

SCALA	SEDE PROGETTO		FORMATO	
N.A.	CAGLIARI		A4	
REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Ottobre 2023	Ing. S. Matta		
DATA Ottobre 2023	TIPO DI EMISSIONE Prima Emissione			
Committente- Sviluppo progetto FV: DS Italia 13 S.r.l. Via del Plebiscito n. 112 - Roma (RM) P.IVA 16380561007 		Studio di progettazione: LA SIA S.p.A. Viale L. Schiavonetti, 28600173-Roma (RM) P.IVA 08207411003 		
PROGETTO Progetto Definitivo per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato "Ittiri" della potenza di picco di 22.371,3 kWp e potenza di immissione di 18.010,0 kW e delle relative opere di connessione alla RTN nel comune di Ittiri (SS)				
TITOLO ELABORATO RELAZIONE CAMPI ELETTRROMAGNETICI				
Coordinamento Progettisti: INNOVA SERVICE S.r.l. Via Santa Margherita, 4 – 09124 Cagliari (CA) P.IVA 03379940921 PEC: innovaserviceca@pec.it				
GRUPPO DI LAVORO: per INNOVA SERVICE S.r.l. Giorgio Roberto Porpiglia – Architetto Silvio Matta - Ingegnere Elettrico Aurora Melis – Geometra Antonio Dedoni – Ingegnere Idraulico Marta Camba – Geologo			per La SIA S.p.A. Riccardo Sacconi – Ingegnere Civile Stefano Cherchi - Archeologo Franco Milito - Agronomo Francesco Paolo Pinchera	
NOME ELABORATO REL_SP_AIE				REV 00

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

1) PREMESSA.....	5
2) DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3) NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
4) DESCRIZIONE SOMMARIA DEGLI IMPIANTI	8
▪ GENERALITÀ.....	8
▪ CABINE ELETTRICHE DI CAMPO (CABINE DI RACCOLTA DI AREA)	11
▪ CABINA ELETTRICA DI CAMPO (CABINA DI RACCOLTA GENERALE)	11
5) CAMPI IN PROSSIMITA' DELLE LINEE IN AT E DELLE CABINE.....	12
▪ ANDAMENTO DEI CAMPI	12
▪ I CAVI INTERRATI	13
6) CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	14
▪ 5.1 CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO	14
5.1.1 MODULI FOTOVOLTAICI.....	14
5.1.2 INVERTER	14
5.1.3 LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA INTERNE ALL'IMPIANTO FV	15
5.1.4 CABINE DI RACCOLTA DI AREA	16
CORRENTE DI CALCOLO:	17
5.1.5 ALTRI CAVI.....	22

1) PREMESSA

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

In particolare saranno valutate le emissioni elettromagnetiche dovute alle cabine elettriche e ai cavidotti presenti all'interno dell'impianto fotovoltaico, 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 μ 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 μ 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 μ 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 μ 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 produzione (18'000 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:

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m2)
0,1-3	60	0,2	-
>3 – 3'000	20	0,05	1
>3000 – 300'000	40	0,01	4

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:

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m2)
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:

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m2)
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 fotovoltaico "ITTIRI-FV1" sorgerà all'interno di una vasta area pianeggiante individuata a circa 2,5 km dal paese, ITTIRI appunto, in provincia di Sassari (SS).

Per tale impianto è previsto il collegamento elettrico alla rete di distribuzione di TERNA tramite una nuova linea elettrica con collegato in antenna a 36 kV sul futuro ampliamento a 36 kV della stazione elettrica (SE) RTN 380 kV "Ittiri", per la connessione diretta tra la RTN e la "Cabina Generale di Raccolta" ubicata a bordo lotto.

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

Il progetto prevede la costruzione e l'esercizio di un impianto fotovoltaico a terra con pannelli FV posizionati su Tracker monoassiali ad asse N-S, con formazione 1P, azimut=0°, Tilt= $\pm 60^\circ$, distanza tra le carpenterie pari a 1 m, e distanza tra le file (Pitch) pari a 5.5 m. La potenza complessiva installata è pari a di 22'371.30 kWp, e la potenza in immissione alla RTN (P.O.I.) è pari a 18'000 kW.

L'impianto prevede l'utilizzo di pannelli fotovoltaici monocristallini di tipo bifacciale con potenza di 670 Wp, collegati elettricamente in stringhe da 30 pannelli, che meccanicamente saranno alloggiati in strutture ad inseguimento monoassiale (Tracker) in due formati:

- Tracker 1x30 P, configurato per movimentare ciascuno n° 30 moduli fotovoltaici;
- Tracker 1x15 P, configurate per movimentare ciascuna n° 15 moduli fotovoltaici ;

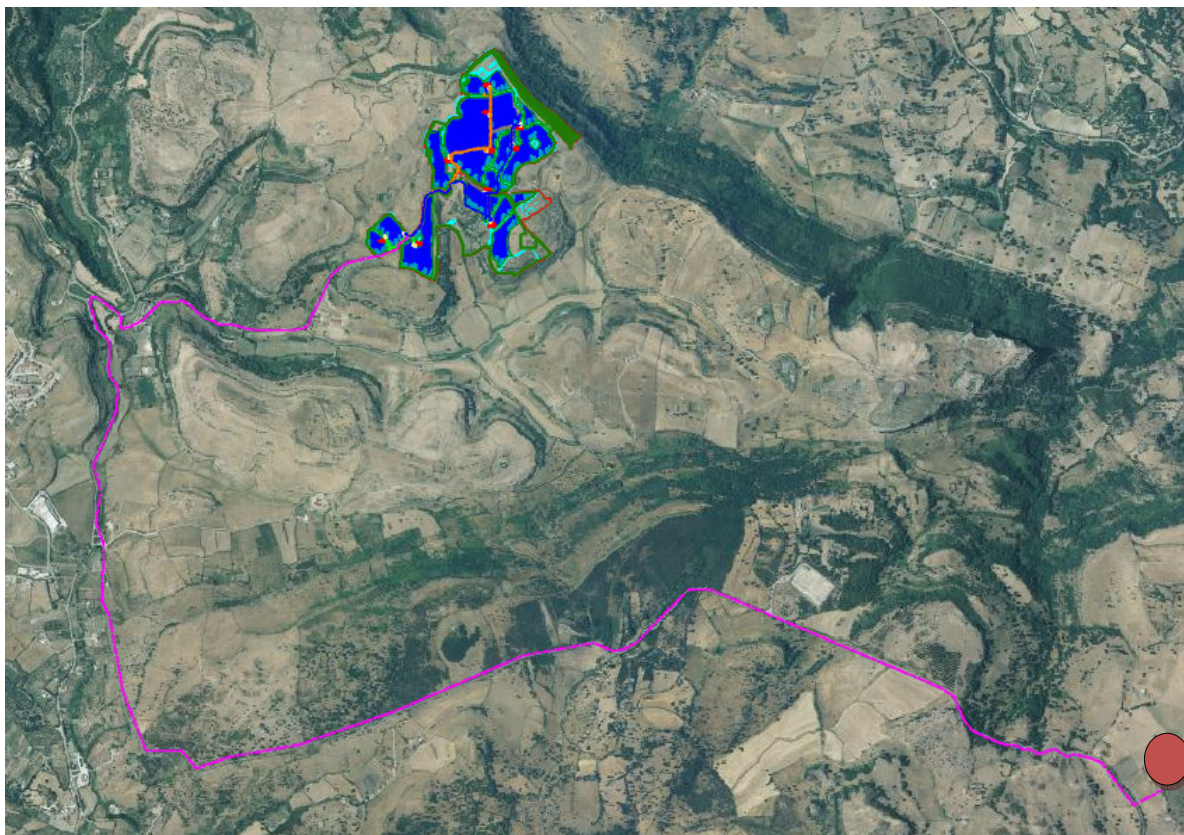
Complessivamente saranno connessi 33'390 pannelli fotovoltaici a formare 1'113 stringhe di 30 pannelli ciascuna, la cui energia sarà convertita dalla forma "continua" a quella "alternata" mediante 90 inverter trifase tipo HUAWEI tipo SUN2000-215KTL-H1 da 200 kVA, dislocati all'aperto in apposita struttura di supporto e posizionati in maniera baricentrica rispetto alle aree da essi servite.

L'impianto è internamente suddiviso in 10 Aree, contenenti ciascuna la propria "Cabina di Raccolta di Area" con al suo interno di un trafo da kVA che raccoglierà l'energia prodotta dai 90 inverter.

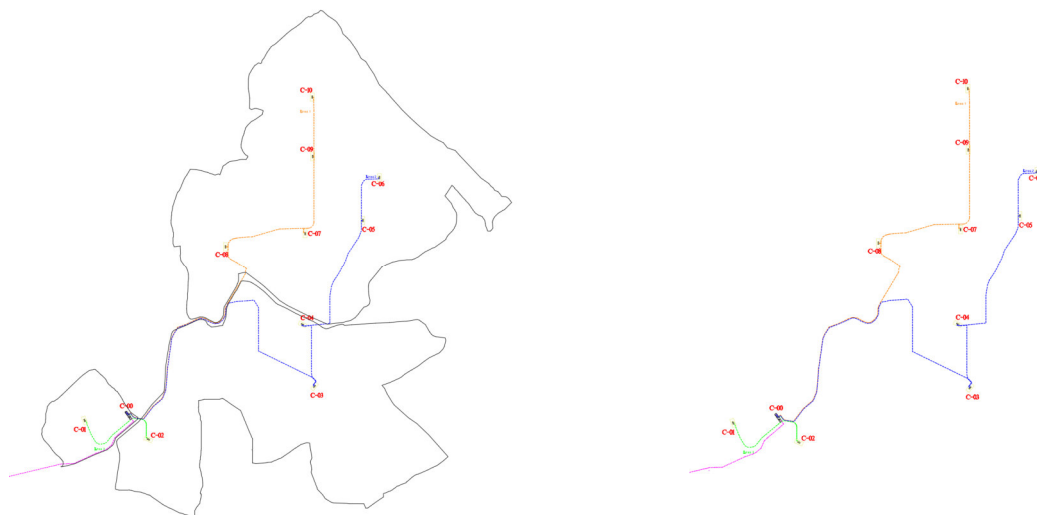
Le stringhe immettono l'energia dei pannelli tramite linee elettriche in corrente continua alla tensione di circa **1'155 V**. Gli inverter trasformano la potenza ricevuta e la erogano ad una tensione di 800 V trifase alternata, veicolandola tramite apposite linee elettriche interrate verso i rispettivi 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 effettuarne la modifica dei valori di tensione e corrente.

I trasformatori elevatori all'interno di ciascuna cabina BT/AT, della potenza di 1'800 kVA e 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 fotovoltaico fino alla Cabina Generale di Raccolta a bordo lotto.

Planimetria generale dell'impianto fotovoltaico 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.



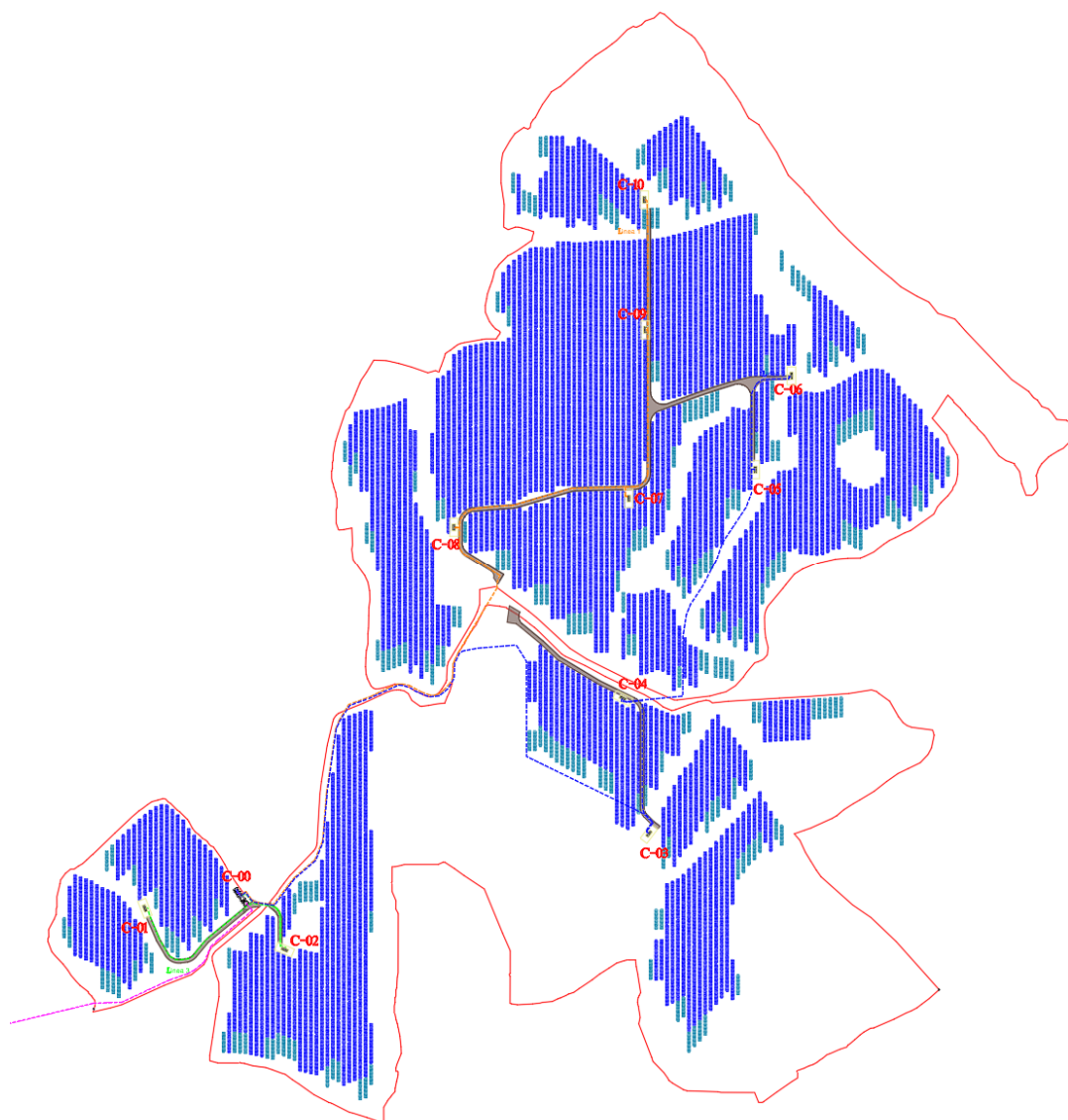
Schema per il collegamento delle Cabine di Raccolta di Area e dei cavidotti interrati in AT a 36 kV per la loro connessione alla Cabina di Raccolta Generale (sotto)



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 Fotovoltaico

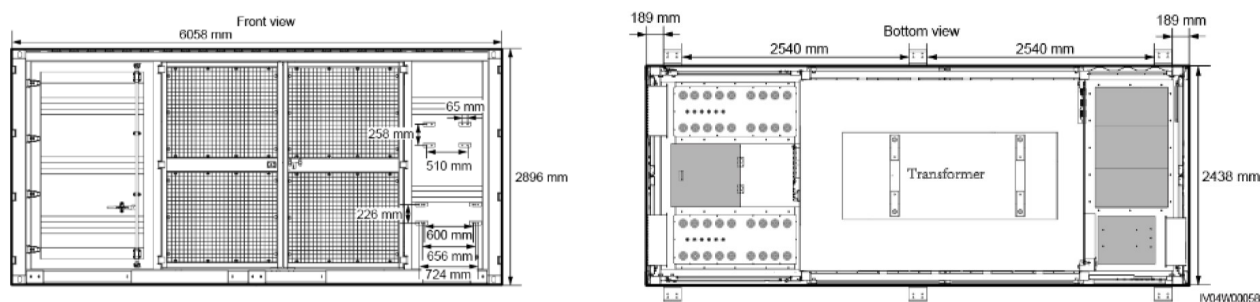
Cabina N°	P out:	Tipo	Linea-1	Linea-2	Linea-3	Linea-4	Linea-5
Cabina-01	1'800'000	2			h	1'800'000	
Cabina-02	1'800'000	2			h	1'800'000	
Cabina-03	1'800'000	2		h	1'800'000		
Cabina-04	1'800'000	1		h	1'800'000		
Cabina-05	1'800'000	1		h	1'800'000		
Cabina-06	1'800'000	1		h	1'800'000		
Cabina-07	1'800'000	1	h	1'800'000			
Cabina-08	1'800'000	1	h	1'800'000			
Cabina-09	1'800'000	1	h	1'800'000			
Cabina-10	1'800'000	1	h	1'800'000			
POI:	18'000'000		7'200'000	7'200'000	3'600'000	0	0
Lungh. Scavi:	2'596.65		1'067.75	1'287.00	241.90	0.00	0.00
Lungh. Linee:	2'738.45		1'086.25	1'341.00	311.20	0.00	0.00
Corrente (A):	303.87		121.55	121.55	60.77		
Sezione (mmq):							

Layout dell'impianto FV, con linee interne di trasporto dell'energia prodotta (sotto).



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

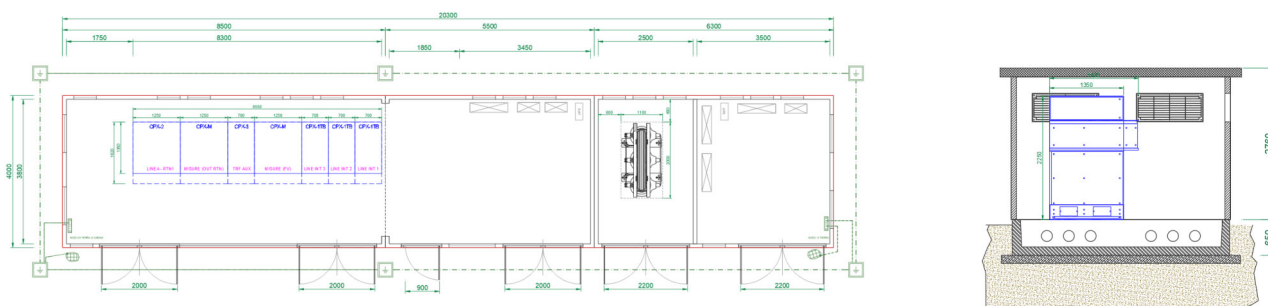
Le Cabine di Raccolta di Area saranno del tipo prefabbricato, su apposito box-container metallico, munite di accessi con porte in metallo e griglie di areazione grigliato metallico. Il basamento di fondazione, anch'esso prefabbricato, sarà del tipo a vasca, posate se necessario su basamento in cls cementizio 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 10 cabine interne dell'impianto fotovoltaico, sarà del tipo prefabbricato in c.a.v. in monoblocco, munita di accessi con porte in metallo e griglie di areazione 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.



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.

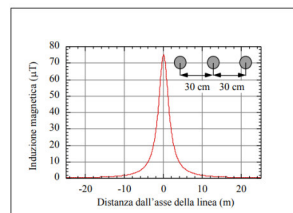
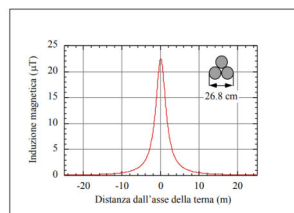
Inoltre, poichè dipende dalle correnti in transito che, durante la giornata, possono variare sensibilmente, allora il campo magnetico non sarà costante durante la giornata, ma negli andamenti temporali sarà possibile individuare dei valori minimi, in genere nelle ore notturne, e dei valori massimi, in 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 interrato 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 interrato 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

▪ 5.1 CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

5.1.1 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***.

5.1.2 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 fotovoltaico;
- 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.

5.1.3 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 μ 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 fotovoltaico 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 fotovoltaico 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 fotovoltaico, 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 tensione "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 in MT a 30 kV, anche in virtù del fatto che queste grandezze sono in funzione della frequenza, tensione e soprattutto della corrente in gioco. Si evidenzia dunque che per il trasporto della potenza prodotta dall'intero campo fotovoltaico il progetto prevede l'impiego di cavi AT a 36 kV di tipo unipolare con posa interrata, disposti in linea (per correnti e relativi campi di minor valore) 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 μ T, anche in condizioni limite con conduttori di sezione elevata, venga raggiunto già a brevissima distanza dall'asse del cavo stesso.

Discorso analogo ovviamente per i tratti in cui il cavidotto interrato prevede il passaggio di tutte e 3 le linee in AT che ovviamente sommano la potenza dell'intero impianto, nell'ultima porzione di percorso (di circa 100 metri, dalla cabina C02 alla Cabina di Raccolta Generale C00) in cui le stesse si riuniscono per giungere alla Cabina di Raccolta Generale di impianto.

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 1'800 kVA (10 cabine hanno al loro interno un trasformatore di tale potenza).

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:

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

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:

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

Potenza del trasformatore BT/AT della Cabina:	1'800 kW
○ Corrente corrispondente in AT (36 k V, ~ 50Hz, trifase):	30.39 A
○ Corrente corrispondente in BT (800 V, ~ 50Hz, trifase):	1'367.41 A

Considerando che per un trasformatore da 1'800 kVA con il secondario ad 800 V la corrente in uscita è pari a $I=1'367.41$ A e che il cavo scelto sul lato BT del trasformatore per veicolare tale potenza risulta essere 3(1x240)mm² per fase. Il diametro esterno del cavo da 240 mmq è pari a circa 53.70 mm, mentre il diametro equivalente dei 3 cavi in parallelo può essere determinato analiticamente/graficamente in circa 120 mm; con questo valore si ottiene un valore della DPA di circa 4.98 m, che arrotondato per eccesso al mezzo metro superiore dà una **DPA pari a 5,00 m**.

Le cabine di campo sono posizionate all'aperto, lontane dal confine dell'impianto fotovoltaico e da eventuali aree che possano essere adibite ad attività che prevedono la presenza di persone in maniera continuativa per tempi superiori ai 60 minuti, e le DPA ricadono interamente all'interno di quest'ultima senza interessare luoghi con permanenza di persone pubbliche superiori a 4 ore.

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

Potenza in arrivo / in transito nella Cabina di raccolta Generale:	18'000 kW
○ Corrente corrispondente in AT (36 k V, ~ 50Hz, trifase, cosfi= 0.95)):	304 A

Il cavo necessario per il trasporto di questa potenza (una possibile formazione del cavo) risulta essere del tipo TRATOS® HV - 38/66 kV-(72.5 kV), con formazione di 3x(1x150) mmq con un diametro esterno pari a 120 mm da cui risulta una DPA pari a 1.48 m che viene arrotondata al mezzo metro superiore per cui: **DPA = 1,50 m**.

▪ Linee interrate in AT per il trasporto dell'energia internamente al campo fotovoltaico (caso più elevato):

Potenza della linea di trasmissione tra le cabine interne (la più caricata):	7'200 kW
○ Corrente corrispondente in AT (36 k V, ~ 50Hz, trifase):	121.55 A

Il cavo necessario per il trasporto di una tale potenza risulta avere una formazione di 3x(1x95) mmq con un diametro esterno pari a 91.30 mm da cui risulta una DPA pari a 1.29 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 arriva a 2.0 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.

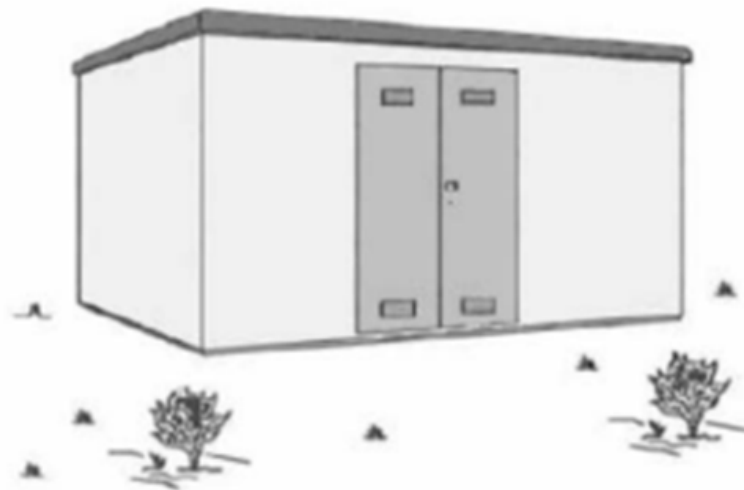
LINEE IN AT SU CAVIDOTTO INTERRATO														
N°	TRATTO DEL PRECORSO		NUMERO DI LINEE	POTENZA	TENSIONE	CORRENTE					IPOTESI CAVO		DPA	
											Sez eq	Diam eq	calcolo	DPA
											[mm²]	[mm]	[m]	[m]
1	C10	C09	1	1.80	36	30.39	0.95	37.06	95	91.30	0.64	1.00		
2	C09	C07	1	3.60	36	60.77	0.95	74.11	95	91.30	0.91	1.50		
3	C07	C08	1	5.40	36	91.16	0.95	111.17	95	91.30	1.11	1.50		
4	C08	PN1	1	7.20	36	121.55	0.95	148.23	95	91.30	1.29	1.50		
							0.95							
5	C06	C05	1	1.80	36	30.39	0.95	37.06	95	91.30	0.64	1.00		
6	C05	C04	1	3.60	36	60.77	0.95	74.11	95	91.30	0.91	1.00		
7	C05	C04	1	5.40	36	91.16	0.95	111.17	95	91.30	1.11	1.50		
8	C03	PN1	1	7.20	36	121.55	0.95	148.23	95	91.30	1.29	1.50		
							0.95							
9	PN01	PN02	2	14.40	36	243.09	0.95	296.46	95	91.30	1.82	2.00		
							0.95							
10	C02	PN2	1	3.60	36	60.77	0.95	74.11	95	91.30	0.91	1.00		
11	C01	PN3	1	1.80	36	30.39	0.95	37.06	95	91.30	0.64	1.00		
							0.95							
11	PN02	PN03	4	18.00	36	303.87	0.95	370.57	95	91.30	2.04	2.00		
							0.95							
12	PN3	C00	3	18.00	36	303.87	0.95	370.57	95	91.30	2.04	2.00		

	TRATTI DI PERCORSO DI LINEA COMUNI, con sovrapposizione di effetti dovuti al parallelo delle linee in tali passaggi.											
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

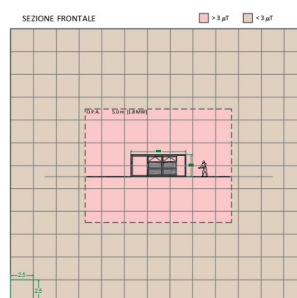
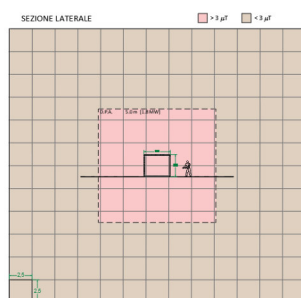
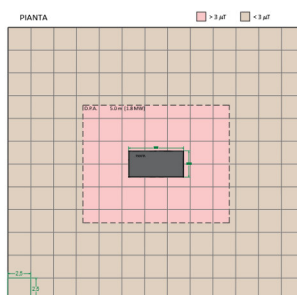
	CABINA DI AREA	1	1.80	0.800	1'367	0.95	1'981.75	3x240	120.00	4.98	5.00	
	CABINA DI RACC. GEN	1	18.00	36.000	304	0.95	440.39	1x150	50.00	1.48	1.50	

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

CABINA BT/AT



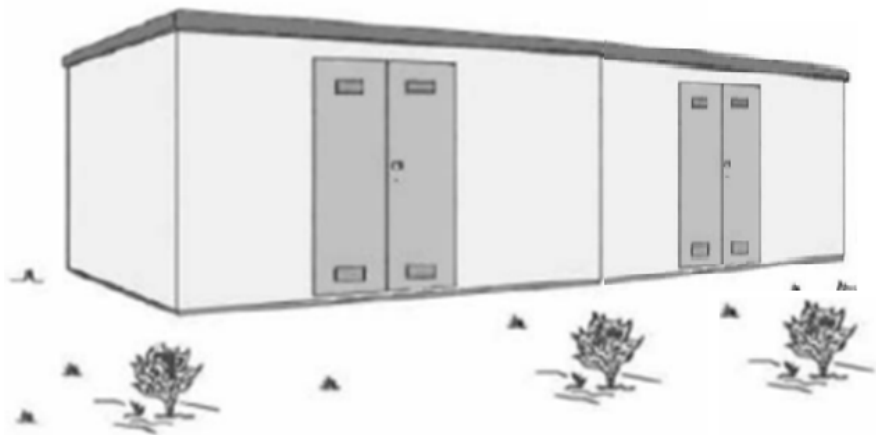
RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLE D.P.A.



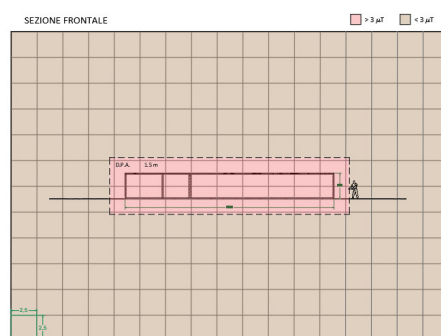
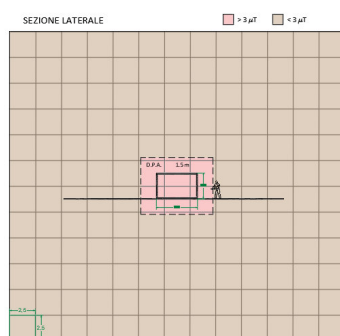
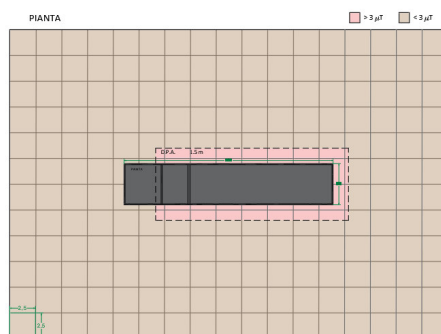
FORMAZIONE CAVI IN BT (800 V)	DIAMETRO DEI CAVI (mm)	TIPOLOGIA TRASFORMATORE (kVA)	CORRENTE (V=800V~) (A)	DPA (m) filo parete esterna	RIF.TO
3(3x1 x 240)	120	1'800	1'367.41	5.00	

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

CABINA CONSEGNA AT

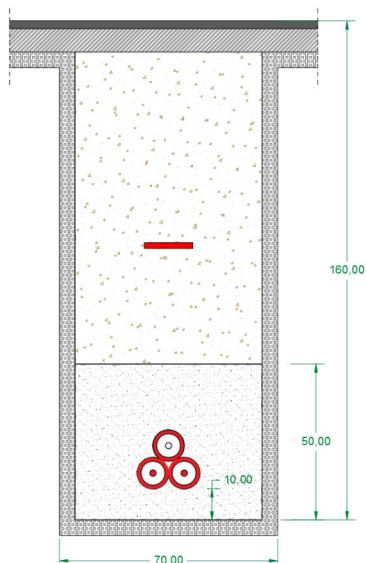


RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLE D.P.A.

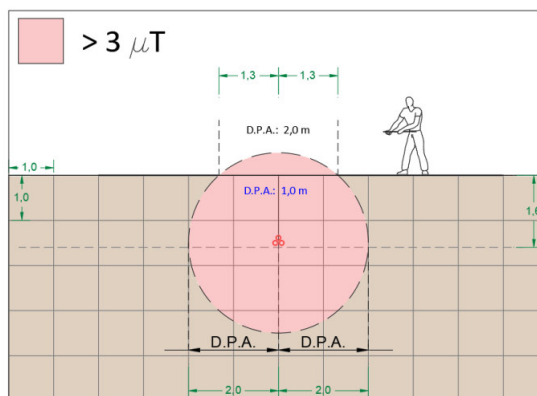
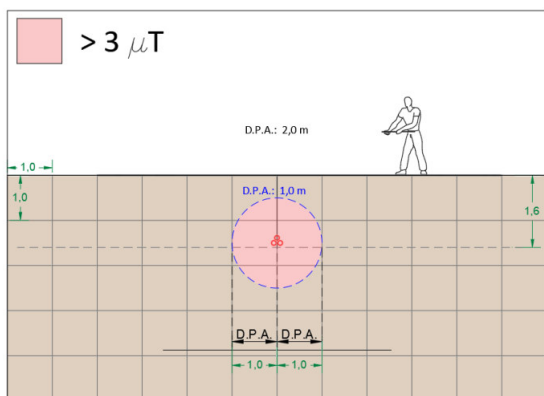


FORMAZIONE CAVI IN AT (36 kV)	DIAMETRO DEI CAVI (mm)	TIPOLOGIA TRASFORMATORE (kVA)	CORRENTE (800 V~) (A)	DPA (m) filo parete esterna	RIF.TO
3(1 x 150)	49.80	Nessun trafo	303.87	1.50	

CAVI INTERRATI – Semplice Terna cavi disposti a trifoglio – 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]	D.P.A. [m]	Rif.
Linea			[MW]				
INTERNE	Linea L1	7.20	91.30	1x95	121.55	1.50	
	Linea L2	7.20	91.30	1x95	121.55	1.50	
	Linea L3	3.60	91.30	1x95	60.77	1.00	
	Più linee	1.80÷18.0 MW	91.30	1x95	31÷304 A	1.00÷2.00	

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.

Cagliari, 31 ottobre 2023