T	t	0.15	278.55	95	95	39.30	1	0.15		2.20	1.85	0.95	0.95	AT-(0.95)	1.00

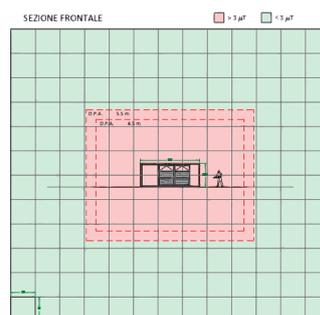
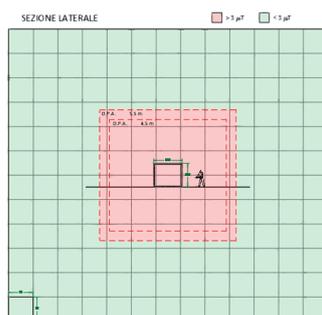
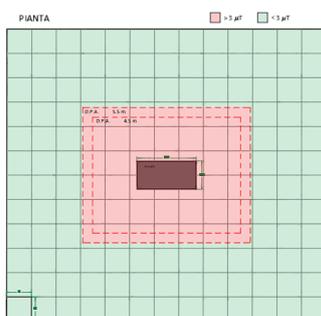
N°	TRATTO DEL PRECORSO		NUMERO DI LINEE			POTENZA		TENSIONE	CORRENTE	IPOTESI CAVO										DPA								
										Tipo		Posa				Sez Linea	Sez eq	Diam eq	i/e	ist. tra cav	Calcolo di servizio DPA			DPA	DPA			
										Ln/Cab	cavo	Pian / Tr	Dist. Posa	Somma l	Cabina						Piana	Triangolo	calcolata:		[m]	[m]		
Orig.	Add	TOT	[MW]	[MW]	[kV]	[I]																						
<b>CABINE DI AREA - CABINE TIPO:</b>																												
I	CABINA	Tipo I				3.30	3.30	800	2'506.92	0.95	c	u	p	0.15		4x400	4x400	72.80	1	0.15	5.19	6.59	5.55	3.86	5.19	5.19	5.50	
II	CABINA	Tipo II				2.40	2.40	800	1'823.21	0.95	c	u	p	0.15		3x400	3x400	66.53	1	0.15	4.22	5.62	4.73	3.15	4.22	4.22	4.50	
III						0.00	0.00	800	0.00	0.95	c	u	p	0.15		3x300	3x300	36.72	1	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	
IV						0.00	0.00	800	0.00	0.95	c	u	p	0.15		0				1	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>GRUPPI BESS</b>																												
a	TRAFO STORAGE 1					4.13	4.13	800	2'976.96	1.00	c	u				5x500	5x500	61.05	1	0.15	5.16	7.18	6.04	3.86	5.16	5.16	5.50	
b	INVERTER STORAGE 1					4.13	4.13	800	2'976.96	1.00	c	u				5x500	5x500	61.05	1	0.15	5.16	7.18	6.04	3.86	5.16	5.16	5.50	
c	TRAFO STORAGE 2					4.13	4.13	800	2'976.96	1.00	c	u				5x500	5x500	61.05	1	0.15	5.16	7.18	6.04	3.86	5.16	5.16	5.50	
d	INVERTER STORAGE 2					4.13	4.13	800	2'976.96	1.00	c	u				5x500	5x500	61.05	1	0.15	5.16	7.18	6.04	3.86	5.16	5.16	5.50	
2																												
<b>CABINA DI CONSEGNA</b>																												
64	CABINA DI RACC. GEN		1		1	58.20	58.20	36	982.51	0.95	c	u	t		982.51	2x500	2x500	64.61	1	0.10	3.05	3.37	2.83	2.28	3.05	3.05	3.50	
<b>LINEA DI CONNESSIONE ALLA RTN</b>																												
			NUMERO DI LINEE			POTENZA		TENSIONE	CORRENTE	IPOTESI CAVO										DPA								
			Orig.	Add	TOT	[MW]	[MW]	[kV]	[I]	Tipo		Posa				Sez Linea	Sez eq	Diam eq	i/e	ist. tra cav	Calcolo di servizio DPA			DPA	DPA			
										Ln/Cab	cavo	Pian / Tr	Dist. Posa	Somma l	[mm]						[mm]					Cabina	Piana	Triangolo
65	Linea di connessione alla RTN		1		1	58.20	58.20	36	982.51	0.95	L	u	t	0.15	982.51	2x500	2x500	64.61	1	0.10			3.37	2.83	2.28	2.83	AT-(2.83)	3.00

**CABINA SECONDARIA TIPO BOX O SIMILARI, ALIMENTATA IN CAVO SOTTERRANEO – TENSIONE 36 kV**

**CABINA BT/AT**



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



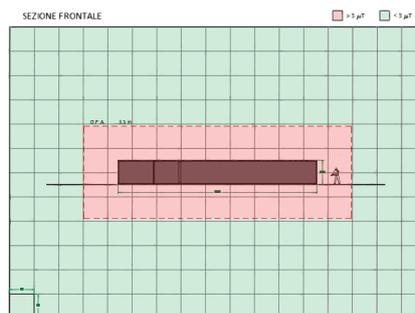
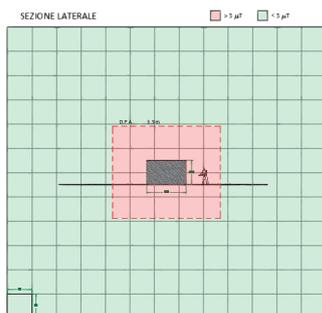
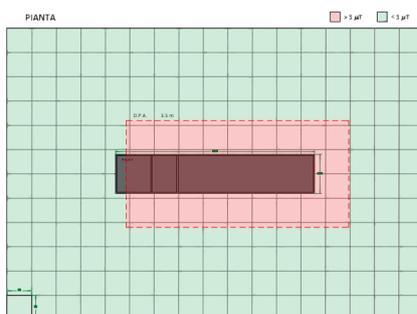
FORMAZIONE CAVI IN BT (800 V ~ 3F)	DIAMETRO DEI CAVI [mm]	TIPOLOGIA TRASFORMATORE [kVA]	CORRENTE (V = 800 V~) [A]	DPA (filo parete esterna) [m]	RIF.TO
4x400	72.80	3'300	2'506.92	5.50	
3x400	66.53	2'400	1'823.21	4.50	

**CABINA SECONDARIA TIPO BOX O SIMILARI, ALIMENTATA IN CAVO SOTTERRANEO – TENSIONE 36 kV**

**CABINA CONSEGNA AT**

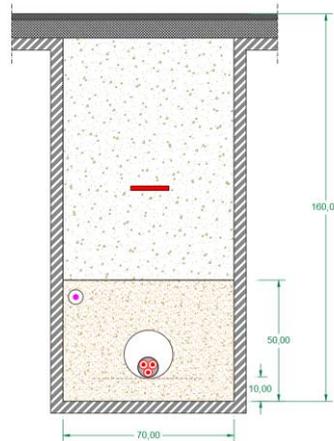


**RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLE D.P.A.**

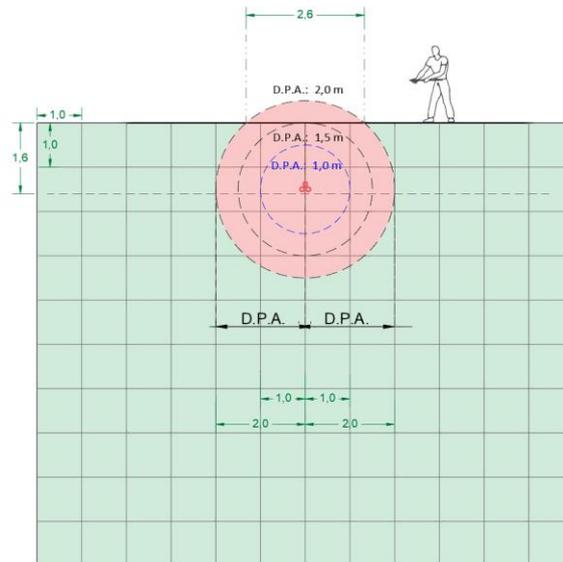


FORMAZIONE CAVI IN AT (36 kV)	DIAMETRO DEI CAVI [mm]	TIPOLOGIA TRASFORMATORE [kVA]	CORRENTE (V = 36 kV~) [A]	DPA (filo parete esterna) [m]	RIF.TO
3(2x500)	64.61	nessun trafo	982.51	3.50	

CAVI INTERRATI – Semplice Terna cavo multipolare – TENSIONE 36 kV



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



			CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
			Diametro esterno [mm]	Sezione Totale [mmq]	CEI 11-60		
					Corrente (V=36 kV) [A]	DPA [m]	Rif.
	<b>LINEA</b>	<b>P [MW]</b>					
I L I N E R E N E	Linea L1	11.40	40.40	3(1x120)	192.45	0.5÷ 1.5	
	Linea L2	13.20	42.40	3(1x185)	222.84	0.5÷ 1.5	
	Linea L3	13.20	40.40	3(1x120)	222.84	0.5÷ 1.5	
	Linea L4	13.20	40.40	3(1x120)	222.84	0.5÷ 1.5	
	Linea L5	7.20	39.30	3(1x95)	121.55	0.5÷ 1.5	

---

## 8) CONCLUSIONI

Dai calcoli effettuati si ritiene che non vi siano particolari problematiche relative al rispetto delle fasce di prima approssimazione calcolate (DPA) in quanto l'intorno della cabina e il percorso dell'elettrodotto sono di per se fasce di rispetto stradali o aree con remota probabilità della presenza di persone per una durata permanente pari o superiore alle 4 ore.

Come mostrato nelle tabelle e nelle figure dei paragrafi precedenti, le azioni di progetto fanno sì che sia possibile riscontrare intensità del campo di induzione magnetica superiore al valore obiettivo di 3  $\mu$ T, sia in corrispondenza della cabina di trasformazione che in corrispondenza dei cavidotti esterni. D'altra parte è stato dimostrato come la fascia entro cui tale limite viene superato è circoscritto intorno alle opere suddette, gran parte delle quali si trovano interamente su percorso stradale (viabilità interna) e quindi si può certamente escludere la presenza continuativa di recettori sensibili entro le predette fasce, venendo quindi soddisfatto l'obiettivo di qualità da conseguire nella realizzazione di nuovi elettrodotti fissato dal DPCM 8 Luglio 2003.

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

Riassumendo, avremo:

▪ Linee AT interrate – singole:	0.50 ÷ 1.50 m
▪ Linee AT interrate – più linee in percorso parallelo:	1.50 ÷ 2.00 m
▪ Cabine di campo Tipo I:	5.50 m
▪ Cabine di campo Tipo II:	4.50 m
▪ Cabina di Raccolta Generale:	3.50 m
▪ Gruppi trafo / Inverter+trafo del sistema di storage:	5.50 ÷ 5.50 m
▪ Linea/Linee BESS:	1.00 ÷ 2.00 m

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

Per quanto riguarda il campo magnetico, relativamente al cavidotto AT, realizzato mediante l'uso di cavi tripolari e/o unipolari posati a trifoglio, si può considerare che l'ampiezza della semi-fascia di rispetto non supererà i **2.0 metri** nella condizione peggiore, a cavallo dell'asse del cavidotto con più linee in parallelo.

Per quanto riguarda il sistema di storage, premesso che lo stesso verrà segregato in una area ad accesso controllato, e che al suo interno non è prevista la presenza di personale se non per le operazioni di manutenzione strettamente

necessarie, possiamo dire che i valori stimati andranno poi adeguati in base alla tecnologia realizzativa e agli effettivi dispositivi e schemi di impianto che verranno acquistati.

Inoltre, per tutte quelle aree in cui si riterrà di dover limitare i valori di campo rispetto a quanto emerso dai calcoli, potranno essere realizzate opere di "schermatura" e/o di segregazione ulteriore delle aree al fine di impedire la presenza di persone per più di quattro ore al giorno nelle aree che dovessero risultare avere valori di campo superiori  $3\mu\text{T}$  e soddisfare pienamente l'obiettivo di qualità indicato dalle suddette norme escludendo pericoli per la salute umana

Per quanto concerne il cavidotto esterno AT, è stata calcolata un'ampiezza della semi-fascia di rispetto pari a **2.00 m**; sulla base della scelta del tracciato, si esclude la presenza di luoghi adibiti alla permanenza di persone per durate non inferiori alle 4 ore al giorno. Si rimanda tuttavia ai relativi elaborati di progetto per ulteriori dettagli tecnici.

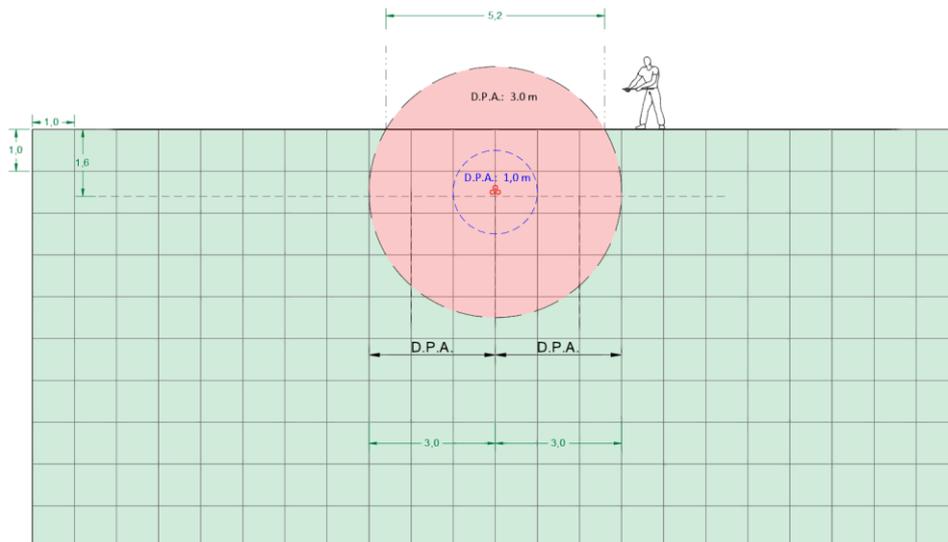
- Cavo unipolare in alluminio tipo HV SUPERFLEX 26/45 kV;
- Formazione del cavo:  $3 \times (2 \times 500)$  mmq e posa a triangolo;
- Corrente di linea: 982.51 A.

Per un calcolo approssimato e indicativo, possiamo utilizzare la seguente formula: 
$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 \cdot x^{0,5242}$$

Da cui si ottiene:

D.P.A. = 2.83 che si arrotonda al mezzo metro superiore risultando **D.P.A. = 3.00 m**.

La figura sottostante fornisce la rappresentazione visiva della DPA:



=====

Cagliari, 15 Maggio 2024