



REGIONE CALABRIA

COMUNE DI CROTONE



PROVINCIA DI CROTONE

COMUNE DI SCANDALE

Proponente	Meenergy Srl Via Milazzo 17, Bologna (BO), 40121				
			Partnered by:		
Progettazione	Ing. Fabio Domenico Amico Via Milazzo, 17 40121 Bologna (BO) f.amico@green-go.net		Progettazione architettonica ed elettrica		Dott. Ing. Fabio Rapicavoli Via Manganelli n. 20g 95030 Nicolosi (CT) f.rapicavoli@e-prima.eu
SIA e studi specialistici	E-PRIMA S.R.L. Via Manganelli, 20 95030 Nicolosi (CT) P.IVA 05669850876 Tel. 095914116 - 3339533392 info@e-prima.eu ; info@marcolaudani.com		 Relazione Agronomica		Dott. Agronomo Antonio Fruci C.da Frassà, s.n.c. 88025 Maida (CZ) Cell. 3393047810 a.fruci@libero.it
Relazione Valutazione Impatto Acustico	Dott. Marco Taverna Sinteco S.a.S. Via Pietro Caligiuri, 19 88046 Lamezia Terme (CZ) Tel. 3343262458 taverna-m@libero.it ; sintecosas@pec.it		Valutazione Preliminare Interesse Archeologico		Dott. Di Lieto Viale T. Campanella, 186 int. 9/G 88100 Catanzaro (CZ) Fax 1782779626 Tel. 08351973918 - 3389813154 info@dilietosrl.com ; dilieto@pec.it
Opera	Progetto di realizzazione di un impianto agrivoltaico e opere connesse nei Comuni di Crotona (KR) e Scandale (KR), denominato Brasimato				
Oggetto	Codice elaborato: BRSPD0R07-00				
	Titolo elaborato: Relazione impatto elettromagnetico				
00	14/07/2023	Emissione per progetto definitivo		Ing. Simone Pontesilli	Ing. Daniele Tubertini
Rev.	Data	Oggetto della revisione		Elaborazione	Verifica
					Ing. Fabio Domenico Amico
					Approvazione

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 2

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
2.	NORME E LEGGI DI RIFERIMENTO.....	4
3.	CENNI TEORICI SUL MODELLO UTILIZZATO.....	8
4.	DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO.....	9
5.	ANALISI DELL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO.....	10
5.1	MODULI FOTOVOLTAICI	10
5.2	CAVI ELETTRICI DI COLLEGAMENTO	10
5.2.1.	CAVI MT	10
5.2.2.	CAVI BT	12
5.3	MV POWER STATION.....	16
5.3.1.	INVERTER	17
5.3.2.	TRASFORMATORI MT/BT	18
5.4	SOTTOSTAZIONE ELETTRICA MT/AT.....	22
6.	FASCE DI RISPETTO.....	23
7.	CONCLUSIONI.....	25

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 3

1. INTRODUZIONE

Lo scopo della presente relazione è di fornire una descrizione tecnica di un impianto agroenergetico denominato “Brasimato” e delle relative opere di connessione, provvisto di inseguitori mono-assiali, con potenza di immissione in rete pari a 22 MW, potenza di picco pari a 23,55 MW_p, da ubicarsi nei Comuni di Crotona e Scandale (KR).

La società proponente è la **Meenergy S.r.l.**, con sede a Bologna, in via Milazzo 17.

L’impianto fotovoltaico sarà quindi connesso alla rete elettrica nazionale in virtù della STMG proposta da Terna (Codice Pratica 202200334), nella titolarità della società proponente, con potenza in immissione pari a 22 MW. Lo schema di allacciamento alla RTN prevede la connessione in antenna a 150 kV sull’ampliamento della Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN a 380/150 kV denominata “Scandale”.

Lo studio in oggetto ha l’obiettivo di valutare il campo elettrico e magnetico generati dalla messa in opera del parco in esame, nei riguardi della popolazione, e definire una “fascia di rispetto”. Quest’ultima, secondo il DM 29/05/2008, è definita come lo spazio circostante un elettrodotto, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzato da un’induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all’obiettivo di qualità.

All’interno di tali aree non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore. Per la verifica della sicurezza dei lavoratori presenti nelle aree interessate sarà verificato il rispetto dei limiti di esposizione al fine di evitare l’insorgenza di effetti acuti o cronici.

Al calcolo della fascia di rispetto segue la verifica dell’assenza di ricettori sensibili secondo quanto riportato al DM sopra citato.

Comune: Crotona e Scandale (KR)	Provincia: Crotona
Denominazione: Brasimato	

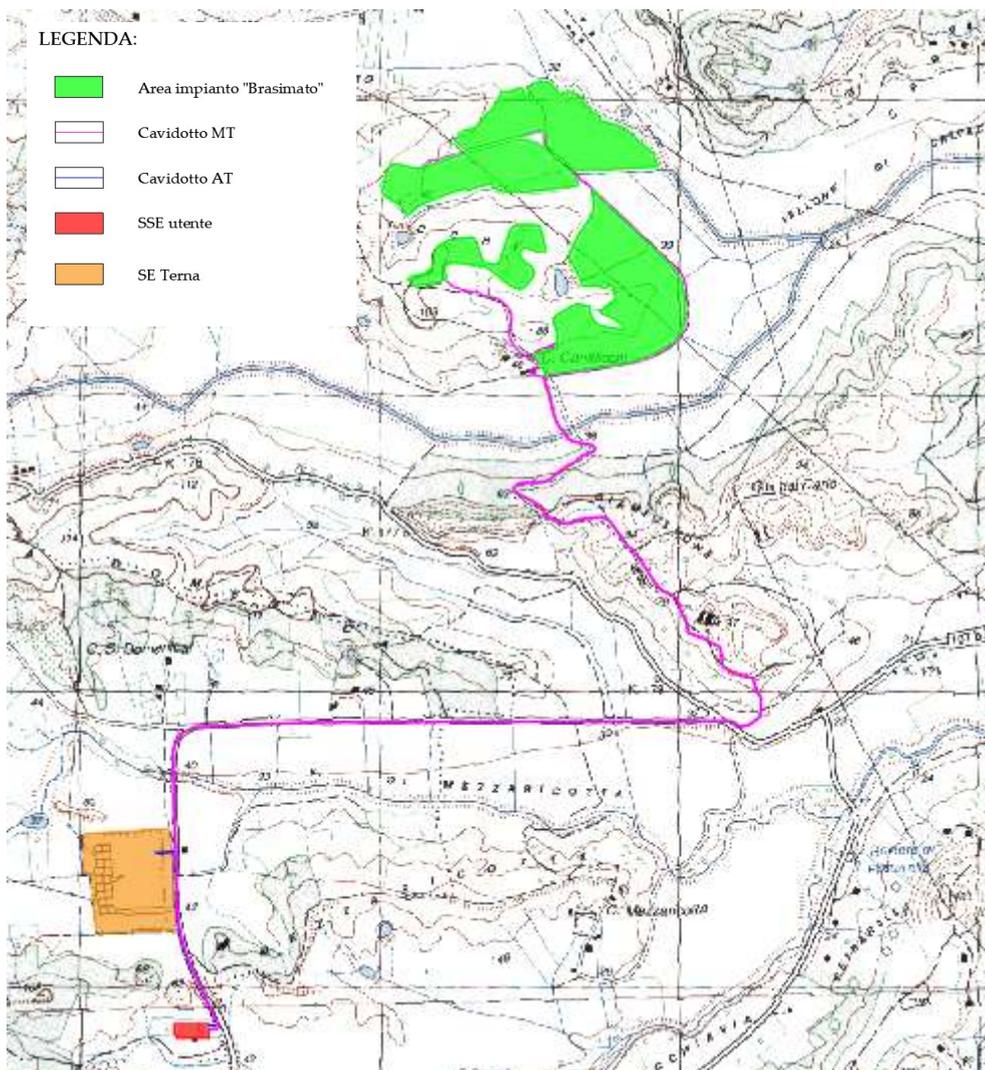


Figura 1: Inquadramento IGM area d'impianto e cavidotto MT in progetto

2. NORME E LEGGI DI RIFERIMENTO

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). In particolare, con l'approvazione della Legge 22 febbraio 2001, n.36 "Legge quadro sulla protezione delle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", il legislatore ha previsto la determinazione di tre decreti attuativi per la determinazione di:

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 5

- Limiti esposizioni a campi elettromagnetici ad una frequenza di 50 Hz per la popolazione;
- Limiti delle esposizioni a campi con frequenze comprese tra i 100 kHz e i 3 GHz per la popolazione;
- Limiti per i lavoratori.

Da qui, sono stati definiti sia i limiti massimi di intensità di campo da non superare in alcun caso, ovvero i *limiti di esposizione*, così come i *valori di attenzione* e *obiettivi di qualità*, di cui si riporta una definizione:

Limiti di esposizione	Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione ai fini della tutela dagli effetti acuti, ovvero inteso come valore efficace istantaneo.
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. Questo valore è inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore.
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. Questo valore fa riferimento ai nuovi impianti ed è inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore.

Tabella A1: Definizioni valori di attenzione e obiettivi di qualità

La normativa di riferimento in Italia per le 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"; tale decreto, per effetto di quanto fissato dalla legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico, stabilisce:

- *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*

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

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 in AT.

Relativamente alla definizione di limiti di esposizione, ai valori di attenzione e agli 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 seguito, 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. 1999/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRP1998, OMS)	100	5.000

Tabella A2: Valori di riferimento e limiti di induzione magnetica e campo elettrico

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 almeno 4 ore al giorno. Tale valore è da intendersi come media 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 e edifici in fase di realizzazione in prossimità di linee e di installazioni elettriche già esistenti (valore medio 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.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 7

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, posta ad un valore pari a 0.2 μT (microTesla), valore limite cautelativo al di sotto del quale è dimostrata la non insorgenza di patologie.

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)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$1,0 \times 10^6 / f$
$1,64 \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Tabella B1: VA 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)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Tabella B2: VA per i campi magnetici ambientali

Nel caso degli impianti a frequenza industriale (50 Hz) i valori da rispettare per il campo elettrico risultano:

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 8

- $5 \times 10^5 / 50 = 1\ 000\ \text{V/m}$;

mentre per il campo magnetico:

- $1 \times 10^3 = 1\ 000\ \mu\text{T}$.

I valori di azione (VA), consentono una valutazione semplificata delle conformità ai pertinenti VLE (valori limite di esposizione). 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.

Infine, in questa sede, si richiamano le principali Norme CEI:

- 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";
- 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 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/bT".

In particolare, per quanto riguarda il calcolo dell'induzione magnetica e la determinazione delle fasce si è tenuto conto delle indicazioni tecniche previste nel decreto del 29 maggio 2008 e nelle Norme CEI 106-11 e CEI 106-12 nelle quali viene ripreso il modello di calcolo normalizzato della Norma CEI 211-4 e vengono proposte, in aggiunta, delle formule analitiche approssimate che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data distanza dal centro geometrico della linea elettrica.

3. CENNI TEORICI SUL MODELLO UTILIZZATO

Ogni apparecchiatura che produce o che viene attraversata da una corrente elettrica (dinamo, cavi elettrici, elettrodomestici, etc.) è caratterizzata da un *campo elettromagnetico*. Il campo elettromagnetico presente in un dato punto dello spazio è definito da due vettori: il *campo elettrico* e l'*induzione magnetica*.

Il campo elettrico è prodotto dalle cariche elettriche statiche e la sua intensità viene misurata in Volt al metro (V/m). I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente, fisicamente descritta come flusso ordinato di elettroni o particelle/molecole

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto		
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico		
	Rev. 00 – 14/07/2023			Pag. 9

cariche elettricamente. L'intensità dei campi magnetici intensità è misurata 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).

L'intensità di entrambi i campi è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza; inoltre, la diffusione del CEM può essere alterata anche dalla presenza di un altro campo elettromagnetico posto nelle sue immediate vicinanze.

Tuttavia, mentre la maggior parte dei materiali di uso comune riesce a schermare efficacemente il campo elettrico generato, il campo magnetico li attraversa facilmente.

La diffusione del campo elettromagnetico nello spazio avviene nello stesso modo in tutte le direzioni allor quando non esista la presenza di ostacoli che, a seconda della loro natura, inducono sul campo elettromagnetico riflessioni, rifrazioni, diffusioni, assorbimento, ecc.

In generale le correlazioni tra campo elettrico e campo magnetico sono assai complesse, dipendono dalle caratteristiche della sorgente, dal mezzo di propagazione, dalla presenza di ostacoli nella propagazione, dalle caratteristiche del suolo e dalle frequenze in gioco.

Nel presente documento verranno esaminate le apparecchiature e le infrastrutture necessarie alla realizzazione dell'impianto proposto, con particolare riguardo alla generazione di campi elettromagnetici a bassa frequenza.

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Nell'esercizio degli impianti fotovoltaici in Italia, i campi elettromagnetici che vengono indotti si manifestano ad una frequenza di 50 Hz: a così basse frequenze corrispondono lunghezze d'onda in aria molto ampie (6000 km a 50 Hz e 5000 km a 60 Hz).

Le componenti dell'impianto sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione dell'impatto elettromagnetico sono:

- Moduli fotovoltaici;
- Cavi elettrici di collegamento in media e bassa tensione;
- MV Power Station;
- Sottostazione Elettrica Utente.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 10

5. ANALISI DELL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO

5.1 MODULI FOTOVOLTAICI

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue (DC) e non in corrente alternata: per cui la generazione di CEM variabili è limitata ai soli transitori di corrente (durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento) che risultano 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 considerati assolutamente irrilevanti.

5.2 CAVI ELETTRICI DI COLLEGAMENTO

Al fine di collegare elettricamente tutte le apparecchiature previste per l'impianto fotovoltaico in progetto si prevede l'impiego di:

- Cavi di collegamento in media tensione (MT);
- Cavi di collegamento in bassa tensione (BT);

Per tutti i tratti di cavo previsti è necessario dimensionare accuratamente la sezione del conduttore del cavo in modo tale che esso sia in grado di trasportare i carichi elettrici ivi transitanti in pieno soddisfacimento del criterio termico, elettrico e di corto circuito l'osservazione delle Norme vigenti.

5.2.1. CAVI MT

L'impianto fotovoltaico "Brasimato" sarà connesso alla rete elettrica nazionale in virtù della STMG proposta da TERNA S.P.A.

I cavi MT utilizzati per il trasporto di energia dall'impianto di produzione alla rete di distribuzione nazionale RTN ad un valore di tensione pari a 30 kV, saranno del tipo **ARE4H5EX 18/30 kV** e **ARE4H5E COMPACT 18/30 kV**.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 11



Figura 2: Cavo MT - ARE4H5E COMPACT 18/30 kV



Figura 3: Cavo MT - ARE4H5EX COMPACT 18/30 kV

Complessivamente si prevede l'impiego di cavo MT per i seguenti collegamenti:

- Collegamento in "entra-esci" tra MV Power Station;
- Collegamento MV Power Station – Sottostazione Elettrica Utente;

In totale si prevede, per i collegamenti MT:

LINEA 1 (lato 1P):

- 519 metri di cavo ARE4H5E COMPACT 18/30 kV per il collegamento SKID 4 - SKID 5 (di sezione pari a 3x1x95 mm²);

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 12

- 243 metri di cavo ARE4H5E COMPACT 18/30 kV per il collegamento SKID 5 – SKID 6 (di sezione pari a 3x1x95 mm²);
- 233 metri di cavo ARE4H5E COMPACT 18/30 kV per il collegamento SKID 6 – SKID 3 (di sezione pari a 3x1x150 mm²);
- 880 metri di cavo ARE4H5E COMPACT 18/30 kV per il collegamento SKID 3 – SKID 2 (di sezione pari a 3x1x240 mm²);
- 5311 metri di cavo ARE4H5E COMPACT 18/30 kV per il collegamento SKID 2 – SSE Utente (di sezione pari a 3x1x400 mm²).

LINEA 2 (lato 2P):

- 659 metri di cavo ARE4H5E COMPACT 18/30 kV per il collegamento SKID 1 – SKID 7 (di sezione pari a 3x1x95 mm²);
- 5165 metri di cavo ARE4H5E COMPACT 18/30 kV per il collegamento SKID 7 – SSE Utente (di sezione pari a 3x1x185 mm²).

Il tipo di posa considerata è di tipo **M** (ovvero direttamente interrata con tegolo o lastra di CLS/altro materiale quale protezione meccanica addizionale), con profondità dello scavo pari ad 1,2 m.

5.2.2. CAVI BT

All'interno dell'area di impianto saranno inoltre predisposte delle trincee in terreno su terreno agricolo in cui verranno ubicati i collegamenti di bassa tensione necessari a collegare:

- Stringhe e "DC string combiner box";
- "DC string combiner box" – MV Power Station (Skid);

Il collegamento elettrico in bassa tensione tra stringhe e DC string combiner box è stato effettuato mediante un cavo unipolare flessibile stagnato di tipo **H1Z2Z2 – K** ideato appositamente per le applicazioni solari; mentre il collegamento elettrico in bassa tensione tra DC string combiner box e skid è stata effettuata mediante un cavo unipolare in alluminio di tipo **NA2XY- 0.6/1 kV**. La modalità di posa di tali cavi risulta essere di **tipo N** (ovvero interrata mediante l'utilizzo di tubo corrugato DN 63 o simili) e di **tipo A** (ovvero in aria libera). Entrambi i cavi opereranno in regime di corrente continua (DC) a bassi valori di

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 13

intensità di corrente; pertanto, non costituiscono un rischio rilevante per la popolazione in termini di esposizione a CEM.

Campo elettrico

Come suggerito precedentemente, la natura stessa, la scelta tecnica di predisporre il cavo MT secondo una modalità di posa interrata (tipo M) fa sì che il campo elettrico da esso generato risulti pressoché nullo in ogni punto circostante il cavo.

Induzione magnetica (rilevante solo per cavi MT)

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

- Distanza dalle sorgenti (conduttori);
- Intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- Disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- Presenza di sorgenti compensatrici;
- Suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

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

I valori di campo magnetico risultano notevolmente abbattuti mediante interrimento degli elettrodotti. Questi sono posti a 1,2 m di profondità e generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei. L'intensità del campo magnetico, però, rispetto alle linee aeree, si riduce molto più rapidamente con la distanza. Confrontando quindi il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si rileva che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata.

Si fa presente che nella scelta della soluzione tecnica per il collegamento sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	



Tipo:	Documentazione di Progetto		
Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico		
Rev. 00 – 14/07/2023			Pag. 14

In particolare, la scelta di operare con linee 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 nelle immediate prossimità dei cavi. Si fa presente inoltre che, per i calcoli effettuati, sono state considerate le correnti a potenza nominali, ovvero massime circolanti sull'elettrodotto in esame. Vista la natura della sorgente primaria di energia, questa potenza non verrà erogata dall'impianto continuativamente. La norma CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT" definisce la formula da utilizzare nel caso di cavidotto trifase percorso da corrente quando i conduttori siano disposti in piano (verticale o orizzontale) oppure a triangolo.

In particolare, sarà:

<i>Terna trifase di conduttori in piano</i>	<i>Terna trifase di conduttori a triangolo</i>
$B = 0.2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I \cdot S}{D^2}$	$B = 0.1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I \cdot S}{D^2}$
<i>Dove:</i> <i>B = induzione magnetica [μT]</i> <i>I = corrente che percorre i conduttori [A]</i> <i>S = distanza tra le fasi [m]</i> <i>D = distanza tra la terna di conduttori e il punto in cui si vuole calcolare il valore di induzione magnetica [m]</i>	

La scelta di operare con linee interrate, come detto, permette di eliminare l'effetto dovuto al campo elettrico, soprattutto in virtù dell'effetto schermante del terreno.

Attraverso il software Magic v1.8.4.0 (MAGnetic Induction Calculation) della BESHielding, è stato possibile eseguire la simulazione relativa all'impatto elettromagnetico risultante dalla terna di cavi MT di collegamento tra l'impianto fotovoltaico e la Sottostazione Elettrica Utente, il cui percorso interessa in parte anche la viabilità stradale esistente molto frequentata della popolazione locale; e quindi caso più rappresentativo per verifica del rispetto dei valori limite indicati nel DPCM 08/07/2003.

Si evidenziano le seguenti sezioni dal punto di vista elettromagnetico:

TRATTO	LINEA	SEZIONI [mmq]	CORRENTI [A]
--------	-------	---------------	--------------

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

A	Linea 1	3x1x95	81
B	Linea 1	3x1x95	162
C	Linea 1	3x1x150	243
D	Linea 1	3x1x240	324
E	Linea 1	3x1x400	378
F	Linea 2	3x1x95	54
G	Linea 2	3x1x185	139
H	Linea 1 + Linea 2	3x1x185 + 3x1x400	139+378

Si riporta di seguito la mappa 2D dell'induzione magnetica su un piano, ipotizzando la posizione delle terne disposte a triangolo, ad una inter-distanza pari al loro diametro, collocate nel piano XY.

È stato preso in considerazione il tratto H, come caso più gravoso tra quelli elencati precedentemente.

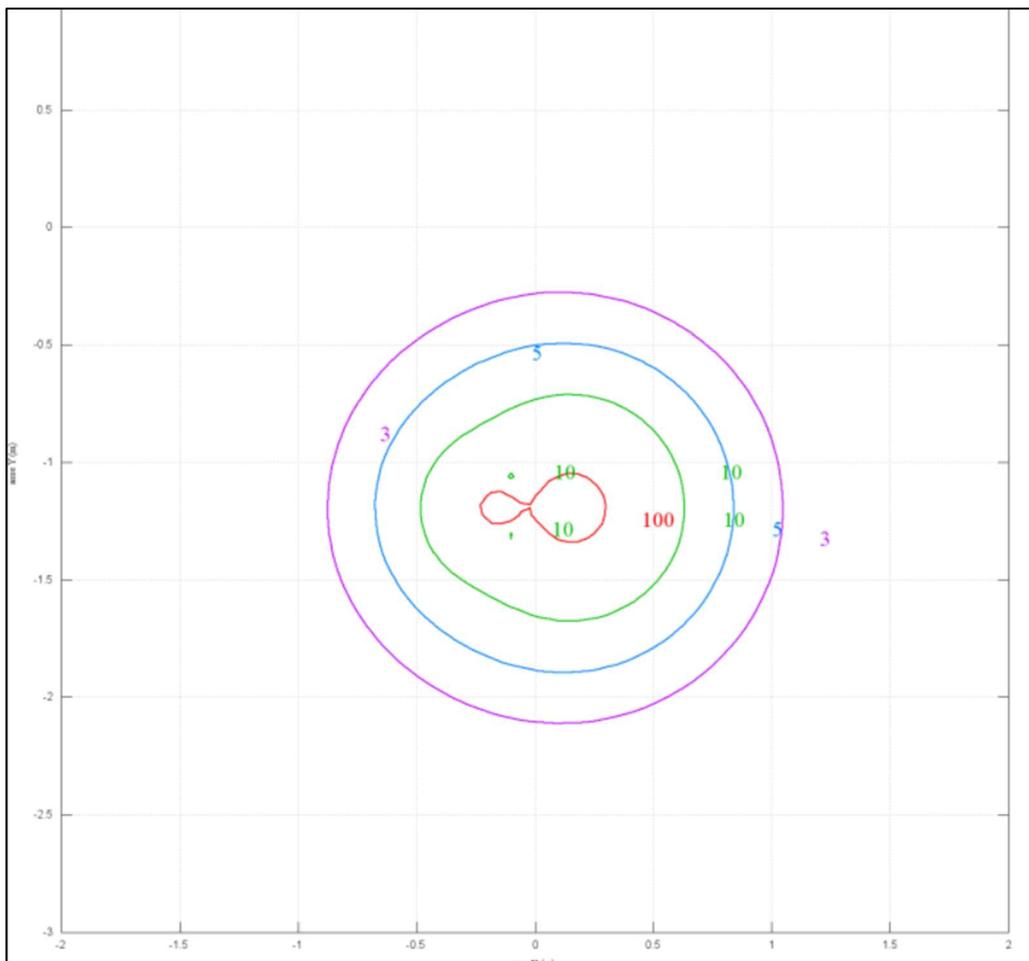


Figura 4: Induzione magnetica su piano 2D: curve isolivello

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 16

Come è possibile constatare dall'immagine sopra, quindi, il valore di induzione magnetica al suolo, ovvero ad 1.2 m dall'asse del cavidotto, risulta inferiore a 10 μ T, valore indicato nel DPCM 08/07/2003 come limite di attenzione previsto per le aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi, negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 ore al giorno. Inoltre, il valore di induzione magnetica al suolo risulta rispettare anche il valore obiettivo di qualità di 3 μ T.

Infine, come è possibile constatare anche dall'inquadramento IGM proposto in precedenza (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*), si sottolinea che la posa dei cavidotti è prevista in luoghi non adibiti a permanenze prolungate della popolazione e lontana da ambienti particolarmente protetti, quali scuole, aree di gioco per l'infanzia, etc; correndo per la gran parte del loro percorso lungo la rete viaria o ai margini delle strade di impianto.

Si sottolinea quindi come quest'ultimo si trovi a distanza sempre maggiore di 2 m da qualsiasi elemento sensibile ad ora individuato.

Per tutti i cavidotti MT sono dunque rispettati anche i valori di azione indicati nel D.Lgs. 159/2016, pari a 100 μ T per il campo magnetico.

La Distanza di Prima Approssimazione per i cavidotti MT nel caso più sfavorevole risulta essere quindi pari a 1 m.

5.3 MV POWER STATION

Per il progetto in esame è prevista l'installazione di n°4 skid da 4000 kVA, n°2 skid da 2667 kVA, N°1 skid da 4200 kVA, ognuno con struttura di dimensioni pari a 6058 / 2896 / 2438 mm (W / H / D), comprensiva di:

- N°1 Trasformatore BT/MT: necessario per alzare il livello di tensione nel campo fotovoltaico in modo da ridurre le perdite per effetto Joule durante il trasporto dell'energia prodotta fino alla SSE utente;
- N°1 Inverter: necessario per la trasformazione da corrente continua in uscita dai moduli fotovoltaici a corrente alternata necessaria per immettere la potenza prodotta nella rete elettrica nazionale;
- Quadro elettrico MT: necessario per avere la possibilità di scollegare e disalimentare uno o più parti dell'impianto elettrico in caso di guasto o manutenzione.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 17



Figura 5: Rappresentazione grafica della MV Power Station selezionata per il progetto in esame

5.3.1. INVERTER

La corrente elettrica prodotta dai pannelli viaggia tramite i cavi collettori BT e arriva ad un inverter per essere trasformata in corrente alternata (AC) a 50Hz, in modo da poter essere immessa in rete o assorbita dalle utenze elettriche.

Ciascun inverter è provvisto di un trasformatore ad alta frequenza, impiegato al fine di ridurre al minimo le perdite di conversione AC/DC.

Essendo pertanto costituiti da componenti elettronici operanti ad alte frequenze, il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni atte a garantire sia l'immunità dell'inverter dai disturbi elettromagnetici esterni, sia ridotte emissioni di campi CEM per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo).

Si conclude affermando che l'impatto elettromagnetico indotto dagli inverter adottati per l'impianto fotovoltaico in progetto è insignificante ai fini di un potenziale rischio di esposizione a campi EM alla popolazione; pertanto, i soli elementi generanti un campo magnetico nella MV Power Station sono il trasformatore MT/BT ed i collegamenti elettrici in media e bassa tensione tra il trasformatore ed i quadri elettrici.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 18

5.3.2. TRASFORMATORI MT/BT

Nel trasformatore MT/BT il valore dell'induzione magnetica B decresce rapidamente al crescere della distanza dal trasformatore. Per i cablaggi, l'induzione magnetica può essere calcolata come indicato nel Paragrafo 5.2 della presente relazione.

Per distanze comprese tra 1 e 10 m, nei trasformatori in resina l'induzione magnetica può essere calcolata attraverso la seguente formula (sviluppo tridimensionale del campo):

$$B = 0.72 * u_{cc} * \frac{\sqrt{S_r}}{d^{2.8}}$$

dove:

u_{cc} : tensione di corto circuito [%], pari al 6% dato che i trasformatori utilizzati hanno tutti una

potenza superiore a 400 kVA;

S_r : potenza apparente nominale del trasformatore [kVA];

d : distanza dal trasformatore [m].

Otteniamo quindi i valori di induzione magnetica riportati nella seguente tabella, al variare della distanza dal trasformatore, considerando i diversi modelli di trasformatore:

Distanza	Induzione elettromagnetica [μ T]		
	trasformatore da 500 kVA	trasformatore da 1500 kVA	trasformatore da 2000 kVA
0,5	672,75	1165,23	1345,50
1	96,60	167,31	193,20
1,5	31,04	53,76	62,08
2	13,87	24,02	27,74
2,5	7,43	12,86	14,85
3	4,46	7,72	8,91
3,5	2,89	5,01	5,79
4	1,99	3,45	3,98
4,5	1,43	2,48	2,86
5	1,07	1,85	2,13

Si è considerato il campo di induzione magnetica generato dal trasformatore MT/BT a secco di taglia maggiore tra quelli previsti nel progetto, pari a 4200 kVA. Si riporta l'andamento

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

dell'induzione magnetica su un piano di un quadro MT e un trasformatore MT/BT isolato in resina da 4200 kVA, operante a pieno carico, posto su un piano ad altezza di 0 m dal livello del suolo, ottenuto mediante software Magic v 1.8.4.0 (MAGnetic Induction Calculation) della BESHielding.

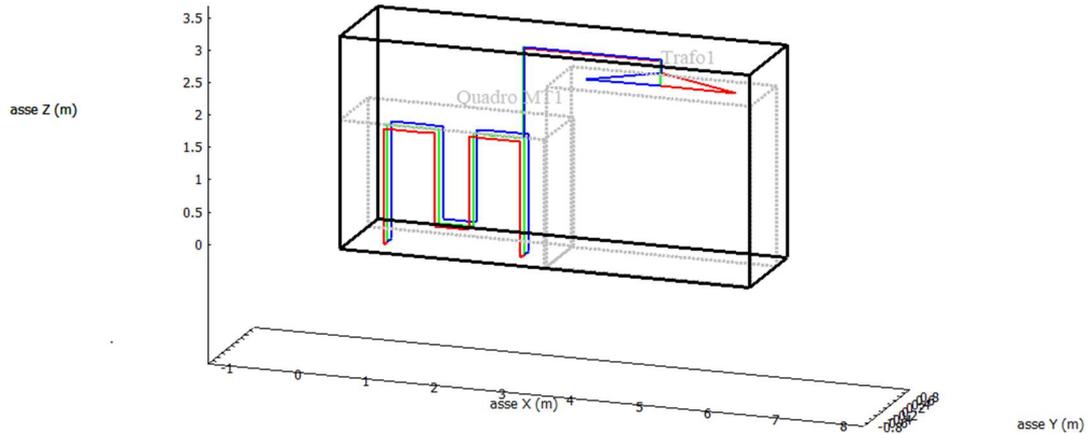


Figura 6: Posizione nello spazio tridimensionale del trafo MT/BT studiato

Si riporta in seguito l'andamento dell'induzione magnetica su un piano (XZ) e su piano (YZ) ottenuto mediante software Magic v 1.8.4.0 (MAGnetic Induction Calculation) della BESHielding.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

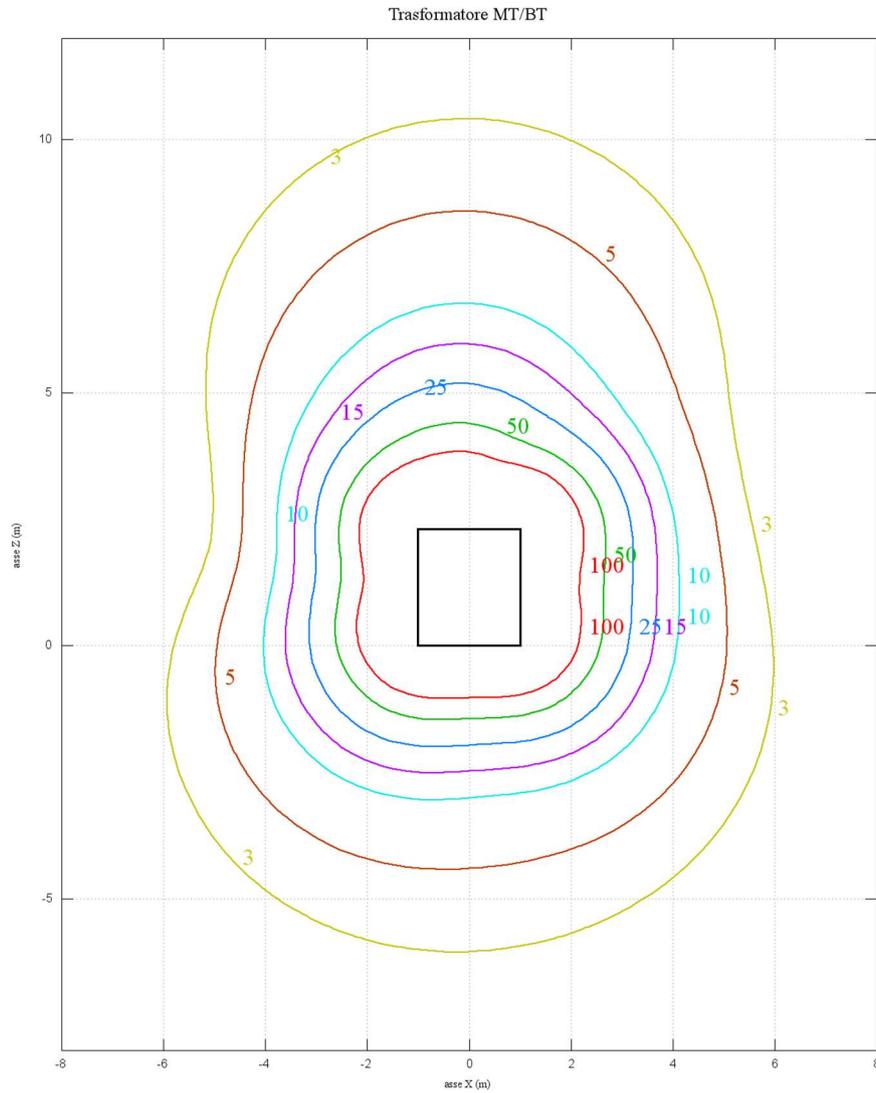


Figura 7: Andamento del campo di induzione magnetica del trasformatore MT/BT (4200 kVA) sul piano XZ, con Y=0.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

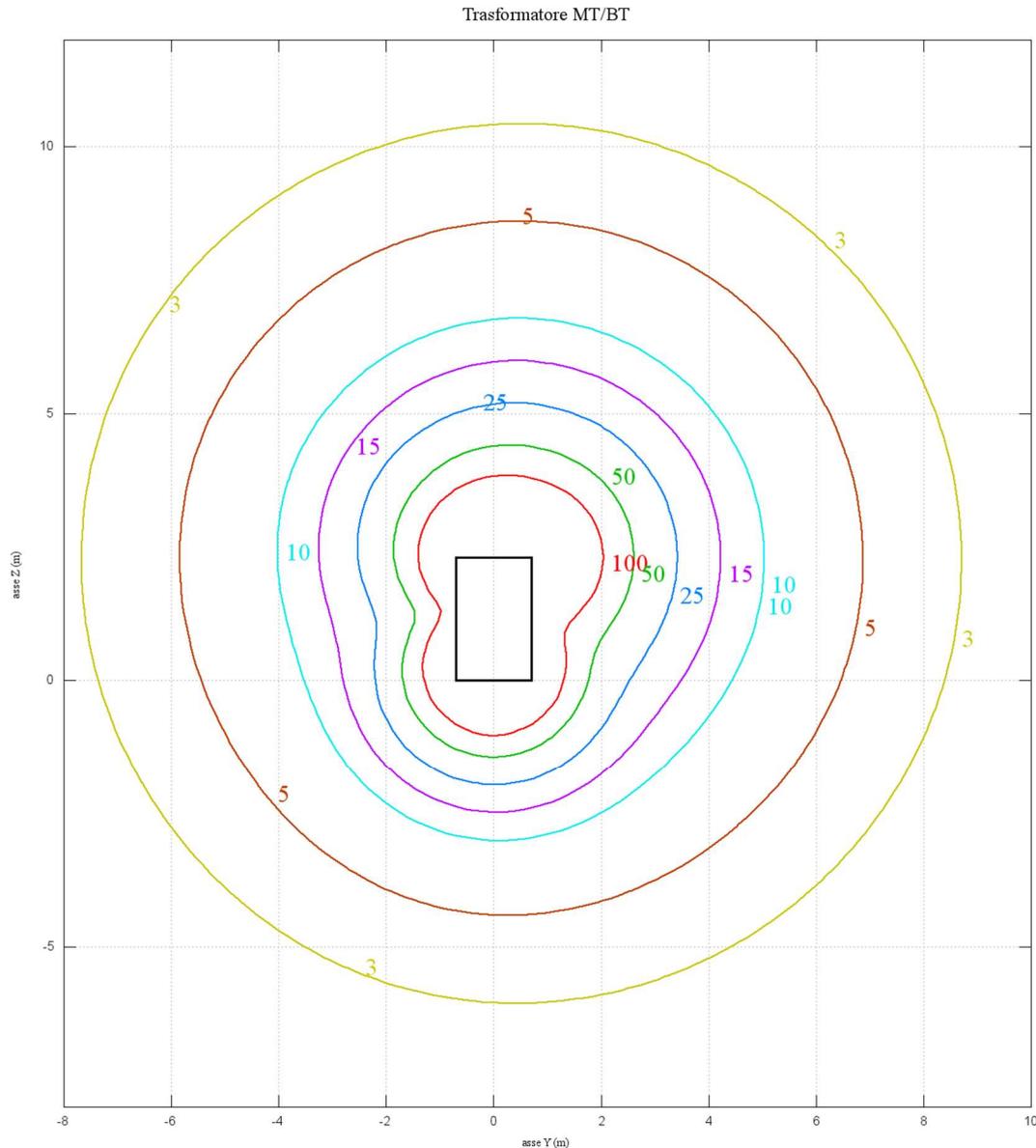


Figura 8: Andamento del campo di induzione magnetica del trasformatore MT/BT (4200 kVA) sul piano YZ, con X=0.

Analizzando i valori di induzione magnetica precedenti sul piano XZ e YZ, si nota che mantenersi ad una distanza in direzione dell'asse x di circa 6 m dal trasformatore MT/BT è sufficiente per raggiungere un valore di induzione magnetica che garantisce il rispetto dell'obiettivo di qualità di 3 μ T; mentre in direzione Y la condizione è soddisfatta per una distanza di circa 8 metri.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 22

5.4 SOTTOSTAZIONE ELETTRICA MT/AT

In generale, i contributi maggiori al campo elettromagnetico intorno ad una sottostazione derivano dalle linee di potenza entranti ed uscenti dalla sottostazione stessa. L'entità del campo elettromagnetico dovuto ai trasformatori diminuisce rapidamente con la distanza; oltre la recinzione della sottostazione i campi elettromagnetici prodotti dagli equipaggiamenti dentro la sottostazione sono tipicamente indistinguibili dai livelli del fondo ambientale. L'ARPA di Rimini ha effettuato nel 1994 delle misure in alcune cabine primarie (v. Inquinamento Elettromagnetico, P. Bevitori et al. - Maggioli Editore, 1997 - pagg. 188-190). Il campo elettrico misurato lungo il perimetro di recinzione di cabine primarie è risultato sempre inferiore a 5 V/m; si ricorda che i limiti di legge per il campo elettrico sono di 5000 V/m per lunghe esposizioni e di 10000 V/m per brevi esposizioni. Il livello di induzione magnetica è sempre risultato minore di 0.2 μ T, valore che soddisfa anche la SAE. Nella seguente tabella sono riportati, invece, i valori del campo elettrico e del campo magnetico rilevato a seguito di misurazioni effettuate dall'ASL su campi funzionanti.

Luogo di misura	Valore di intensità di campo elettrico (V/m)	Valore di intensità di induzione magnetica (10^{-6} tesla)
Porta ingresso sottostazione	350	0,7
Interno alla sottostazione	179	4,2
Vicino ad una linea alta tensione a 150 kV	435	0,3

La misura è stata effettuata vicino la porta di ingresso della sottostazione, all'interno della sottostazione e vicino ad una linea alta tensione a 150 kV

Si nota come tutti i valori sono molto al di sotto della soglia di attenzione mentre solo il valore misurato all'interno della sottostazione è superiore a 3 μ T, obiettivo di qualità nel DPCM 08/07/2003, mentre tutte le altre misure soddisfano anche tale valore.

In tutta la sottostazione sono dunque rispettati anche i valori di azione indicati nel D.Lgs. 159/2016, pari a 1.000 V/m per il campo elettrico e 1.000 μ T per il campo magnetico.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

6. FASCE DI RISPETTO

Per “fasce di rispetto” si intendono quelle definite dalla Legge 22 febbraio 2001 n° 36, all’interno delle quali non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario, ovvero un uso che comporti una permanenza superiore a 4 ore, da determinare in conformità alla metodologia di cui al D.P.C.M. 08/07/2003.

Tale DPCM prevede (art. 6 comma 2) che l’APAT, sentite le ARPA, definisca la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l’approvazione del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Con Decreto 29 maggio 2008 (pubblicato in G.U. n. 156 del 05/07/2008 – Supplemento Ordinario n. 160) il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha approvato la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti. L’Enel ha unificato sul territorio nazionale le fasce di rispetto in caso di opere elettriche esercite in alta tensione dopo prolungate misure presso i propri impianti.

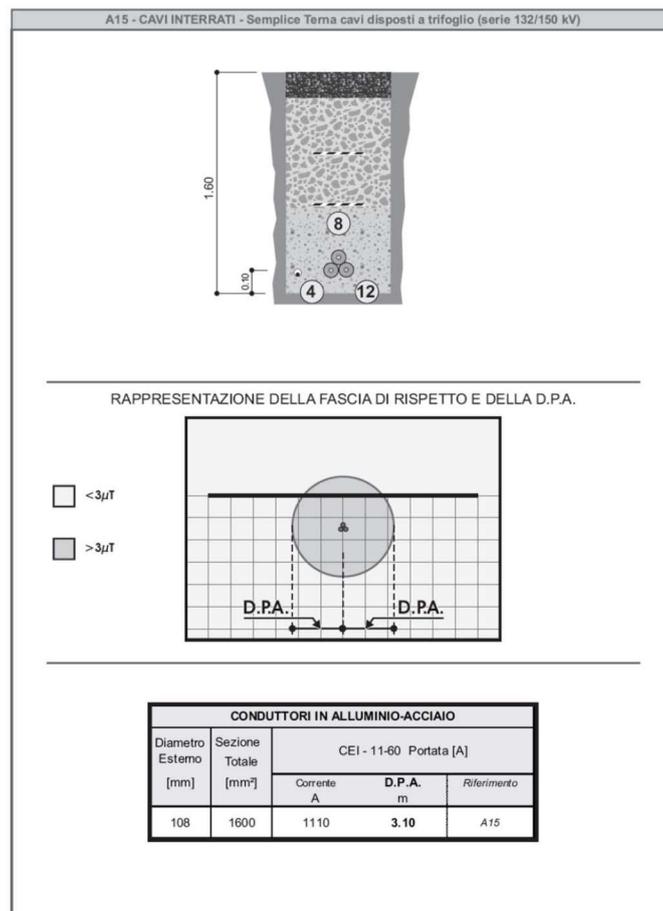


Figura 8 - Fascia di rispetto cavi interrati 150kV. Fonte: ENEL

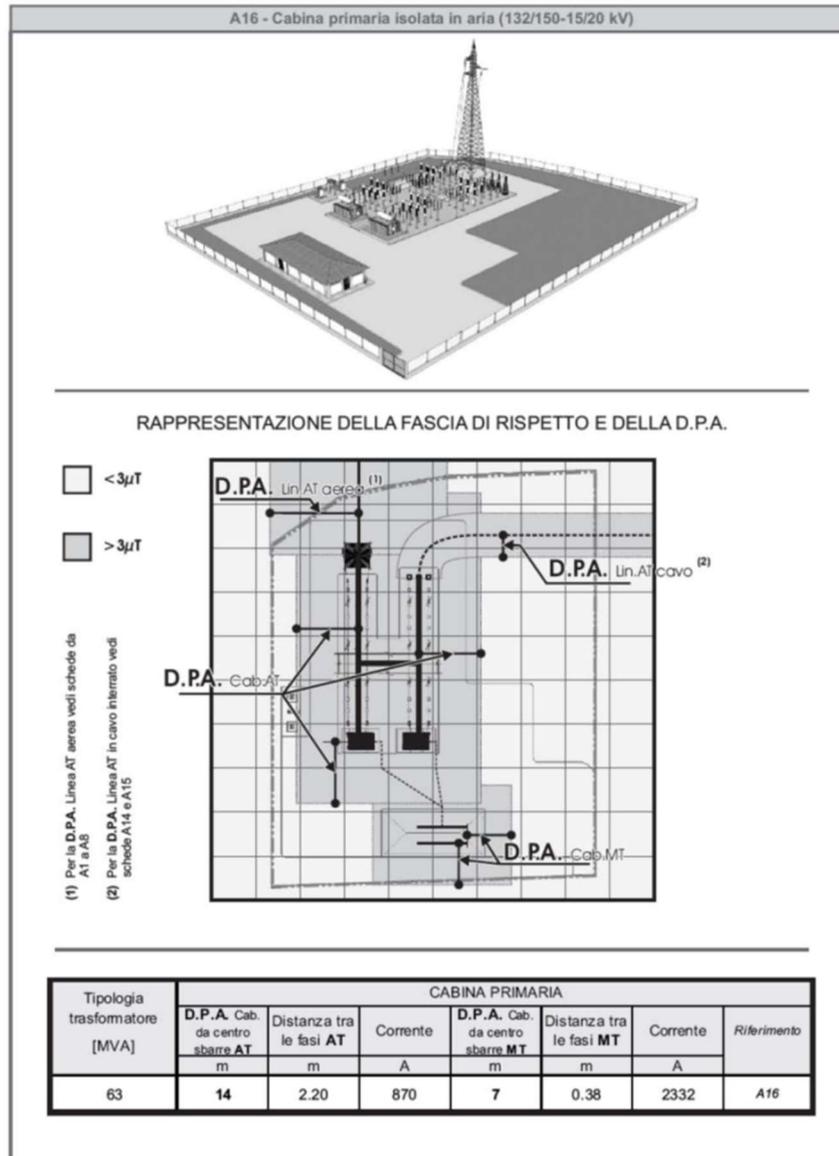


Figura 9 - Fascia di rispetto cabina primaria 150kV. Fonte: ENEL

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 25

7. CONCLUSIONI

La determinazione delle Distanza di Prima Approssimazione è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 e quindi riportando per ogni opera elettrica il valore relativo. Da quanto riportato nei precedenti paragrafi, nonché nei calcoli sopra eseguiti, risulta evidente che i campi generati sono tali da rientrare nei limiti di legge. Dalla verifica di tutta la linea elettrica interrata non esistono recettori sensibili all'interno delle fasce di rispetto come sopra definite.

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 fotovoltaico in oggetto si trova in zona agricola e sia i moduli che le opere connesse (linee elettriche interrate e stazioni elettriche isolate in aria) sono state posizionate in modo da limitare l'impatto elettromagnetico su elementi sensibili ai CEM.

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.

Dai risultati della simulazione si evince che i valori elevati di campo magnetico sono confinati in prossimità della linea e decresce rapidamente. Si ricorda inoltre che tali opere sono posizionate a distanza di centinaia di metri da abitazioni e quindi a distanze considerevoli dal punto di vista elettromagnetico. Si evidenzia inoltre che sia il limite di attenzione di 10 μ T che l'obiettivo di qualità di 3 μ T sono valori intesi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio; ciò significa che i valori precedentemente calcolati in base ai valori nominali sono di gran lunga superiori e cautelativi rispetto a quelli effettivi, in quanto gli impianti fotovoltaici lavorano alla loro potenza nominale solo per brevi periodi della giornata mentre nelle restanti ore (i.e. notturne) lavorano a potenza ridotta o addirittura nulla.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	Relazione impatto elettromagnetico	
	Rev. 00 – 14/07/2023		Pag. 26

Pertanto, si può concludere che per il parco fotovoltaico e le infrastrutture di rete elettrica in esame non si ravvisano pericoli per la salute pubblica per quanto riguarda i campi elettromagnetici.

Comune: Crotone e Scandale (KR)	Provincia: Crotone
Denominazione: Brasimato	