



PROGETTO DI COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN
IMPIANTO FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 13,793
MW_P DA REALIZZARSI NEI COMUNI DI PORTOSCUSO
(SU) E GONNESA (SU), CON LE RELATIVE OPERE DI
CONNESSIONE ELETTRICHE
DENOMINATO “CIRFINI”

RELAZIONE SUI CAMPI
ELETTRICI E MAGNETICI

Rev. 0.0

Data: 15 APRILE 2022

PV016-REL014

Committente:

Ecosardinia 2 S.r.l.
Via Manzoni, 30
20121 MILANO (MI)
C. F. e P. IVA: 11117500964
PEC: ecosardinia2srl@legalmail.it

Incaricato:

Queequeg Renewables, Ltd
Unit 3.03, 1110 Great West Road
TW80GP London (UK)
Company number: 111780524
email: mail@quenter.co.uk

Progettista:
ing. Alessandro Zanini





Sommario

Premessa	3
Richiami di elettromagnetismo	4
Riferimenti legislativi	5
Analisi quantitativa elettrodotta	7
Analisi quantitativa cabine	10



Premessa

La popolazione ed i lavoratori sono esposti a campi elettromagnetici prodotti da una grande varietà di sorgenti che utilizzano l'energia elettrica a varie frequenze. Tali campi, variabili nel tempo, occupano la parte dello spettro elettromagnetico che si estende dai campi statici alle radiazioni infrarosse.

In questa gamma di frequenze (0 Hz - 300 GHz) i fenomeni di ionizzazione nel mezzo interessato dai campi sono trascurabili: pertanto le radiazioni associate a queste frequenze rientrano in quelle cosiddette radiazioni non-ionizzanti.

Alle più basse frequenze, quando i campi sono caratterizzati da variazioni lente nel tempo, per esempio alle frequenze industriali di 50/60 Hz, o, più in generale, quando l'esposizione ai campi elettromagnetici avviene a distanze dalla sorgente piccole rispetto alla lunghezza d'onda, i campi elettrici e i campi magnetici possono essere considerati indipendentemente.

Alle frequenze più alte o, più in generale, a distanze elevate rispetto alla lunghezza d'onda, i campi elettrici e i campi magnetici sono strettamente correlati tra di loro: dalla misura di uno di essi si può in genere risalire all'altro.

Contrariamente a quanto succede con le radiazioni ionizzanti, per le quali il contributo delle sorgenti naturali rappresenta la porzione più elevata dell'esposizione della popolazione, per le radiazioni non-ionizzanti le sorgenti di campi elettromagnetici realizzati dall'uomo tendono a diventare sempre più predominanti rispetto alle sorgenti naturali.

In alcune parti dello spettro di frequenza, quali quelle utilizzate per la distribuzione dell'energia elettrica e per la radiodiffusione, i campi elettromagnetici prodotti dall'uomo sono molte migliaia di volte superiori a quelli naturali prodotti dal Sole o dalla Terra.

Negli ultimi decenni l'uso dell'elettricità è aumentato considerevolmente, sia per la distribuzione dell'energia elettrica sia per lo sviluppo dei sistemi di telecomunicazione, con conseguente aumento dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici.

I campi variabili nel tempo più comuni a cui le persone sono permanentemente esposte sono quelli derivanti dai sistemi di generazione, trasmissione, distribuzione ed utilizzazione dell'energia elettrica a 50/60 Hz, dai sistemi di trazione ferroviaria (0 Hz, 16 2/3 Hz e 25 Hz), dai sistemi di trasporto pubblico (da 0 Hz a 3 kHz) e dai sistemi di telecomunicazione (trasmettitori radiofonici e televisivi, ponti radio a microonde, stazioni radiobase per telefonia mobile, radar, ecc.), che interessano frequenze più elevate.

La popolazione è anche esposta a campi di bassa intensità prodotti da apparecchiature domestiche (forni a microonde, televisori, videoterminali, ecc.) o industriali (azionamenti elettrici, apparecchi ad induzione, automobili elettriche, ecc.).



Esposizioni a livelli relativamente più elevati possono essere causate, normalmente per brevi periodi, dall'uso, nelle estreme vicinanze del corpo, di telefoni cellulari, sistemi di sicurezza, ecc.

I campi generati dalle diverse sorgenti possono essere di vario tipo. La forma d'onda può essere sinusoidale, modulata in ampiezza (AM) o in frequenza (FM) nel caso di comunicazioni radio, o modulata ad impulsi come nei radar dove l'energia delle microonde viene trasmessa in brevi pacchetti di impulsi della durata di microsecondi.

L'esposizione umana dipende non solo dall'intensità dei campi elettromagnetici generati, ma anche dalla distanza dalla sorgente: generalmente le intensità dei campi prodotti dalle sorgenti sopra menzionate decrescono rapidamente con la distanza.

Per proteggere la popolazione e i lavoratori dagli eventuali effetti biologici dell'esposizione ai campi elettromagnetici prodotti da tali sorgenti, sono stati sviluppati in ambiti nazionali e internazionali diversi tipi di linee-guida: esse sono generalmente basate sull'individuazione di valori da non superare per alcune grandezze di base, derivanti da valutazioni di grandezze interne al corpo (quali la densità di corrente e la potenza elettromagnetica assorbita per unità di massa corporea), cui corrispondono altre grandezze derivate esterne, facilmente misurabili, quali il campo elettrico e il campo magnetico.

Richiami di elettromagnetismo

Un qualsiasi elettrodotto è sede di campi elettrici e magnetici legati ai valori di potenza da trasportare e alla tipologia della linea (aerea o interrata).

Il campo elettrico prodotto da una linea in un dato punto dipende in primo luogo dal livello di tensione e dalla distanza del punto dalla linea e in seconda istanza dalla configurazione della linea stessa.

A parità di configurazione, ovviamente il campo elettrico cresce all'aumentare della tensione e diminuisce all'aumentare della distanza.

I parametri legati alla configurazione che influenzano maggiormente il campo elettrico al suolo sono: l'altezza o la profondità della linea, le distanze tra le fasi e la loro disposizione.

Il campo elettrico presenta un massimo nella zona circostante la linea, ma decresce abbastanza rapidamente all'allontanarsi dall'asse della linea stessa.

Le linee elettriche sono inoltre sorgenti di campo magnetico a bassa frequenza.



Esso dipende in primo luogo dal valore della corrente transitante in linea, dalla distanza del punto dalla linea e in seconda istanza dalla configurazione della linea stessa.

Il campo magnetico cresce all'aumentare della corrente e diminuisce all'aumentare della distanza.

Va ancora sottolineato che il campo magnetico prodotto dalle linee elettriche, dipende dalla corrente che, a differenza della tensione, varia notevolmente al variare delle condizioni di carico delle linee stesse.

Riferimenti legislativi

NORMATIVA EUROPEA

- **Raccomandazione n. 99/519/CE del 12 Luglio 1999:** "Raccomandazione del Consiglio relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz". Tramite questa raccomandazione gli stati membri sono stati invitati ad adottare le misure necessarie ad assicurare un elevato livello di protezione della salute della popolazione dall'esposizione ai campi elettromagnetici.

NORMATIVA NAZIONALE

- **DPCM del 23 aprile 1992:** "Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno". Questo decreto è stato abrogato nell'art. 8 del DPCM 8/07/2003 relativo agli elettrodotti.

- **DPCM 28 settembre 1995:** "Norme tecniche procedurali di attuazione del DPCM 23 Aprile 1992 relativamente agli elettrodotti".

- **DM 10 settembre 1998, n. 381:** "Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana".

- **Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001:** "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici". Essa da attuazione in modo organico e adeguato alla Raccomandazione del Consiglio della Comunità Europea 1999/519/CE del 12 Luglio 1999.

- **DPCM 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".

Questo decreto, per i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità sui campi elettromagnetici alla frequenza di 50 Hz, ha stabilito quanto segue:



100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

A titolo di misura cautelativa per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per **l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μ T**, da intendersi come mediana dei valori nell'arco di 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree di gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato **l'obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell'induzione magnetica**, da intendersi come mediana dei valori nell'arco di 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

	Intensità del campo elettrico (kV/m)	Intensità del campo di induzione magnetica (μT)
Limiti di esposizione	5	100
Valore di attenzione	/	10
Obiettivo di qualità	/	3

Limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità fissati dal DPCM 8/07/2003

(G. U. Serie Generale n.199 del 28/8/03)



Analisi quantitativa elettrodotto

L'elettrodotto considerato ha le seguenti caratteristiche:

- Tensione nominale: 20000 V
- Corrente massima di esercizio del collegamento: 419,6 A
- Formazione dei conduttori: 185 mmq al
- Tipo di posa: linea interrata trifase

La norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6, prima edizione, guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana, stabilisce che le linee elettriche in cavo non producono campo elettrico all'esterno, in quanto, le guaine metalliche dei cavi costituiscono un'efficace schermatura nei riguardi di tale tipo di campo (par. 7.3.1).

Per quanto riguarda le linee in cavo ad alta tensione non si ritiene di riportare risultati di calcolo o di misura di campi elettrici, visto che, per le ragioni sopra esposte, i livelli di tali campi sono normalmente del tutto trascurabili.

Tale considerazione può essere fatta anche nel caso di media tensione, dato che l'intensità del campo elettrico diminuisce con la diminuzione della tensione della linea.

Contrariamente a quanto avviene per il campo elettrico, le linee in cavo interrato sono sorgenti di campo magnetico, in quanto le guaine dei cavi non costituiscono un'efficace schermatura a tale riguardo.

Il campo magnetico prodotto dalle linee elettriche bilanciate diminuisce approssimativamente secondo $\frac{1}{r^2}$, qualora r (distanza dal centro linea) sia molto maggiore della distanza tra i conduttori.

Quindi nel caso di un sistema bilanciato, come quello in esame, considerando le caratteristiche dell'elettrodotto (formazione dei conduttori a trifoglio - profondità di posa della linea 6 m) ad distanza verticale di 1,5 metri dal centro linea (altezza uomo) si avranno le condizioni determinate nella tabella di seguito:

tensione nominale	Corrente nominale	tipologia	formazione	conduttori
[V]	[A]			
20000	419,6	linea interrata trifase	a trifoglio	185 mmq al



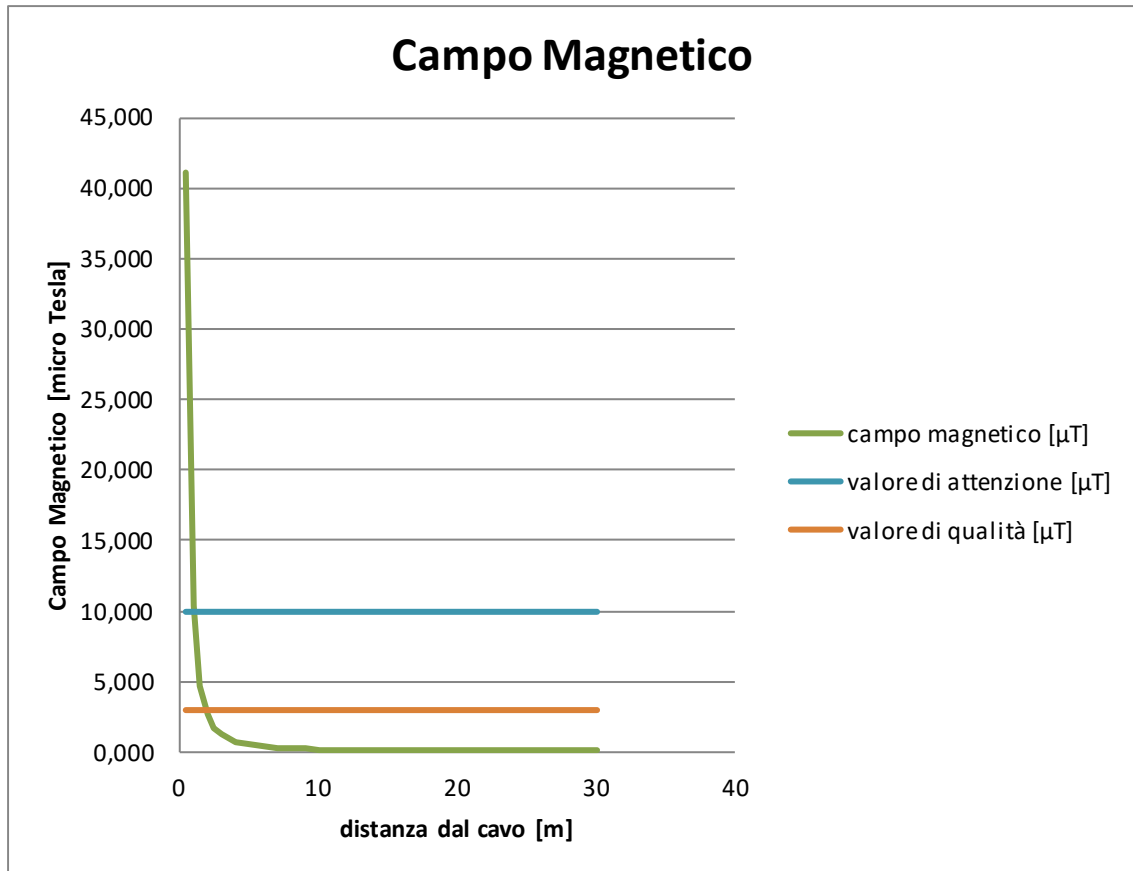
campo magnetico indotto	distanza dalla linea	campo magnetico preesistente	campo magnetico complessivo	Limite di qualità	esito verifica
[μ T]	[m]	[μ T]	[μ T]	[μ T]	
0,507	4,5	0,07	0,577	3,0	Soddisfatta

campo magnetico indotto	distanza dalla linea	campo magnetico preesistente	campo magnetico complessivo
[μ T]	[m]	[μ T]	[μ T]
0,507	4,5	0,07	0,577

Il limite di legge è rispettato dalla totalità delle sorgenti che concorrono alla determinazione del campo elettromagnetico totale.

Segue l'andamento del campo magnetico complessivo post operam in funzione della distanza dal cavidotto:

distanza [m]	campo elettrico [kV/m]	limite campo elettrico [kV/m]	campo magnetico [μ T]	limite di esposizione [μ T]	valore di attenzione [μ T]	valore di qualità [μ T]
0,5	0,0	5	41,130	100	10	3
1	0,0	5	10,335	100	10	3
1,5	0,0	5	4,632	100	10	3
2	0,0	5	2,636	100	10	3
2,5	0,0	5	1,712	100	10	3
3	0,0	5	1,211	100	10	3
4	0,0	5	0,712	100	10	3
5	0,0	5	0,481	100	10	3
7	0,0	5	0,279	100	10	3
9	0,0	5	0,197	100	10	3
10	0,0	5	0,173	100	10	3
15	0,0	5	0,116	100	10	3
20	0,0	5	0,096	100	10	3
25	0,0	5	0,086	100	10	3
30	0,0	5	0,081	100	10	3



Si può concludere che il campo elettromagnetico complessivo post operam presenterà ad altezza d'uomo e nel punto di maggiore intensità un valore massimo **inferiore al più stringente limite di normativa** ($3 \mu\text{T} > 0,577 \mu\text{T}$).

Il rischio elettromagnetico è pertanto da considerarsi nullo, anche in considerazione dei seguenti aspetti:

- il cavidotto non è mai percorso dalla massima corrente teorica;
- ad una distanza di 5-6 metri dall'asse del cavidotto il contributo al campo magnetico è nullo;
- il cavidotto interessa aree lontane da abitazioni e luoghi dove non è ragionevole supporre una permanenza in prossimità o al di sopra di esso di persone per più di 4 ore al giorno e per periodi prolungati.

Inoltre la lunghezza del cavidotto è estremamente breve e il suo percorso non interseca sorgenti preesistenti rilevanti, quali, ad esempio, linee aeree in alta tensione.

Infine poiché i lavori di manutenzione verranno tutti effettuati in assenza di tensione, si può ritenere nullo l'impatto sui lavoratori addetti alla manutenzione.

La verifica dell'osservanza dei limiti di cui al DPCM 08/07/2003 è dunque da ritenersi soddisfatta.



Analisi quantitativa cabine

La verifica sull'osservanza dei limiti indotti dal DPCM 08/07/2003 necessita del calcolo della "Distanza di prima approssimazione" (Dpa), che garantisce che ogni punto distante dal manufatto più della Dpa si trovi all'esterno della fascia di rispetto. Per le cabine è la distanza in pianta sul livello del suolo da tutte le pareti ed è calcolata fissando l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$.

Nel caso di cabine di tipo box, la Dpa, (distanza da ciascuna parete esterna), va calcolata simulando una linea trifase con cavi paralleli percorsa dalla corrente nominale BT in trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore+isolante) del cavo.

In relazione alla più potente delle cabine inverter/trasformazione si determinano la Dpa di 3,1 m a partire dai dati in tabella:

Calcolo Dpa cabina inverter/trasformazione	
Potenza cabina [kW]	1600
Tensione al secondario [V]	400
Corrente al secondario [A]	2434
Diametro dei cavi [mmq]	240
diametro esterno cavo (inc guaina) [mm]	27,48
Dpa [m]	3,1

In relazione alla cabina di consegna si determina la Dpa di 1,2 m a partire dai dati in tabella:

Calcolo Dpa cabina di consegna	
Potenza cabina [kW]	13793
Tensione di esercizio [V]	20000
Corrente al secondario [A]	419,6
Diametro dei cavi [mmq]	185
diametro esterno cavo (inc guaina) [mm]	25,3

In considerazione dei seguenti aspetti:

- le apparecchiature delle cabine non veicolano mai la massima corrente teorica;
- ad una distanza inferiore alla Dpa non sono ubicati ricettori sensibili, abitazioni o luoghi dove sia ragionevole supporre una permanenza di persone per più di 4 ore al giorno e per periodi prolungati;
- i lavori di manutenzione verranno tutti effettuati in assenza di tensione;

si può concludere che la verifica dell'osservanza dei limiti di cui al DPCM 08/07/2003 è dunque da ritenersi soddisfatta.