

UPV S.r.l.

AREZZO (AR), VIA CRISPI 54 – CAP 52100,
P.IVA 02468910514
REA AR - 218024
upvsrl@pec.it

R09

PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI POTENZA 34.769 KW_p LOCALITÀ VILLAMUSCAS COMUNE DI UTA

Relazione campi elettromagnetici

PROGETTAZIONE

Ing. Luca Demontis (coordinamento)
Ing. Sandro Catta (coordinamento)

Arch. Valeria MASALA (consulenza ambientale)
Arch. Alessandro MURGIA (consulenza urbanistica)
Geol. Andrea SERRELI (consulenza geologica)
Agronomo lunor Dott. Francesco MATTA (consulenza agronomica)
Archeol. Maria Luisa SANNA (consulenza archeologica)

INDICE

INDICE	2
1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	5
4. INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	6
5. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO	9
5.1 LINEE MT E A 36 KV.....	10
6. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO.....	14
6.1 DEFINIZIONI E TERMINOLOGIA	14
6.2 CENNI TEORICI SUL MODELLO UTILIZZATO	14
6.3 METODO DI CALCOLO	14
6.4 DETERMINAZIONE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA.....	15
7. ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI	16
7.1 MODULI FOTOVOLTAICI.....	16
7.2 SEZIONE CORRENTE CONTINUA.....	16
7.3 INVERTER	17
8. CONCLUSIONI	18

1. PREMESSA

La presente relazione illustra l'impatto elettromagnetico delle opere di connessione a servizio dell'impianto agrivoltaico denominato "Impianto agrivoltaico Uta" di potenza pari a 34,76984 MW per una potenza totale richiesta in immissione di 34,375 MW., ubicato in località Villamuscas nel Comune di Uta, nella Città Metropolitana di Cagliari, e proposto dalla società UPV con sede legale in Via Crispi, n. 54 ad Arezzo (AR) CAP 52100, d'ora in avanti chiamato Proponente.

Nello specifico si propone la realizzazione di:

1. Un impianto agrivoltaico che si estende su di un'area di 45,42 ettari sita nel territorio comunale di Uta (CA) costituito da tracker ad inseguimento monoassiale, composti da 28 o 56 moduli fotovoltaici in doppia fila verticale da 580 W, di altezza minima 1,30 m (alla massima inclinazione di 55°).

L'impianto si sviluppa in un unico lotto.

Al loro interno sono previste:

- mantenimento e ampliamento dell'attività colturale e zootecnica.
 - opere di mitigazione come fasce arboree/arbustive lungo il perimetro esterno dell'impianto.
 - opere civili e idrauliche a servizio dell'impianto e della produzione agricola.
2. n.6 sottocampi fotovoltaici, ognuno contenente una stazione di conversione e trasformazione caratterizzata da un sistema di conversione DC/AC del tipo centralizzato con inverter di grande taglia (uno o due inverter da 3125 kVA) e uno scomparto di trasformazione MT/BT (un trasformatore da 3,125 MVA o 6,25 MVA). I 6 sottocampi verranno suddivisi in 2 dorsali, ognuna delle quali conterà 3 sottocampi e dunque 3 stazioni di conversione e trasformazione, connesse tra loro con modalità entra-esce. Entrambe le dorsali confluiscono nella cabina di raccolta, dalla quale partiranno i cavidotti MT verso la sottostazione utente.
 3. Cavidotti MT interrati interni al sito per connettere tra loro le stazioni di conversione e trasformazione di ogni dorsale, le due dorsali alla cabina di raccolta e quest'ultima alla sottostazione utente. Verranno utilizzati cavi unipolari in formazione a trifoglio adatti alla posa direttamente interrata.
 4. Cavidotti interrati a 36 kV interni ed esterni al sito per collegare la Sottostazione Utente SSEU alla futura Stazione Elettrica gestita da Terna Spa:
 5. Sottostazione Utente SSEU ubicata nel comune di Uta (CA) contenente l'edificio utente per la raccolta dei cavidotti MT provenienti dalla cabina di raccolta del parco agrivoltaico dalla quale partirà, dopo trasformazione MT/AT (30/36 kV) un successivo cavidotto che verrà collegato alla stazione RTN tramite inserimento in antenna a 36 kV con la futura stazione elettrica.
 6. riclassamento a 380 kV della linea RTN 220 kV "Rumianca – Villasor";
 7. ampliamento della sezione 380 kV della esistente SE RTN 380/220/150 kV di Rumianca;
 8. realizzazione della sezione 380 kV della SE RTN 220/150 kV di Villasor, da raccordare alla linea RTN 380 kV "Ittiri – Selargius".

La connessione alla RTN è basata sulla soluzione tecnica minima generale per la connessione STMG, con codice pratica 202201373, ricevuta per l'impianto in oggetto da Terna - Rete Elettrica Nazionale S.p.A. Il documento si propone di fornire una descrizione generale completa del progetto definitivo volto al rilascio da parte delle Autorità competenti, delle autorizzazioni e concessioni necessarie alla sua realizzazione.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la realizzazione della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici";
- DPCM 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti";
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti";
- 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 I";
- Linea guida ENEL "Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche)
- APAT "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti";
- CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo";
- CEI 20-21 "Calcolo della portata di corrente" (IEC 60287).

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'intervento in oggetto riguarda la realizzazione dell'impianto agrivoltaico da realizzarsi in zona agricola in località Villamuscas nel Comune di Uta (CA).

Nel dettaglio si ricordi che:

- L'intero impianto agrivoltaico giace nel Comune di Uta (CA).
- La connessione 36 kV alla futura Stazione Elettrica interessa il Comuni di Uta (CA) e in parte minore il Comune di Assemini (CA).

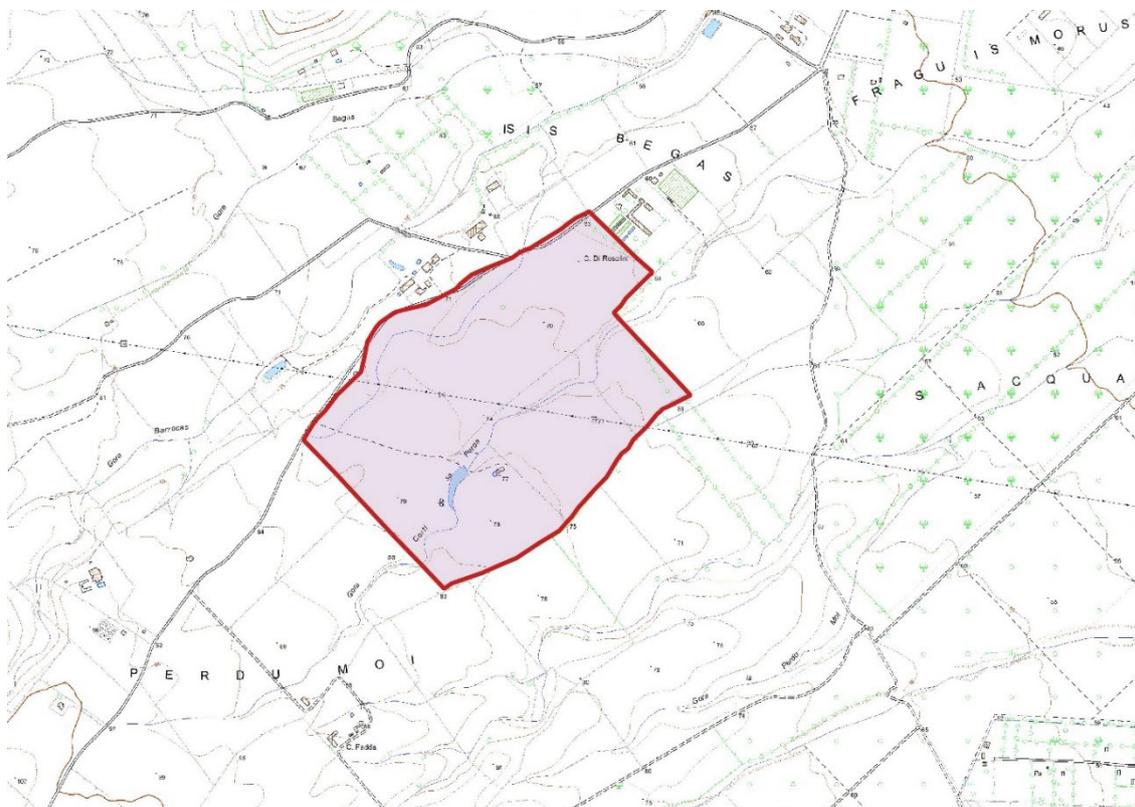
In generale, l'area deputata all'installazione dell'impianto agrivoltaico in oggetto risulta essere adatta allo scopo in quanto presenta una buona esposizione alla radiazione solare ed è facilmente accessibile attraverso le vie di comunicazione esistenti. Di seguito le coordinate di un punto baricentrico del campo agrivoltaico:

- Latitudine: 39°14'20.02"N
- Longitudine: 8°54'53.32"E

L'impianto agrivoltaico si trova all'interno delle seguenti cartografie e fogli di mappa catastali:

- Carta d'Italia in scala 1:25.000 edita dall'IGM fogli n° 556 sez. II Assemini
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna in scala 1:10.000 foglio 556 – 160 e 150.

Di seguito si riporta l'inquadramento su CTR e ortofoto delle opere in progetto. Per una migliore rappresentazione si riporta agli elaborati cartografici.



Inquadramento delle aree di progetto su CTR - Foglio 556 _150 e 160_ scala 1:10.000.



Inquadramento delle aree di progetto su OFC .

4. INQUADRAMENTO NORMATIVO

La normativa nazionale per la tutela della popolazione dagli effetti dei campi elettromagnetici disciplina separatamente le basse frequenze (es. elettrodotti) e le alte frequenze (es. impianti radiotelevisivi, stazioni radio base, ponti radio).

Il 14 febbraio 2001 è stata approvata dalla Camera dei deputati la legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico (L.36/01). In generale il sistema di protezione dagli effetti delle esposizioni agli inquinanti ambientali distingue tra:

- **effetti acuti** (o di breve periodo), basati su una soglia, per cui si fissano limiti di esposizione che garantiscono – con margini cautelativi - la non insorgenza di tali effetti;
- **effetti cronici** (o di lungo periodo), privi di soglia e di natura probabilistica (all'aumentare dell'esposizione aumenta non l'entità ma la probabilità del danno), per cui si fissano livelli operativi di riferimento per prevenire o limitare il possibile danno complessivo.

È importante dunque distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi.

Limiti di esposizione	Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela degli effetti acuti
Valori di attenzione	Valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti di lungo periodo
Obiettivi di qualità	Valori di CEM causati da singoli impianti o apparecchiature da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili. Sono finalizzati a consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti di lungo periodo.

Tabella 1 - Terminologia per la classificazione dei valori di campo elettromagnetico.

In Italia la normativa di riferimento per la valutazione degli impatti elettromagnetici delle linee elettriche è il DPCM del 08/07/2003 (G.U. n. 200 del 29.8.2003) "Fissazione dei limiti massimi di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".

In tale DPCM vengono stabiliti i seguenti limiti:

- i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute della popolazione nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze non contemplate dal D.M. 381/98, ovvero i campi a bassa frequenza (ELF) e a frequenza industriale (50 Hz);
- i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute dei lavoratori professionalmente esposti nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz (esposizione professionale ai campi
- elettromagnetici);
- le fasce di rispetto per gli elettrodotti.

Relativamente alla definizione di limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per l'esposizione della popolazione ai campi di frequenza industriale (50 Hz) relativi agli elettrodotti, il DPCM 08/07/03 propone i valori descritti in tabella 2, confrontati con la normativa europea.

Normativa	Limiti previsti	Induzione magnetica B (μT)	Intensità del campo elettrico E (V/m)
DPCM	Limite d'esposizione	100	5.000
	Limite d'attenzione	10	-
	Obiettivo di qualità	3	-
Race. 1995/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRP1998, OMS)	100	5.000

Tabella 2 - Limiti previsti per l'induzione magnetica.

Il valore di attenzione di 10 μT si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per più di 4 ore al giorno. Tale valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

L'obiettivo di qualità di 3 μT si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopraccitati ambienti e luoghi, nonché ai nuovi insediamenti ed edifici in fase di realizzazione in prossimità di linee e di installazioni elettriche già esistenti (valore inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio). Da notare che questo valore corrisponde approssimativamente al livello di induzione prevedibile, per linee a pieno carico, alle distanze di rispetto stabilite dal vecchio DPCM 23/04/92.

Si ricorda che i limiti di esposizione fissati dalla legge sono di 100 μT per lunghe esposizioni e di 1000 μT per brevi esposizioni.

Oltre alle norme legislative esistono dei rapporti informativi dell'Istituto superiore della sanità (ISTISAN 95/29 ed ISTISAN 96/28) che approfondiscono la problematica e mirano alla determinazione del principio cautelativo. Questi rapporti definiscono la cosiddetta Soglia di Attenzione Epidemiologia (SAE) per l'induzione magnetica, che è posta pari a 0.2 μT (microTesla): un valore limite, cautelativo, al di sotto del quale è dimostrata la non insorgenza di patologie.

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sentite le ARPA, ha approvato, con Decreto 29 Maggio 2008, "La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti". Tale metodologia, ai sensi dell'art. 6 comma 2 del D.P.C.M. 8 luglio 2003, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la

determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrato, esistenti e in progetto. I riferimenti contenuti in tale articolo implicano che le fasce di rispetto debbano attribuirsi ove sia applicabile l'obiettivo di qualità. Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto è stato introdotto nella metodologia di calcolo un procedimento semplificato che trasforma la fascia di rispetto (volume) in una distanza di prima approssimazione (misurata in metri). Per quanto appena detto, per il calcolo delle distanze di prima approssimazione e per la misura dei campi elettromagnetici si richiamano le principali Norme CEI:

- 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";
- CEI 211-7 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana".

In merito alla tutela della salute dei lavoratori che opereranno sull'impianto si fa riferimento al D.Lgs. n. 159 del 1° agosto 2016 "Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE" il quale apporta modifiche al già esistente D.Lgs. n. 81 del 9 aprile 2008 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

In particolare, nel suddetto D.Lgs. 159/2016 vengono indicati, nelle tabelle B1 e B2, i valori di azione (VA) per esposizione rispettivamente ai campi elettrici e ai campi magnetici.

Intervallo di frequenza	VA (E) inferiori per l'intensità del campo elettrico [Vm ⁻¹] (valori RMS)	VA (E) superiori per l'intensità del campo elettrico [Vm ⁻¹] (valori RMS)
1 ≤ f < 25 Hz	2,0 × 10 ⁴	2,0 × 10 ⁴
25 ≤ f < 50 Hz	5,0 × 10 ⁵ /f	2,0 × 10 ⁴
50 Hz ≤ f < 1,64 kHz	5,0 × 10 ⁵ /f	1,0 × 10 ⁶ /f
1,64 ≤ f < 3 kHz	5,0 × 10 ⁵ /f	6,1 × 10 ²
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	1,7 × 10 ²	6,1 × 10 ²

Tabella 3 - Elenco valori di azione per i campi elettrici ambientali.

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [μT] (valori RMS)
1 ≤ f < 8 Hz	2,0 × 10 ⁵ /f ²	3,0 × 10 ⁵ /f	9,0 × 10 ⁵ /f
8 ≤ f < 25 Hz	2,5 × 10 ⁴ /f	3,0 × 10 ⁵ /f	9,0 × 10 ⁵ /f
25 ≤ f < 300 Hz	1,0 × 10 ³	3,0 × 10 ⁵ /f	9,0 × 10 ⁵ /f
300 Hz ≤ f < 3 kHz	3,0 × 10 ⁵ /f	3,0 × 10 ⁵ /f	9,0 × 10 ⁵ /f
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	1,0 × 10 ²	1,0 × 10 ²	3,0 × 10 ²

Tabella 4 - Elenco valori di azione per i campi magnetici ambientali.

Nel caso degli impianti a frequenza industriale (50 Hz), i valori limite da rispettare sono dunque il campo elettrico:

$$\frac{5 \times 10^5}{50} = 1000 \left[\frac{V}{m} \right]$$

E per il campo magnetico

$$1 \times 10^3 \text{ } [\mu T]$$

5. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Il campo agrivoltaico sarà costituito da un totale di **59.948** moduli da **580 Wp** per una potenza totale in uscita dai moduli fotovoltaici di **34,76984 MW** ed una corrispondente potenza in corrente alternata AC di circa **34,375 MW**. Le stringhe del tipo monoassiale ad inseguimento solare costituite dalla serie di n. **24 o 36** moduli per un totale di **2.398** stringhe (di cui 1.200 da 24 moduli e 1.198 da 26 moduli).

Il campo agrivoltaico è stato suddiviso, da un punto di vista elettrico e indipendentemente dalla suddivisione funzionale dell'impianto, in n.6 sottocampi (**A1, A2, A3, B1, B2, B3**) di dimensioni variabili a seconda delle condizioni orografiche e catastali e dei dimensionamenti elettrici. Ogni sottocampo sarà dotato di una stazione di conversione e trasformazione contenente uno o due **inverter di tipo centralizzato** di grande taglia (1 o 2 inverter da 3.125 kVA) e un **trasformatore elevatore 30/0,6 kV** (della taglia di 3.125 kVA o 6.250 kVA). I 6 sottocampi verranno suddivisi in 2 gruppi funzionali denominati dorsali (A e B), ognuna costituita da n.3 sottocampi. Le 3 stazioni di conversione e trasformazione di ogni dorsale sono connesse tra loro in modalità entra-esce e confluiscono poi alla cabina di raccolta CR, dalla quale partiranno poi i cavidotti MT che conetteranno le due dorsali alla sottostazione elettrica utente SSEU.

Le stazioni di conversione e trasformazione prese in considerazione sono i seguenti modello di marca SUNGROW: SG3125HV-MV; SG6250HV-MV.

Nella tabella seguente è descritto brevemente ciascun sottocampo, il corrispondente numero di moduli, il numero di stringhe, la potenza prodotta sia in AC che in DC e la potenza assorbita dai sistemi ausiliari di ciascuno di essi.

SOTTOCAMPO	TIPOLOGIA STAZIONE SUNGROW	N.STRINGHE MONOASSIALI	N. MODULI	POT. DC MODULI [kW]	POT. INVERTER AC [kVA]
A1	SG6250HV-MV	218 da 24 moduli 218 da 26 moduli	10.900	6.322	6.250
A2	SG6250HV-MV	218 da 24 moduli 218 da 26 moduli	10.900	6.322	6.250
A3	SG6250HV-MV	218 da 24 moduli 218 da 26 moduli	10.900	6.322	6.250
B1	SG6250HV-MV	218 da 24 moduli 218 da 26 moduli	10.900	6.322	6.250
B2	SG6250HV-MV	218 da 24 moduli 218 da 26 moduli	10.900	6.322	6.250
B3	SG3125HV-MV	110 da 24 moduli 108 da 26 moduli	5.448	3159,84	3125
	TOT. STAZIONI SUNGROW	TOT. STRINGHE	TOT. MODULI	POT. TOTALE MODULI [kW]	POT. TOTALE INVERTER [kW]
	n.5 SG6250HV-MV n.1 SG3125HV-MV	1.200 da 24 moduli 1.198 da 26 moduli	59.948	34.769,84	34.375

Tabella 5 - Caratteristiche elettriche impianto agrivoltaico.

Nell'esercizio l'impianto lavorerà alla frequenza di 50 Hz, quindi i campi elettromagnetici verranno generati a tale frequenza. Ad una tale frequenza verranno generate corrispondono lunghezze d'onda di ampiezza pari

a 6000 km. Il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e sono calcolati e misurati separatamente. I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche e la loro intensità viene misurata in Volt al metro (V/m) o in kiloVolt al metro (kV/m). La loro intensità è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza; vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, anche dal terreno nel caso di linee in cavo interrato. I campi magnetici sono, invece, prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. La loro intensità si misura in Ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in Tesla (T), milliTesla (mT) o microTesla (μ T). Come nel caso dei campi elettrici, anche i campi magnetici hanno valore massimo vicino alla sorgente e diminuisce all'aumentare della distanza. I campi magnetici però, a differenza di quelli elettrici, non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune che ne vengono facilmente attraversati.

Le opere elettriche di impianto sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione dell'impatto elettrico e magnetico sono di seguito descritte:

- il cavidotto MT di collegamento tra le cabine di campo delle due dorsali;
- il cavidotto MT di collegamento tra le cabine di campo A1 e B1 con la cabina di raccolta;
- il cavidotto a MT di collegamento tra la cabina di raccolta e la sottostazione utente SSEU;
- il cavidotto a 36 kV per il collegamento tra la sottostazione utente e lo stallo a 36 kV della futura Stazione Elettrica.

5.1 LINEE MT e a 36 kV

Come accennato precedentemente il collegamento tra le cabine di campo e la cabina di raccolta e tra quest'ultima e la SSEU avverrà mediante cavidotto MT. Il cavo impiegato per la veicolazione dell'energia elettrica in MT nel presente progetto è lo ARE4H5E 18/30kV. La seguente figura mostra schematicamente la struttura costruttiva del cavo in esame.



Caratteristiche e parti costituenti il cavo ARE4H5E 18/30kV

Il cavo impiegato per la veicolazione dell'energia elettrica 36kV nel presente progetto è lo RG7H1R 26/45kV. La seguente figura mostra schematicamente la struttura del cavo in esame.



DESCRIZIONE:
Cavi unipolari isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.

CARATTERISTICHE FUNZIONALI:

- Tensione nominale U_0/U : 1,8/3 ÷ 26/45 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura minima di posa: 0°C
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 12 volte il diametro del cavo.
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 60 N/mm² di sezione del rame

CONDIZIONI DI IMPIEGO:
Adatto per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Per posa in aria libera, in tubo o canale. Ammessa la posa interrata anche non protetta, in conformità all'art. 4.3.11 della norma CEI 11-17.

DESCRIPTION:
Single-core cables, insulated with HEPR rubber of G7 quality, under PVC sheath.

FUNCTIONAL CHARACTERISTICS

- Nominal voltage U_0/U : 1,8/3 ÷ 26/45 kV
- Maximum operating temperature: 90°C
- Min. operating temperature: -15°C (without mechanical shocks)
- Minimum installation temperature: 0°C
- Maximum short circuit temperature: 250°C
- Recommended minimum bending radius: 12 times the cable diameter.
- Recommended maximum tensile stress: 60 N/mm² of the cross-section of the copper

USE AND INSTALLATION
Suitable for energy transmission between transformer rooms and big power users. For laying on air, into tube or open pass. Can be laid underground, also if not protected, complying with art. 4.3.11 of CEI 11-17 standard.

Caratteristiche e parti costituenti il cavo RG7H1R 26/45kV

Nell'immagine seguente è mostrato graficamente lo schema di collegamento MT tra le cabine di campo e infine alla cabina di raccolta CR.

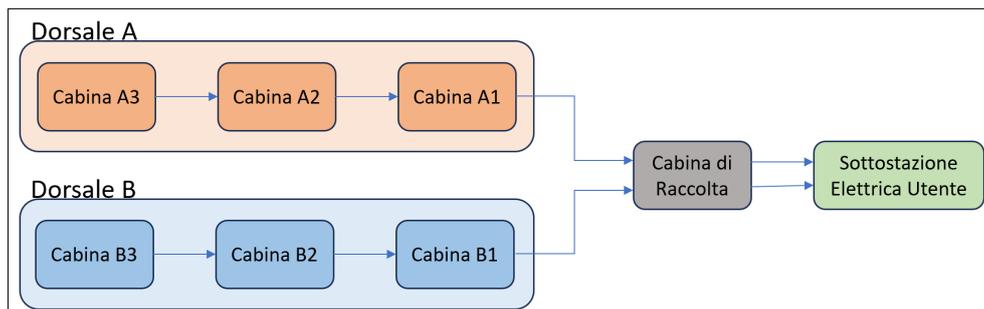


Figura 1 - Schema di collegamento tra le cabine del parco.

Si utilizzeranno cavi unipolari ARE4H5E 18/30kV in formazione a trifoglio per le linee MT e cavi unipolari RG7H1R 26/45kV in formazione a trifoglio per le linee 36kV. La tabella seguente descrive le principali informazioni dei cavi impiegati per l'impianto in oggetto.

Tratta Cavidotto		Lunghezza Tratta	P	Vn	In	N° Terne	Sez. Cavi
		[m]	[kW]	[kV]	[A]	-	[mm ²]
Dorsale A - CR	A3 – A2	225	6250	30	120,3	1	400
	A2 – A1	172	12500	30	240,6	1	400
	A1 – CR	85	18750	30	360,9	1	400
Dorsale B - CR	B3 – B2	340	3125	30	60,2	1	240
	B2 – B1	298	9375	30	180,4	1	400
	B1 – CR	413	15625	30	300,7	1	400
CR – SSEU		20	34375	30	661,6	2	630
SSEU – SE36kV		8.730	34375	36	551,3	2	630

Tabella 6 - Cavidotti MT e a 36 kV del parco agrivoltaico.

Come mostrato dalla tabella precedente, il collegamento dalla SSEU allo stallo 36 kV della futura Stazione Elettrica avverrà mediante terne di cavidotto a 36 kV RG7H1R 26/45kV della sezione di 630 mm² per una lunghezza approssimativa di 8.730 m

Si riportano di seguito le sezioni tipiche di posa:

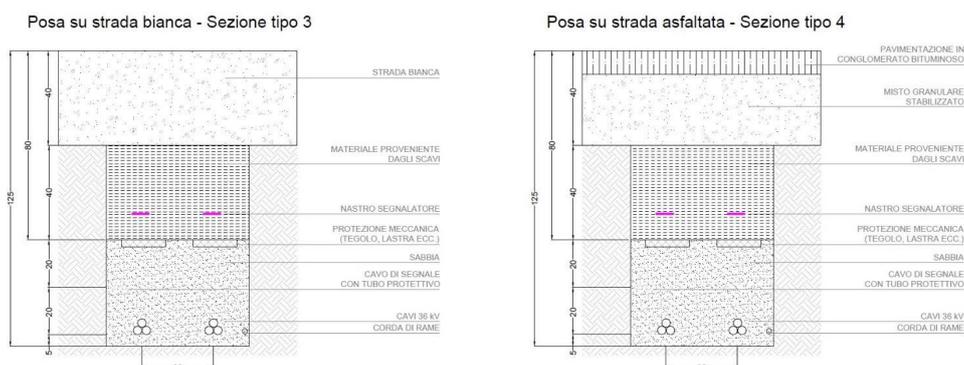


Figura 2 - Esempio di tipico di scavo per posa cavidotto MT e a 36 kV.

Per la realizzazione delle canalizzazioni a 36kV sono da impiegare tubi in materiale plastico conformi alle Norme CEI 23-46 (CEI EN 50086-2-4), tipo 450 o 750 come caratteristiche di resistenza a schiacciamento, nelle seguenti tipologie:

- rigidi lisci in PVC (in barre);
- rigidi corrugati in PE (in barre);
- pieghevoli corrugati in PE (in rotoli).

I tubi corrugati devono avere la superficie interna liscia.

Per quanto riguarda la coesistenza tra cavidotti a 36 kV e condutture di altri servizi del sottosuolo si è fatto riferimento alle Norme CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo”.

Nello specifico le Norme CEI 11-21817 precisano le distanze minime da mantenere tra i cavidotti MT e le linee di telecomunicazione, le tubazioni metalliche in genere e i serbatoi contenenti liquidi o gas infiammabili.

6. METODOLOGIA DI CALCOLO CAMPO MAGNETICO

6.1 DEFINIZIONI E TERMINOLOGIA

In riferimento all'allegato del D.M. del 29 Maggio 2008 "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto" si introducono le seguenti definizioni:

- **Corrente:** valore efficace dell'intensità di corrente elettrica.
- **Portata in corrente in servizio normale:** corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento. Essa è definita nella norma CEI 11-60 par. 2.6 e sue successive modifiche e integrazioni.
- **Portata in regime permanente:** massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05).
- **Fascia di rispetto:** spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.
- **Distanza di prima approssimazione (DPA):** distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

6.2 CENNI TEORICI SUL MODELLO UTILIZZATO

L'induzione magnetica B generata da N_R conduttori filiformi, numerati con la variabile n che va da 0 a $(N_R - 1)$, può essere calcolata con l'espressione riportata di seguito; si fa notare che solo i conduttori reali contribuiscono al campo magnetico, perché si assume il suolo perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e non si considerano quindi i conduttori immagine.

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{n=0}^{N_R-1} \frac{i_n}{R_n}$$

Dove:

- μ_0 è la permeabilità magnetica del vuoto;
- N_R è il numero dei conduttori (nel caso in esame pari a 3),
- i_n è la corrente nel generico conduttore;
- R_n è la distanza tra il tratto elementare del conduttore generico e il punto dove si vuole calcolare il campo.

Dalla formula sopra mostrata è possibile notare che l'induzione magnetica è inversamente proporzionale alla distanza dal conduttore in esame.

6.3 METODO DI CALCOLO

Lo studio dell'impatto elettromagnetico nel caso di linee elettriche aeree e non, si traduce nella determinazione di una fascia di rispetto. Per l'individuazione di tale fascia si deve effettuare il calcolo dell'induzione magnetica basato sulle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea presa in esame.

Esso deve essere eseguito secondo modelli tridimensionali o bidimensionali con l'applicazione delle condizioni espresse al paragrafo 6.1 della norma CEI 106-11.

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione è possibile:

- calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in

- servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco;
- proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- individuare l'estensione rispetto alla proiezione del centro linea (DPA).

6.4 DETERMINAZIONE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA

Per la realizzazione dei cavidotti di collegamento sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone. In particolare, la scelta di operare con linee MT e a 36 kV interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre, la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne cosiddette "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi. La profondità di interrimento è pari a 1,20 m.

Dopo aver effettuato le simulazioni per ogni tratta di cavidotto MT e a 36 kV è stato appurato che il valore campo magnetico risulta inferiore al limite di obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ per distanze tali da confermare la regola generale proposta dalla norma CEI 11-60 che suggerisce per elettrodotti interrati con corrente di funzionamento di 1110 [A] una D.P.A di 3.1 [m].



CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm ²]	CEI - 11-60 Portata [A]		
		Corrente A	D.P.A. m	Riferimento
108	1600	1110	3.10	A15

Figura 3 - D.P.A. per cavidotto interrato secondo norma CEI 11-60.

7. ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI

L'impianto è progettato per operare in modo automatico e senza la presenza degli operatori, che potranno trovarsi in prossimità delle apparecchiature soltanto nel corso di interventi di manutenzione programmata o straordinaria, di natura saltuaria e non continuativa. In questi casi, è generalmente possibile operare in condizioni di impianto disattivato e dunque in assenza di campi elettrici e magnetici.

In alcune occasioni, tuttavia, è possibile che operatori professionali conducano alcune attività secondarie con l'impianto in esercizio. Una valutazione accurata di tipo preventivo del rischio indotto dalla presenza di campi EM relativa a tale eventualità è assai ardua, tenuto conto dell'estrema variabilità delle condizioni operative in termini di distanza, tempi di esposizione e condizioni dell'impianto. Per tale motivo essa sarà oggetto di apposita indagine in condizioni di esercizio.

Sulla scorta di indagini svolte su analoghi impianti, è tuttavia possibile estrapolare in via preventiva, anche se in modo approssimato, i valori di campo elettrico e magnetico ai quali gli operatori potranno essere soggetti. I valori di azione per gli effetti non termici sono riassunti nella tabella che segue:

Frequenza	VA (E) inferiori per l'intensità del campo elettrico [V/m] (valori RMS)	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [μ T] (valori RMS)
50 Hz	10000	1000

Tabella 7 - Valori di azione [*] per i campi elettrici e magnetici indotti alla frequenza di rete.

(estr. D.Lgs. 159/2016) [*] "valori di azione (VA)", sono livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE (Valori Limite di Esposizione) e, ove appropriato, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione. In particolare, il rispetto dei VA garantisce il rispetto dei pertinenti VLE, mentre il superamento dei VA medesimi corrisponde all'obbligo di adottare le pertinenti misure di prevenzione e protezione di cui all'articolo 210 del D.Lgs. 81/08.

Appare evidente come, sulla scorta di risultati riconosciuti, il campo magnetico ambientale non subisce variazioni di rilievo anche nelle immediate vicinanze dell'impianto. Esso risulterà decisamente basso e verosimilmente inferiore al campo magnetico residenziale, derivante da impianti ed apparecchiature di uso comune e sostanzialmente ubiquitario. Come già segnalato, sarà ovviamente cura del gestore procedere a valutazioni strumentali in ambiente di lavoro post-operam, al fine di ottemperare alla normativa vigente sulla sicurezza in ambiente di lavoro (D.Lgs. n.81 del 9 aprile 2008: Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n.123, in materia della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro).

7.1 MODULI FOTOVOLTAICI

I moduli fotovoltaici operano in correnti e tensioni continue; per cui la generazione dei 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) e sono comunque di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono comunque menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, poiché assolutamente irrilevanti.

7.2 SEZIONE CORRENTE CONTINUA

Considerando che la sezione di impianto in CC è percorsa da una corrente continua (0 Hz) in bassa tensione, si può affermare:

- i cavi di diversa polarizzazione (+ e -) sono sempre disposti a contatto fra di loro ciò fa sì che i loro campi magnetici statici influenzandosi reciprocamente creano un campo magnetico risultante nullo in ogni punto esterno;
- i cavi di dorsale dai sottoquadri di campo ai quadri di campo e agli inverter, che sono quelli che trasportano correnti di valore significativo, sono distanti diverse decine di metri dalle recinzioni di confine.

Inoltre, il decreto legislativo n. 159 del 1 agosto 2016, stabilisce i valori limite di esposizione VLE per le frequenze inferiori a 1 Hz, ovvero i limiti per il campo magnetico statico secondo la seguente tabella.

Valori limite di esposizione VLE relativi agli effetti sensoriali [T]	
Condizioni di lavoro normali	2 [T]
Esposizione localizzata degli arti	8 [T]
Valori limite di esposizione VLE relativi agli effetti sanitari [T]	
Condizioni di lavoro controllate	8 [T]

Tabella 8 - VLE per l'induzione magnetica esterna per frequenze comprese tra 0 e 1 Hz

In riferimento alla Tabella 9 il VLE relativo agli effetti sensoriali è il VLE applicabile in condizioni di lavoro normali ed è correlato alla prevenzione di nausea e vertigini dovute a disturbi sull'organo dell'equilibrio, e di altri effetti fisiologici, conseguenti principalmente al movimento del soggetto esposto all'interno di un campo magnetico statico.

Il VLE relativo agli effetti sanitari in condizioni di lavoro controllate è applicabile su base temporanea durante il turno di lavoro, dove giustificato dalla pratica o dal processo produttivo, purché siano state adottate le misure di prevenzione di cui all'articolo 208, comma 4

I VLE per le frequenze inferiori a 1 Hz sono limiti per il campo magnetico statico, la cui misurazione non è influenzata dalla presenza del soggetto esposto.

7.3 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 minimizzare 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 presentano un THD globale contenuto entro il 3%;
- variazioni di tensione e frequenza. La propagazione in rete di queste ultime è limitata dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia. Le fluttuazioni di tensione e frequenze sono però causate per lo più dalla rete stessa. Si rendono quindi necessarie finestre abbastanza ampie, per evitare una continua inserzione e disinserione dell'impianto agrivoltaico;
- la componente continua immessa in rete. Il trasformatore elevatore contribuisce a bloccare tale componente. In ogni modo 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 a 3 s) sono in genere dovute al coordinamento delle protezioni effettuato dal gestore di rete locale.

8. CONCLUSIONI

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 e alle Norme CEI di riferimento, riportando per ogni opera elettrica la già menzionata DPA.

Tutti i cavidotti, delimitati dalla propria DPA, ricadono all'interno di aree nelle quali non risultano essere presenti recettori sensibili ovvero aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenza di persone per più di quattro ore giornaliere. Attraverso il calcolo del campo dell'induzione magnetica nelle varie sezioni del parco agrivoltaico è stato rilevato che non ci sono fattori di rischio per la salute umana dovuti all'esercizio dell'impianto, 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, per quanto riguarda il campo elettrico generato si può sostenere che è nullo a causa dello schermo dei cavi e negli altri casi alquanto trascurabile per distanze superiori a qualche cm dalle parti in tensione.

Non si ritiene, pertanto, necessario adottare misure di salvaguardia particolari in quanto il parco in oggetto si trova in lontananza da possibili recettori sensibili presenti. In particolare, non si ravvisano pericoli per la salute dei lavoratori eventualmente presenti nelle aree interessate in quanto le zone che rientrano nel limite di attenzione ma non nell'obiettivo di qualità non richiedono la presenza umana per più di 4 h giornaliere, rientrando quindi nei limiti di legge. Si fa inoltre presente che, in fase di costruzione dell'impianto le linee saranno fuori tensione, pertanto i lavoratori non saranno esposti a nessun campo elettromagnetico; nelle fasi di collaudo e manutenzione ordinaria e/o straordinaria invece, come precedentemente descritto, per tutte le componenti dell'impianto vengono rispettati i valori di azione (e pertanto i valori limite di esposizione) indicati nel D.Lgs. 159/2016.

Non si ritiene pertanto necessario adottare misure di salvaguardia particolari in quanto il parco in oggetto si trova in zona agricola e sia gli impianti di produzione e le opere connesse (linee elettriche interrato) sono state posizionate in modo da osservare le relative fasce di rispetto dai possibili ricettori sensibili presenti.

Si sottolinea, peraltro, che tutte le componenti dell'impianto e le opere connesse sono state posizionate in luoghi che non sono adibiti a permanenze prolungate della popolazione e tanto meno negli ambienti particolarmente protetti, quali scuole, aree di gioco per l'infanzia, ecc.

In ogni caso si rammenta che i calcoli sono stati effettuati con le correnti nominali in caso di massima potenza d'immissione dell'impianto, correnti che saranno raggiunte solamente in limitati archi temporali. Si fa, inoltre, presente che all'interno delle stazioni elettriche possono accedere solamente persone esperte del settore e che le stesse risultano rispettare i limiti di campo elettromagnetico se realizzate secondo le specifiche ENEL, TERNA e le Norme CEI.

Si può concludere, pertanto, che la realizzazione dell'opere elettriche relative al parco agrivoltaico sito in località "Villamuscas" nel comune di Uta (CA) rispetta la normativa vigente.