



IMPIANTO AGRIVOLTAICO "FERRARA 5"

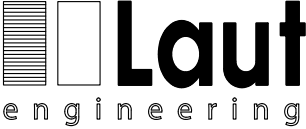


 Comune FERRARA (FE)	Committente JUWI DEVELOPMENT 25 S.R.L. Via Giovanni Battista Pirelli, 30 Milano (MI) - 20124
---	---

PROGETTO DEFINITIVO

Tavola 03R	Scala - Data Dicembre 2025	Titolo RELAZIONE COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA IMPIANTO FOTOVOLTAICO - DPA
---------------------------------	--	--

Progetto

**Laut**
engineering

LAUT engineering s.r.l.
sede legale ed operativa:
Via San Crispino, 106
35129 PADOVA
tel. 049/2612374
e-mail: laut@lautengineering.it

Ing. ALBERTO VOLTOLINA



Rev.	Data	Descrizione	Redige	Verifica	Approva
00	12/25	REDAZIONE PROGETTO DEFINITIVO	M.T.	L.M.	A.V.
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					

codice	681.PD	file	681PD03R00.pdf
--------	--------	------	----------------

QUESTO DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO IN TUTTO O IN PARTE SENZA IL CONSENSO SCRITTO DEL PROGETTISTA IL QUALE SI RISERVA L'ASSOLUTA ED ESCLUSIVA PROPRIETA' (legge n° 633 del 22/04/41 - art. 2575 e segg. C.C.)

	Rev. 0	Data Dicembre 2025	El. Relazione impatto elettromagnetico	Pag. n. 1
---	--------	--------------------	--	-----------

1 INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda la verifica della Compatibilità Elettromagnetica (CEM) dell'impianto fotovoltaico che la società proponente intende realizzare nel Comune di Ferrara (FE). L'impianto, con potenza di picco pari a 118.072,76 kWp e dotato di tracker mono-assiale est-ovest, è finalizzato alla produzione di energia da fonte solare.

1 COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA GENERALE

1.1 Normative

La normativa che si occupa di tutelare la popolazione dall'esposizione ai campi elettromagnetici, disciplina separatamente le alte frequenze (impianti radiotelevisivi, stazioni radio base, ponti radio) e le basse frequenze (elettro-dotti). Le leggi di riferimento nella presente valutazione sono:

- Legge Quadro n.36 del 22 febbraio 2001 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”.
- DPCM (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri) dell'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”.
- DPCM (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri) dell'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, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz”.
- D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 “Attuazione dell'art. 1 della Legge 3 agosto 2007, n.123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro” e s.m.i.

	Rev. 0	Data Dicembre 2025	El. Relazione impatto elettromagnetico	Pag. n. 2
---	--------	--------------------	--	-----------

1.2 Definizioni

Valgono le seguenti definizioni:

- Esposizione: è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;
- Limite di esposizione: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori;
- Valore di attenzione: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere, superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate;
- Elettrodotto: Insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;
- Esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici: è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- Esposizione della popolazione: è ogni tipo di esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici;
- 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 tra-smettere 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 li-vello 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

	Rev. 0	Data Dicembre 2025	El. Relazione impatto elettromagnetico	Pag. n. 3
---	--------	--------------------	--	-----------

distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della ca-bina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.”

1.3 Obbiettivi di qualità

Gli obiettivi di qualità sono:

- 1) I criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili indicati dalle leggi regionali;
- 2) I valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico definiti dallo Stato ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi.

La protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati da linee e cabine elettriche, è obiettivo del DPCM 8 luglio 2003 (artt. 3 e 4) che fissa, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c. 2):

– il valore di attenzione ($10 \mu\text{T}$) e l'obiettivo di qualità ($3 \mu\text{T}$) del campo magnetico da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere (luoghi tutelati).

Il valore di attenzione si riferisce ai luoghi tutelati esistenti nei pressi di elettrodotti esistenti; l'obiettivo di qualità si riferisce, invece, alla progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati esistenti o alla progettazione di nuovi luoghi tutelati nei pressi di elettrodotti esistenti. Il DPCM 8 luglio 2003, all'art. 6, in attuazione della Legge 36/01 (art. 4 c. 1 lettera h), introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto, definita nell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Approvazione della metodologia di calcolo per la de-terminazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti). Detta fascia comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

	Rev. 0	Data Dicembre 2025	El. Relazione impatto elettromagnetico	Pag. n. 4
---	--------	--------------------	--	-----------

2 ANALISI ELETTROMAGNETICA

Come noto, dalla normativa citata in materia, le particolarità costruttive di questi cavi, ossia la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione dovuta alla cordatura, fanno sì che il campo magnetico prodotto sia notevolmente inferiore a quello prodotto da cavi analoghi posati in piano o a trifoglio.

In aggiunta a questa prima considerazione, si fa notare come le metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, con le quali verranno condotti i calcoli nel seguito, fanno esplicito riferimento al caso in questione come un caso per il quale non è richiesto alcun calcolo delle fasce di rispetto.

All'art. 3.2 dell'allegato al suddetto decreto viene infatti detto che:

“sono escluse dall'applicazione della metodologia:

.....

- Le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

In tutti questi casi le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanza previste dal Decreto interministeriale n. 449/88 e dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991”.

	Rev. 0	Data Dicembre 2025	El. Relazione impatto elettromagnetico	Pag. n. 5
---	--------	--------------------	--	-----------

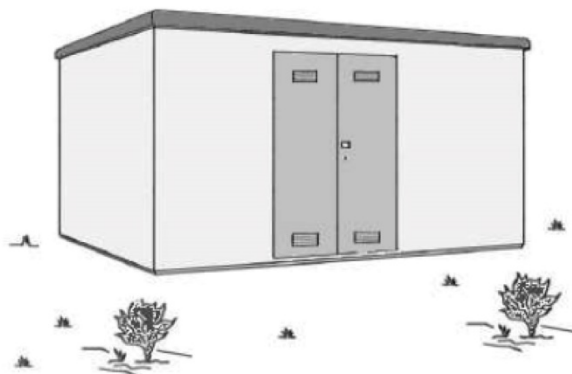
Cabine di campo

La valutazione deve essere eseguita nel rispetto delle norme legislative e tecniche nello specifico il DM 29/05/08, mentre ci sono metodologie di calcolo semplificato, già validate per le cabine standard di distribuzione assimilabili a quelle dei produttori per potenze fino a 630 kVA, per potenze superiori non ci sono valori tabulati, occorrono pertanto dei calcoli dedicati, come meglio specificato di seguito.

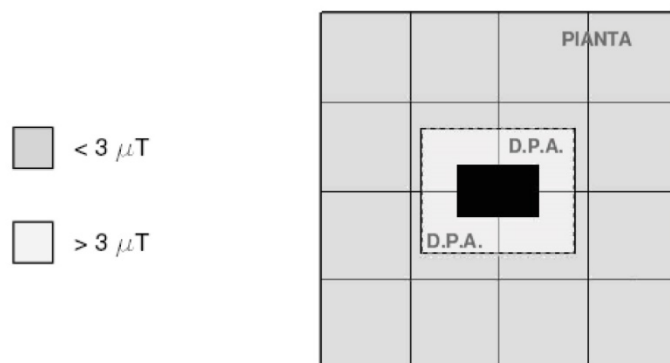
Cabina di Consegna

La valutazione deve essere eseguita nel rispetto delle norme legislative e tecniche nello specifico il DM 29/05/08, mentre ci sono metodologie di calcolo semplificato, già validate per le cabine standard di distribuzione assimilabili a quelle dei produttori per potenze fino a 630 kVA, per potenze superiori non ci sono valori tabulati, occorrono pertanto dei calcoli dedicati, come meglio specificato di seguito. Per la determinazione della Distanza di Prima Approssimazione si è fatto riferimento alla linea guida e-distribuzione “Linea Guida per applicazione del § 5.1.3 dell’Allegato al DM 29.05.08 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche” da cui all’All. B si desume che per una cabina secondaria di trasformazione da 630 kVA la **DPA è 2 m** (vedi figura successiva).

**B9 – CABINA SECONDARIA TIPO BOX O SIMILARI, ALIMENTATA IN CAVO SOTTERRANEO –
TENSIONE 15 KV O 20 KV**



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



 $< 3 \mu T$

 $> 3 \mu T$

DIAMETRO DEI CAVI (m)	TIPOLOGIA TRASFORMATORE (KVA)	CORRENTE (A)	DPA (m) filo parete esterna	RIF.TO
Da 0,020 a 0,027	250	361	1,5	B10a
	400	578	1,5	B10b
	630	909	2,0	B10c

	Rev. 0	Data Dicembre 2025	El. Relazione impatto elettromagnetico	Pag. n. 7
---	--------	--------------------	--	-----------

Cabine trasformazione AT/BT

E' necessario eseguire un calcolo con metodi noti in letteratura tecnica e riconosciuti normativamente, che permettano di valutare le distanze oltre le quali l'induzione magnetica B sia inferiore a 3 uT. Nel caso delle cabine elettriche, ai sensi del § 5.2 dell'allegato al DM 29.05.08, la fascia di rispetto è intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) della cabina e va calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dall'inverter applicando la seguente relazione:

$$DPA=0,40942 \cdot x 0,5241 \cdot \sqrt{I}$$

Dove:

I è la corrente nominale BT in ingresso/uscita dal trasformatore;

x distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (0,05 m).

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

In particolare, sono previste:

- Nel lotto A: 1 trasformatore da 3900kVA e 1 da 4200 kVA;
- Nel lotto B: 1 trasformatore da 4200kVA e 1 da 4500 kVA;
- Nel lotto C: 1 trasformatore da 3900kVA, 1 da 4200 kVA, 2 da 4500 kVA, 3 da 4800 kVA, 4 da 5100 kVA e 1 da 5400 kVA;
- Nel lotto D: 1 trasformatore da 4200 kVA, 1 da 4800 kVA e 2 da 5100 kVA;
- Nel lotto E: 2 trasformatori da 3300 kVA.

Il collegamento lato 800 V dal trasformatore al quadro è il punto in cui la corrente è più elevata. Di seguito calcoliamo il valore dell'induzione considerando le caratteristiche geometriche del cavo individuato, per il calcolo della DPA.

	Rev. 0	Data Dicembre 2025	El. Relazione impatto elettromagnetico	Pag. n. 8
---	--------	--------------------	--	-----------

Il risultato, con i dati suddetti è il seguente:

- Per le cabine equipaggiate con trasformatore di potenza 3300 kVA la DPA così calcolata è pari a **6 m (valore cautelativo)**.
- Per le cabine equipaggiate con trasformatore di potenza 3900 kVA la DPA così calcolata è pari a **6 m (valore cautelativo)**.
- Per le cabine equipaggiate con trasformatore di potenza 4200 kVA la DPA così calcolata è pari a **7 m (valore cautelativo)**.
- Per le cabine equipaggiate con trasformatore di potenza 4500 kVA la DPA così calcolata è pari a **7 m (valore cautelativo)**.
- Per le cabine equipaggiate con trasformatore di potenza 4800 kVA la DPA così calcolata è pari a **7 m (valore cautelativo)**.
- Per le cabine equipaggiate con trasformatore di potenza 5100 kVA la DPA così calcolata è pari a **8 m (valore cautelativo)**.
- Per le cabine equipaggiate con trasformatore di potenza 3900 kVA la DPA così calcolata è pari a **8 m (valore cautelativo)**.

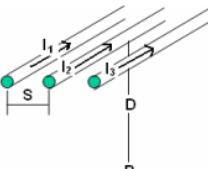
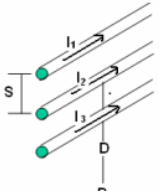
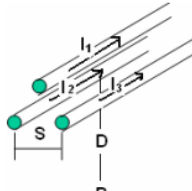
La zona intorno alle cabine BT/AT va intesa di transito e non di permanenza di persone comuni, essa potrà essere invece occasionalmente occupata da personale tecnico elettrico nei momenti di controllo, manutenzione ed attività specialistiche, eseguite comunque nel rispetto dei programmi di sicurezza, valutata nella globalità dei rischi professionali delle aziende di manutenzione.

Lo spazio ove i valori sono notoriamente più elevati di 3 uT (es. immediate vicinanze dei cavi BT in risalita verso il quadro BT di parallelo inverter), è riservato esclusivamente al personale specializzato elettrico, per i quali i tempi di esposizione devono sempre essere definiti nei rispettivi documenti di valutazione dei rischi aziendali (DVR).

Cabina utente

E' necessario eseguire un calcolo con metodi noti in letteratura tecnica e riconosciuti normativamente, che permettano di valutare le distanze oltre le quali l'induzione magnetica B sia inferiore a 3 uT. La norma CEI che più si occupa dell'argomento (oltre quelle generali sui campi magnetici) è la CEI 106-12. Mentre per le spire di raggio R, inerenti gli avvolgimenti del

trasformatore, il campo magnetico decresce in maniera inversamente proporzionale al cubo della distanza D (ove $D \gg R$) e si riduce ad 10^{-3} del valore iniziale (di fatto annullandosi), per $D=10 R$, ciò non può dirsi per i cavi o i condotti sbarre prefabbricati. Le formule a cui fare riferimento sono quelle del paragrafo 4.2 della CEI 106-12, sintetizzate nella figura sottostante.

a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale	c) Terna trifase di conduttori a triangolo
		
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I}{D} \frac{S}{D}$		$B(\mu T) = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I}{D} \frac{S}{D}$

Il collegamento lato 36000V al quadro AT è il punto in cui la corrente è più elevata, data dalla somma delle correnti nominali provenienti dai trasformatori. Di seguito calcoliamo il valore dell'induzione considerando le caratteristiche geometriche del cavo individuato, per il calcolo della DPA, che risulta ricavando D dalla formula **a** (o anche **b**) della precedente figura.

Il risultato, con i dati suddetti è il seguente:

DPA = 8 m (valore cautelativo).

La zona intorno alla cabina utente va intesa di transito e non di permanenza di persone comuni, essa potrà essere invece occasionalmente occupata da personale tecnico elettrico nei momenti di controllo, manutenzione ed attività specialistiche, eseguite comunque nel rispetto dei programmi di sicurezza, valutata nella globalità dei rischi professionali delle aziende di manutenzione.

Lo spazio ove i valori sono notoriamente più elevati di 3 uT (es. immediate vicinanze dei cavi BT in risalita verso il quadro BT di parallelo inverter), è riservato esclusivamente al personale specializzato elettrico, per i quali i tempi di esposizione devono sempre essere definiti nei rispettivi documenti di valutazione dei rischi aziendali (DVR).

	Rev. 0	Data Dicembre 2025	El. Relazione impatto elettromagnetico	Pag. n. 10
---	--------	--------------------	--	------------

CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stato condotto uno studio analitico volto a valutare l'impatto elettromagnetico delle opere da realizzare, e, sulla base delle risultanze, individuare eventuali fasce di rispetto da apporre al fine di garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici, secondo il vigente quadro normativo. Una volta individuate le possibili sorgenti dei campi elettromagnetici, per ciascuna di esse è stata condotta una valutazione di tipo analitico, volta a determinare la consistenza dei campi generati dalle sorgenti e l'eventuale distanza di prima approssimazione (DPA).

Per quel che riguarda il campo di induzione magnetica il calcolo nelle varie sezioni di impianto ha dimostrato come non ci siano fattori di rischio per la salute umana a causa delle azioni di progetto, poiché è esclusa la presenza di recettori sensibili entro le fasce per i quali i valori di induzione magnetica attesa non sono inferiori agli obiettivi di qualità fissati per legge.