



REGIONE PUGLIA



REGIONE BASILICATA



COMUNE DI ASCOLI S.



COMUNE DI MELFI

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVENTE POTENZA P=69,45MWp CIRCA E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE

Nome impianto ASC04

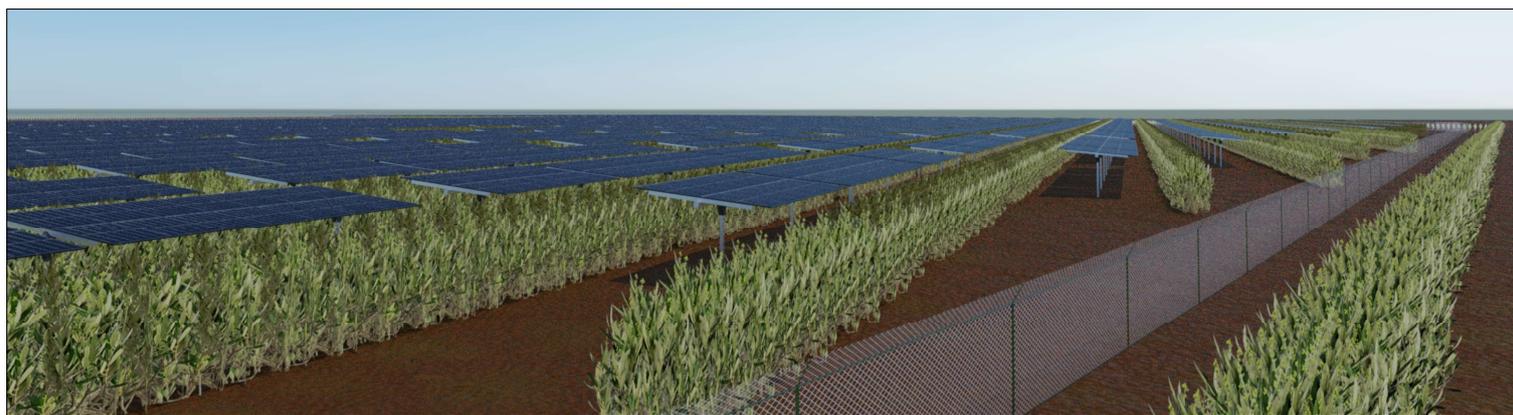
Comune di Ascoli Satriano, Provincia di Foggia, Regione Puglia
Comune di Melfi, Provincia di Potenza, Regione Basilicata

PROGETTO DEFINITIVO

Codice pratica: **19PR5X7**

N° Elaborato:

RT07



ELABORATO:

RELAZIONE CAMPI / IMPATTO ELETTROMAGNETICO

COMMITTENTE:

LT 02 s.r.l.
via Leonardo da Vinci n°12
39100 Bolzano (BZ)
p.iva: 08407850729

PROGETTISTI:

Ing. Alessandro la Grasta

Ing. Luigi Tattoli



PROGETTAZIONE:



LT SERVICE s.r.l.
via Trieste n°30, 70056 Molfetta (BA)
tel: 0803346537
pec: studiotecnico.lt@pec.it

File: 19PR5X7_DocumentazioneSpecialistica_36.pdf

Folder: 19PR5X7_DocumentazioneSpecialistica.zip

REV.	DATA	SCALA	FORMATO	NOME FILE	DESCRIZIONE REVISIONE
00	20/07/2021				PRIMA EMISSIONE

INDICE

1. PREMESSA	2
1.1. OGGETTO DEL DOCUMENTO	2
1.2. DESCRIZIONE IMPIANTO.....	3
1.3. UBICAZIONE IMPIANTO E SOTTOSTAZIONE UTENTE.....	6
1.4. INFO E CONTATTI	11
2. CAMPI ELETTROMAGNETICI	13
2.1. GENERALITÀ	13
2.2. NORME DI RIFERIMENTO.....	16
2.3. DEFINIZIONI	17
2.4. VALORI LIMITE	20
3. SORGENTI DI EMISSIONE.....	24
3.1. IMPIANTO FOTOVOLTAICO E SISTEMA DI CONVERSIONE DC/AC.....	24
3.2. CABINA DI TRASFORMAZIONE BT/MT E CABINA DI SMISTAMENTO	25
3.3. LINEE ELETTRICHE MT 30 kV	28
3.3.1. VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI - TRATTO "C-D" / SSE.....	31
3.3.2. VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI - TRATTO "C-D"- "A-B" / SSE	36
3.3.3. VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI - TRATTO "A-B"- "C-D"- "E" / SSE.....	43
3.4. LINEA DI CONNESSIONE AT 150 kV	51
3.5. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA UTENTE 30/150 kV.....	65
4. CONCLUSIONI	70

1. PREMESSA

1.1. OGGETTO DEL DOCUMENTO

Lo scopo del presente documento è di valutare le emissioni elettromagnetiche generate dalle apparecchiature elettriche dell'impianto e dalle infrastrutture di rete, al fine di verificare il rispetto dei limiti di Legge e dei relativi Decreti attuativi, relative all'iniziativa consistente nella **realizzazione di un impianto Agro-Fotovoltaico, denominato "ASC04" che si pone l'obiettivo di combinare sulla medesima superficie agricola la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili con l'attività agronomica consistente nella realizzazione di un oliveto super intensivo.**

Nel caso di specie si terrà conto delle emissioni elettromagnetiche generate dalla cabine elettriche, dai cavidotti e dalla stazione utente di trasformazione e si individueranno le distanze di prima approssimazione secondo quanto stabilito dal Decreto 29 maggio 2008 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti".

Per quanto concerne il cavidotto AT di collegamento alla S.E. di Terna si rimanda al Tomo II della relazione tecnica specialistica campi elettromagnetici essendo questo opera comune a più produttori in conformità alla richieste di Terna di razionalizzare le infrastrutture di connessione e rete.

1.2. DESCRIZIONE IMPIANTO

L'impianto di produzione da fonte fotovoltaica, installato su tracker monoassiali E-O, avrà una potenza di picco di **69,456 MWp** e sarà ubicato nell'agro del **Comune di Ascoli Satriano (FG)** in località San Carlo/Perillo su una superficie recintata complessiva di circa 88,44 ha.

Più in dettaglio l'impianto si svilupperà su cinque blocchi "A", "B", "C", "D" ed "E" racchiusi in cerchio avente un raggio di circa 2,8 km, le cui caratteristiche dimensionali sono di seguito riepilogate:

ASC04						
	TOTALE	BLOCCO "A"	BLOCCO "B"	BLOCCO "C"	BLOCCO "D"	BLOCCO "E"
POTENZA TOTALE [kWp]	69.456	9.449	12.341	11.583	14.531	21.551
NUMERO DI MODULI	128.622	17.498	22.854	21.450	26.910	39.910
POTENZA MODULO FOTOVOLTAICO [Wp]	540	540	540	540	540	540
NUMERO DI TRACKER DA 52 MODULI	2.325	322	402	387	475	739
NUMERO DI TRACKER DA 26 MODULI	297	29	75	51	85	57
NUMERO DI SUNWAY UNIT CONVERSION	13	2	2	2	3	4
NUMERO DI INVERTER	43	6	8	8	9	12
NUMERO SMART STRING BOX	353	48	65	60	74	106

Tab. n°1 Caratteristiche dimensionali impianto fotovoltaico

Gli elementi tecnici inclusi nella presente relazione riguardano l'impianto fotovoltaico e la sottostazione elettrica ovvero:

Impianto fotovoltaico

- Moduli fotovoltaici;
- Quadri di parallelo stringhe;
- Inverter centralizzati su Power Skid;
- Strutture di sostegno dei moduli (Tracker monoassiali);
- Cabine di Smistamento MT;
- Cabine di Servizio;
- Trasformatore MT/BT;
- Cavidotti BT;
- Cavidotti MT di collegamento alla Cabina di Smistamento e alla SSE;
- Quadro MT;
- Quadri BT;

Sottostazione Elettrica:

- Piazzali e vie di transito;
- Edificio servizi;
- Quadro MT;
- Trasformatore MT/AT;
- Apparecchiature AT;
- Cavo AT sino allo stallo di consegna alla RTN
- Carpenteria metallica;

e più in dettaglio l'impianto si comporrà di:

- ✓ **128.622 moduli fotovoltaici** in silicio monocristallino di potenza massima unitaria pari a 540 Wp, installati su tracker monoassiali da 2x26 e 1x26 moduli installati in modalità portrait;
- ✓ **4.947 stringhe** composte da 26 moduli da 540 Wp aventi tensione di stringa 1.145V @20°C, corrente di stringa 12,97A;
- ✓ **353 cassette di parallelo stringhe;**
- ✓ **43 inverter centralizzati**, su power-skid, di cui rispettivamente:

- ✓ -n°4 aventi potenza di 1690 kW @ 610V
- ✓ -n°2 aventi potenza di 846 kW @610V
- ✓ -n°10 aventi potenza di 1718 kW @ 620V
- ✓ -n°7 aventi potenza di 860 kW @ 620V
- ✓ -n°4 aventi potenza di 1830 kW @ 660V
- ✓ -n°4 aventi potenza di 915 kW @ 660V
- ✓ -n°8 aventi potenza di 1912 kW @ 690V
- ✓ -n°4 aventi potenza di 957 kW @ 690V
- ✓ **13 power-skid (conversion unit)** dotate di sistema di trasformazione MT/BT, protezione MT e BT, di potenza complessiva compresa tra 4226 e 5490 kVA.
- ✓ **4 Cabine di Smistamento** in cui si convogliano l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico proveniente dai 13 sottocampi MT
- ✓ **4 Cabine di Servizio** in cui saranno ubicati quadri BT / TLC, vano per l'alloggiamento del trasformatore per i servizi ausiliari, vano control room, vano deposito;
- ✓ **3 terne MT** in cavo interrato attraverso cui l'energia prodotta viene trasferita alla SSE Utente;
- ✓ **1 Stazione Elettrica Utente** in cui avviene la trasformazione di tensione da 30 kV a 150 kV e la consegna in AT a 150 kV.
- ✓ **1 terna AT** in cavo interrato attraverso cui l'energia prodotta viene trasferita alla SE Terna;
- ✓ **Gruppi di Misura (GdM)** dell'energia prodotta, dotati di dai trasduttori di tensione (TV) e di corrente (TA).
- ✓ **Apparecchiature elettriche di protezione e controllo** in AT, MT, BT;

L'energia prodotta verrà convogliata, mediante tre terne di cavi MT 30 kV interrati su strade interpoderali fino alla sottostazione utente 30/150 kV e da quest'ultima mediante una terna di cavi AT 150 kV alla stazione elettrica di trasformazione 380/150 kV denominata "Melfi" secondo quanto indicato nella STMG di Terna (Codice pratica P2020 – 00453) ovvero connessione in antenna a 150 kV sul futuro ampliamento della SE RTN a 380/150 kV denominata "Melfi".

1.3. UBICAZIONE IMPIANTO E SOTTOSTAZIONE UTENTE

L'impianto fotovoltaico ASC04 sarà ubicato nell'agro del **Comune di Ascoli Satriano (FG)** in località San Carlo/Perillo/Spavento su una superficie recintata complessiva di circa 88,44 ha avente destinazione agricola "E" secondo il vigente piano urbanistico.

Le coordinate dei cinque blocchi sono rispettivamente:

Blocco "A"

Lat. 41.131235

Lon. 15.772683

Elevazione 249 metri

Blocco "B"

Lat. 41.131020

Lon. 15.768948

Elevazione 253 metri

Blocco "C"

Lat. 41.143868

Lon. 15.763750

Elevazione 248 metri

Blocco "D"

Lat. 41.141703

Lon. 15.748127

Elevazione 268 metri

Blocco "E"

Lat. 41.121462

Lon. 15.714513

Elevazione 292 metri



Fig. n°1 Inquadramento su ortofoto dell'impianto agro-fotovoltaico e delle opere di connessione

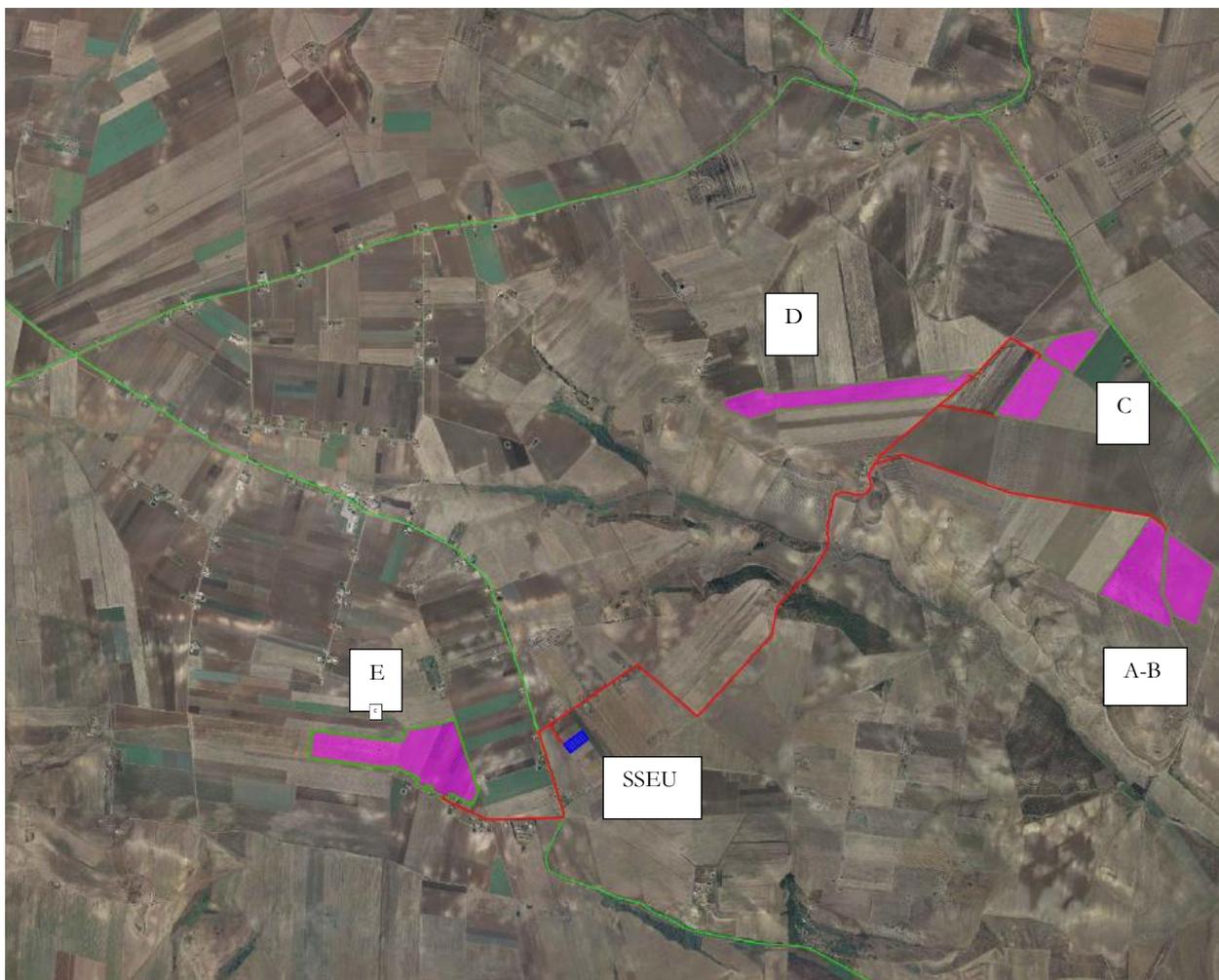


Fig. 2 Inquadramento su ortofoto dell'impianto agro-fotovoltaico

La SST utente 30/150kV per la connessione in antenna a 150 kV sul futuro ampliamento della SE RTN a 380/150 kV denominata "Melfi" sarà condivisa con altri produttori tre produttori così come previsto da Terna al fine di razionalizzare le infrastrutture di rete.



Fig. 3 Ortofoto ubicazione Sottostazione Utente

L'area ove sarà ubicata la Sottostazione Elettrica SST Utente "Melfi" si trova nel territorio del Comune di Ascoli Satriano e risulta identificata dai seguenti riferimenti cartografici:

- carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000 N. 435052
- foglio catastale n°218 particella n° 104 del Comune di Ascoli Satriano.

Essa è individuata dalle coordinate geografiche Lat. 41.12188° Nord e Long. 15.72650° Est. ed è posta a quota 283 m s.l.m.



Fig. 4 Ortofoto ubicazione Sottostazione Utente e Stazione Terna

La Sottostazione interessa un'area di forma rettangolare di larghezza pari a circa 66 m e di lunghezza pari a circa 143 m, interamente recintata e accessibile principalmente tramite due cancelli carrabili rispettivamente larghi 7,00 m e 5,00 m entrambi di tipo scorrevole oltreché cancelli pedonali.

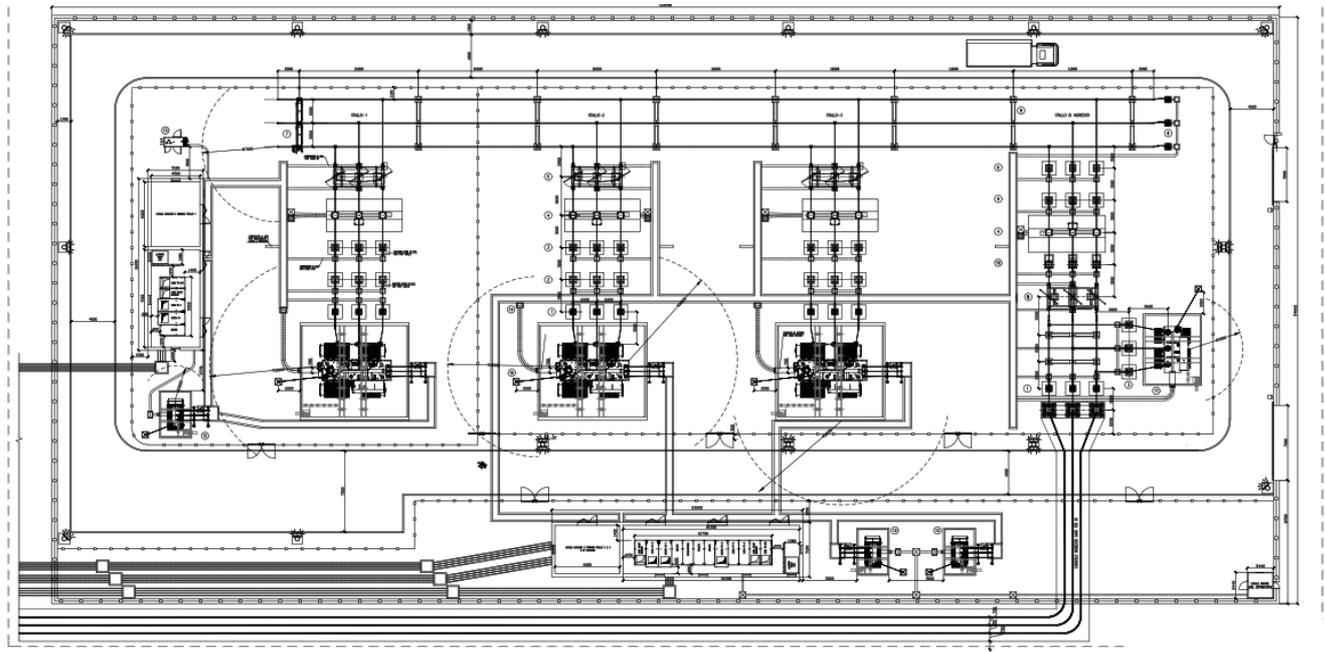


Fig. 5 Planimetria sottostazione utente

L'accesso alla SST è previsto dalla S.P. 89 e strada vicinale .

1.4. INFO E CONTATTI

La società promotrice dell'iniziativa e i progettisti incaricati sono rispettivamente:

LT 02 Srl

39100 Bolzano (BZ)

Via Leonardo Da Vinci n. 12

lt02srl@legalmail.it

Ing Alessandro la Grasta

70056 Molfetta (BA)

Via Zara 22

Email: info@ltservice.net

Pec: studiotecnico@pec.it

Tel: +39 3401706888

Ing Luigi Tattoli

70056 Molfetta (BA)

Via Zara 22

Email: info@ltservice.net

Pec: studiotecnico@pec.it

Tel: +39 3403112803

2. CAMPI ELETTROMAGNETICI

2.1. GENERALITÀ

Ogni fenomeno in cui sia presente l'elettricità, in forma di corrente o di tensione, comporta la presenza nello spazio circostante di un campo elettrico e/o magnetico.

I cavi e le apparecchiature in tensione (quindi anche con apparecchiature non funzionanti) producono campi elettrici la cui intensità viene misurata in volt al metro (V/m) o in chilovolt al metro (kV/m) mentre la circolazione di corrente (apparecchiature funzionanti) comporta la formazione di campi magnetici la cui 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).

L'intensità dei campi elettrici raggiunge il suo massimo in corrispondenza della sorgente, è proporzionale alla tensione, si riduce proporzionalmente con la distanza e i materiali comuni (come legno, metallo ecc) ne costituiscono uno schermo, mentre i campi magnetici raggiungono il loro massimo in corrispondenza della sorgente, sono proporzionali alla corrente ma, a differenza dei campi elettrici, i materiali comuni non ne costituiscono uno schermo.

Questi campi elettromagnetici possono avere effetti dannosi sulle persone e sono stati battezzati comunemente come "elettrosmog".

L'elettrosmog viene quindi prodotto dai campi elettrici e magnetici generati da frequenza industriale, radiofrequenze e microonde, appartenenti alla sezione non ionizzante (NIR) dello spettro elettromagnetico.

Sono sempre esistiti campi EM di origine naturale, come quelli prodotti dai fulmini, la terra stessa (la forza che sposta l'ago della bussola), l'atmosfera ed il sole, che emette radiazioni IR, luce visibile e radiazioni UV.

A campi elettromagnetici di origine naturale si sono però aggiunti, al passo con il progresso tecnologico, i campi prodotti dalle sorgenti legate all'attività dell'uomo dovuti ai conduttori di energia elettrica (elettrodotti ad alta, media e bassa tensione), gli impianti radar e di emittenza radio televisiva, i ponti radio televisivi e per telefonia mobile (stazioni radio base), nonché, anche se in misura minore, gli elettrodomestici, i telefoni cellulari e così via..

La caratteristica fondamentale che distingue i vari campi elettromagnetici e ne determina le proprietà è la frequenza (Hz), che rappresenta il numero di oscillazioni effettuate dall'onda in un secondo (unità di tempo). Strettamente connessa con la frequenza è la lunghezza d'onda, che è la distanza percorsa dall'onda durante un tempo di oscillazione e corrisponde alla distanza tra due massimi o due minimi dell'onda. Queste due grandezze, oltre ad essere tra loro legate, sono a loro volta connesse con l'energia trasportata dall'onda: l'energia associata alla radiazione elettromagnetica è infatti direttamente proporzionale alla frequenza dell'onda stessa.

Quando un'onda elettromagnetica incontra un ostacolo penetra nella materia e deposita la propria energia producendo una serie di effetti diversi a seconda della sua frequenza.

Sulla base di questo, lo spettro elettromagnetico viene suddiviso in una sezione ionizzante, comprendente raggi X e raggi gamma, aventi frequenza molto alta (> 3000 THz) e dotati di energia sufficiente per ionizzare direttamente atomi e molecole, ed una non ionizzante (NIR), le cui radiazioni non trasportano un quantitativo di energia sufficiente a produrre la rottura dei legami chimici e produrre ionizzazione.

Le NIR oggetto della nostra attenzione in quanto sorgenti di elettrosmog sono quelle aventi frequenze che vanno da 0 a 300 GHz, che possono a loro volta venire suddivise in:

- campi elettromagnetici a frequenze estremamente basse (ELF);
- radiofrequenze (RF);
- microonde (MO);

DENOMINAZIONE		SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE		ELF	0 - 3kHz	> 100Km
FREQUENZE BASSISSIME		VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm

Tab. 2 Suddivisione campo frequenze

Come già citato in precedenza, per i campi elettrici, poiché la maggior parte dei materiali costituisce un valido schermo ai medesimi come ad esempio nei cavi interrati la presenza dello schermo e la vicinanza dei conduttori delle fasi rende il suddetto campo elettrico nullo (così come la presenza delle opere civili, le recinzioni, alberi e ogni altro schermo metallico dei quadri), i valori generati sono entro i valori limite e si può ritenere che in corrispondenza dei recettori sensibili è sempre garantito il rispetto dei valori come da normativa vigente indipendentemente dalla loro distanza dall'elettrodotto pertanto, restano da analizzare i soli campi magnetici.

2.2. NORME DI RIFERIMENTO

- L. n. 36 del 22/02/2001: “Legge Quadro sulla protezione delle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- D.P.C.M. 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”;
- D.M. 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008: “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”;
- D. Lgs. n. 257 del 19/11/2007: “Attuazione della direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)”;
- D. Lgs. n. 81 del 09/04/2008 e ss.mm.ii.: “Attuazione dell'articolo 1 della Legge n. 123 del 03/08/2007, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”;
- D. Lgs. 159/2016: “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”;
- CEI 11-17: “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”;
- CEI 11-60: "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore a 100 kV";
- CEI 20-21: “Calcolo della portata di corrente” (IEC 60287);
- 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: linee elettriche aeree e in cavo”;

- CEI 211-4: "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche;
- ENEL: Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al D.M. 29/05/2008 Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine Elettriche;
- Linee Guida ICNIRP: Linee guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo ed a campi elettromagnetici (fino a 300 GHz);

2.3. DEFINIZIONI

Si riportano le definizioni riportate nell'allegato al D.M. 29 maggio 2008 "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti:

- **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 e sue successive modifiche e integrazioni.

Ai sensi dell'art.6 comma 1 del D.P.C.M. 8 luglio 2003, la corrente di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è la "portata di corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata":

- Per le linee con tensione >100 kV, è definita dalla norma CEI 11-60;

- Per gli elettrodotti aerei con tensione < 100 kV, i proprietari/gestori fissano la portata in corrente in regime permanente in relazione ai carichi attesi con riferimento alle condizioni progettuali assunte per il dimensionamento dei conduttori;
- Per le linee in cavo è definita dalla norma CEI 11-17 come portata in regime permanente;

- **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**

È lo spazio circostante un elettodotto, 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. Come prescritto dall'articolo 4, comma 1 lettera h della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

- **Distanza di prima approssimazione (DPA)**

Per le linee è la 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.

- **Linea**

Le linee corrispondono ai collegamenti con conduttori elettrici aerei o in cavo, delimitati da organi di manovra, che permettono di unire due o più impianti allo stesso livello di tensione.

Le linee a tre o a più estremi sono sempre definite come più tronchi di linea a due stremi.

Gli organi di manovra connettono tra loro componenti delle reti (es. interruttori, sezionatori, ecc.) e permettono di interrompere il passaggio di corrente.

- **Tronco**

I tronchi di linea corrispondono ai collegamenti metallici che permettono di unire fra loro due impianti gestiti allo stesso livello di tensione (compresi gli allacciamenti). Si definisce tronco fittizio il tronco che unisce due impianti adiacenti.

- **Tratta**

La tratta è una porzione di tronco di linea, composto da una sequenza di campate contigue, avente caratteristiche omogenee di tipo elettrico, di tipo meccanico (es. tipologia del conduttore, configurazione spaziale dei conduttori sui tralicci, tratta singola, doppia, ecc.) e relative alla proprietà e appartenenza alla RTN (Rete di Trasmissione Nazionale).

Ad ogni variazione delle caratteristiche si individua una nuova tratta.

- **Campata**

La campata è l'elemento minimo di una linea elettrica; è sottesa tra due sostegni o tra un sostegno e un portale (ultimo sostegno già all'interno dell'impianto).

- **Sostegni**

Il sostegno è l'elemento di supporto meccanico della linea aerea in conduttori nudi o in cavo. I sostegni, i sostegni porta terminali ed i portali possono essere costituiti da pali o tralicci.

- **Impianto**

Nell'ambito di una rete elettrica l'impianto corrisponde ad un'officina elettrica destinata, simultaneamente o separatamente, alla produzione, allo smistamento, alla regolazione e alla modifica (trasformazione e/o conversione) dell'energia elettrica transitante in modo da renderla adatta a soddisfare le richieste della successiva fase di destinazione.

Gli impianti possono essere: Centrali di produzione, Stazioni elettriche, Cabine di trasformazione primarie e secondarie, Cabine Utente AT. Inoltre rientrano in questa categoria anche quelle stazioni talvolta chiamate di Allacciamento.

- **Valore di attenzione**

A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine eventualmente connessi con le esposizioni ai campi generati alle suddette frequenze (50 Hz) all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e loro pertinenze esterne, che siano fruibili come ambienti abitativi quali balconi, terrazzi e cortili esclusi i lastrici solari, si assumono i valori di attenzione indicati nella tabella 2

Tabella 2	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo Magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
Valori di attenzione 0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz-300 GHz)

Tab.3 Valori di attenzione

2.4. VALORI LIMITE

Scopo della presente indagine è quello di valutare preliminarmente l'esposizione, della persone eventualmente presenti nell'area dell'impianto o nelle zone limitrofe, al campo elettrico e

magnetico generato dall'impianto fotovoltaico nel rispetto della Legge Quadro (L. 36 del 22.02.2001) sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, e la potenziale esposizione dei lavoratori in conformità al D. Lgs. 81/08.

Ai fini dell'applicazione della presente legge si assumono le seguenti definizioni:

a) esposizione: è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;

b) 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;

c) 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;

Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;

d) obiettivi di qualità: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, 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.

Il D.P.C.M. 8.07.2003, fissa i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti ovvero:

- art. 3 co. 1: nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci;

-art. 3 co. 2: a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μT , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio;

-art.4 co. 1: Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio

All'art. 6 del DPCM si fissano i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità ($B=3\mu\text{T}$) di cui all'art. 4 ed alla portata della corrente in servizio normale.

L'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti) definisce quale fascia di rispetto lo spazio circostante l'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 .

Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che è sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica.

Pertanto, obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento al limite di qualità di 3 μ T.

3. SORGENTI DI EMISSIONE

Le apparecchiature elettromeccaniche presenti nell'impianto fotovoltaico e nelle opere di connessione alla rete sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione in quanto generatrici, durante la fase di esercizio, dei campi elettromagnetici con radiazioni non ionizzanti sono le seguenti:

- Impianto Fotovoltaico e sistema di conversione DC/AC
- Cabina di trasformazione BT/MT e cabina di smistamento
- Linee elettriche MT 30 kV;
- Linee elettriche AT 150 kV;
- Sottostazione elettrica utente 150/30 kV;

Di seguito verrà data una caratterizzazione delle sorgenti appena individuate.

3.1. IMPIANTO FOTOVOLTAICO E SISTEMA DI CONVERSIONE DC/AC

Un porzione dell'impianto di generazione è composto da stringhe di moduli fotovoltaici, quadri di parallelo stringhe e cavi elettrici di collegamento.

Il circuito in oggetto è in corrente continua (ovvero 0 Hz), i relativi cavi (polo positivo e polo negativo) sono normalmente posti a contatto con conseguente annullamento quasi totale dei campi magnetici prodotti ed inoltre la loro ubicazione, soprattutto in riferimento ai cavi in uscita dai quadri di parallelo stringhe che trasportano un valore di corrente multiplo delle singole stringhe, sono interni al campo e distanti dai confini.

I campi magnetici di piccola entità sono generati solo nei momenti in cui il convertitore DC/AC insegue il punto di massima potenza (MPPT) e sono comunque di breve durata;

Per quanto attiene agli inverter e ai moduli fotovoltaici, i primi sono progettati per minimizzare le emissioni e le interferenze con altre apparecchiature elettroniche e cavi e, pertanto, per poter essere commercializzati devono rispettare le normative vigenti in materia di compatibilità elettromagnetica, per i secondi invece le stesse norme CEI 82-8 non menzionano prove di compatibilità elettromagnetica essendo evidentemente assolutamente irrilevanti.

Per tutto ciò che attiene la valutazione dei campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto fotovoltaico, essendo l'accesso alla centrale ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003.

Poichè tutte le apparecchiature elettriche installate all'interno della recinzione dell'impianto fotovoltaico sono a distanza opportuna da essa e le zone esterne confinanti con l'impianto fotovoltaico non sono adibite né ad una permanenza giornaliera superiore alle 4 ore, né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni scuole, andranno verificati esclusivamente i limiti di esposizione.

Per le stesse motivazioni non trovano applicazione gli obiettivi di qualità del DPCM 8 luglio 2003.

Premesso che i limiti esposti dal DPCM 8 luglio 2003 si applicano esclusivamente alla parte esterna dell'impianto fotovoltaico, alla luce di quanto innanzi menzionato in merito alla prima porzione di impianto fotovoltaico si può concludere che i valori dei campi elettromagnetici sono inferiori ai limiti normativi.

3.2. CABINA DI TRASFORMAZIONE BT/MT E CABINA DI SMISTAMENTO

Gli inverter centralizzati dell'impianto fotovoltaico sono montati su Power Skids, modulari preassemblati e precablati in fabbrica, generalmente composti da un blocco con due inverter (o due blocchi con tre/quattro inverter) di conversione DC/AC e trasformazione BT/MT, e da un blocco di protezione MT,BT, monitoraggio da remoto e alimentazione ausiliari.

L'impianto fotovoltaico è dotato complessivamente di n°5 cabine di smistamento e n°5 cabine servizio dei singoli campi e più in dettaglio n°1 di smistamento e n°1 di servizio per ogni campo salvo che per i campi "A" e "B" che hanno solo n°1 di smistamento e n°1 di servizio in comune.

Le cabine di smistamento in MT svolgono la funzione di raggruppamento e protezione delle cabine di trasformazione/conversione prima che l'intera potenza venga trasferita, mediante tre cavidotti interrati a 30 kV, alla sottostazione utente per la sua immissione in rete.

Al quadro MT della Cabina di Smistamento del lotto "C" si attesteranno due linee 30 kV in cavo proveniente dai sottocampi C1-C2 e una linea 30 kV in cavo di convogliamento alla Cabina di Smistamento del lotto "D".

Al quadro MT della Cabina di Smistamento del lotto "D" si attesterà una linea 30 kV in cavo proveniente dal campo "C", due linee 30 kV in cavo provenienti dai sottocampi D1-D3 e una linea 30 kV in cavo di convogliamento alla Sottostazione elettrica utente di trasformazione 30/150 kV (SSEU).

Al quadro MT della Cabina di Smistamento dei lotti "A" e "B" si attesteranno due linee 30 kV in cavo provenienti dai sottocampi A1-A2 / B1-B2 e una linea 30 kV in cavo di convogliamento alla Sottostazione elettrica utente di trasformazione 30/150 kV (SSEU).

Al quadro MT della Cabina di Smistamento del lotto "E" si attesteranno due linee 30 kV in cavo provenienti da sottocampi E1-E4 e una linea 30 kV in cavo di convogliamento alla Sottostazione di trasformazione 30/150 kV (SSE).

Nel caso delle cabine di trasformazione/conversione, la Distanza di Prima Approssimazione (D.P.A.) è la distanza da tutte le pareti della cabina stessa, la cui proiezione al suolo garantisce che ogni punto che si trovi all'esterno sia caratterizzato un campo magnetico inferiore all'obiettivo di qualità di 3 μ T.

Ai fini del calcolo delle DPA delle cabine di trasformazione ovvero delle power skids si farà riferimento al cap.5.2.1 del DM del 29 maggio 2008, ove la DPA si determina applicando la formula di seguito riportata:

$$D.P.A. = 0,40942 * \text{Radq}(I) * X^{0,5241}$$

dove

- I è la corrente nominale di bassa tensione del trasformatore;
- X è il diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore.

La struttura semplificata sulla base della quale si calcola la DPA è un sistema trifase, percorso da una corrente pari alla corrente nominale di bassa in uscita dal trasformatore e con distanza tra le fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore stesso

Per le cabine di trasformazione all'interno delle quali avviene la trasformazione da MT in BT a mezzo di un Trasformatore BT/MT, il calcolo della DPA prenderà come riferimento lo stesso valore calcolato per le cabine di trasformazione avendo queste un trafo di potenza maggiore.

Ai fini del calcolo si prende in considerazione, il trasformatore di taglia maggiore previsto all'interno dell'impianto che risulta avere una potenza pari a 2900 kVA pertanto considerando

$$I = 2.427 \text{ A}$$

$$x = 51 \text{ mm (diametro esterno massimo del cavo da } 500\text{mm}^2 \text{ con più conduttori in parallelo)}$$

Dal calcolo si ottiene:

$$\mathbf{D.P.A. = 4,24 \text{ metri}}$$

che arrotondata per eccesso all'intero superiore fissa il valore della **Distanza di Prima Approssimazione pari a 4,5 m.**

La fascia di rispetto calcolata rientra nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto essendo le cabine ubicate sempre oltre il margine interno delle strade perimetrali, cioè ad una distanza dalla recinzione sempre superiore ai 4,5 m.

Inoltre cabina è posizionata all'aperto e normalmente non è permanentemente presidiata da persone, per cui non vi sono pericoli di esposizione ai campi elettrici e magnetici.

Per le cabine di sezionamento, essendo prevalentemente cabine di smistamento cavi, si considererà il valore delle DPA calcolate per i cavi MT di seguito calcolati.

3.3. LINEE ELETTRICHE MT 30 KV

Di seguito verrà elaborato un calcolo analitico del campo magnetico generato dagli elettrodotti sulla base delle metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, e specificate dalla norma CEI 106-11.

Gli elettrodotti di media tensione oggetto di valutazione sono rispettivamente:

- linea interrata MT 30 kV di collegamento tra power skid;
- linea interrata MT 30 kV che convoglia l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico alla sottostazione elettrica di utente 150/30kV.

Per la valutazione del campo magnetico generato dall'elettrodotto occorre distinguere gli elettrodotti in funzione della tipologia dei cavi utilizzati.

In linea generale l'utilizzo di cavi MT in configurazione ad "elica visibile" in entrambe le installazioni precedentemente elencate, fanno sì che il campo magnetico prodotto sia notevolmente inferiore a quello prodotto da cavi analoghi posati in piano o a trifoglio.

Le particolarità costruttive di questi cavi, ossia la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione dovuta alla cordatura, fa sì che il campo elettromagnetico generato dai cavi di sezione 300 – 630 mm² risulta essere infatti di gran lunga inferiore ai valori limite richiesti e, pertanto, già dopo una prima analisi qualitativa, se ne può escludere la valutazione numerica, così come previsto dalla normativa e dalle leggi vigenti.

Per gli elettrodotti MT sono stati considerati cavi posati a trifoglio in modo tale che, anche se in fase esecutiva si dovesse optare per una soluzione diversa da quella progettuale, sia stato considerato il worst scenario.

L'impianto fotovoltaico è dotato complessivamente di cabine di smistamento che svolgono la funzione di raggruppamento e protezione delle cabine di trasformazione/conversione prima che l'intera potenza venga trasferita, mediante tre elettrodotti interrati a 30 kV, alla sottostazione utente per la sua immissione in rete.

I cavi utilizzati sono del tipo ARE4H5EX 18/30(36)kV o simili ovvero cavi a 30 kV tripolari a spirale visibile con isolamento xlpe a spessore ridotto, guaina di alluminio e guaina a spessore maggiorato, a tenuta d'acqua e resistenti all'impatto.

Nella tabella che segue si schematizza la configurazione dei cavidotti MT che dalle cabine di smistamento si dirigono verso la sottostazione utente.

I tratti su cui viene valutato l'impatto elettromagnetico sono tre :

Caso 1)

- **Tratto Campo "A-B" / SSEU** : singolo elettrodotto MT 30 kV di lunghezza complessiva pari a 5,64 km tra la cabina di smistamento del blocco B fino alla SSEU avente potenza complessiva di 19,43 MW;

- **Tratto Campo "C-D" / SSEU** : singolo elettrodotto MT 30 kV di lunghezza complessiva pari a 4,38 km tra la cabina di smistamento del blocco B fino alla SSEU avente potenza complessiva di 23,20 MW;
- **Tratto Campo "E" / SSEU**: singolo elettrodotto MT 30 kV di lunghezza complessiva pari a 1,7 km tra la cabina di smistamento del blocco "E" fino alla SSEU di potenza complessiva per singolo elettrodotto di 19,12 MW;

E' stato preso in esame il caso più gravoso presente in progetto, corrispondente alla tratta di cavidotto di collegamento tra il campo "C-D" e la SSE.

Caso 2)

- **Tratto Campo "C-D"- "A-B" / SSE**: doppio elettrodotto MT 30 kV di collegamento dei blocchi "C-D" e "A-B" fino alla SSE;

Caso 3)

- **Tratto Campo "C-D"- "A-B" – "E" / SSE**: tre terne di elettrodotto MT 30 kV di collegamento dei blocchi "C-D" e "A-B" e "E" fino alla SSE. E' stato preso in esame il caso più gravoso presente in progetto, corrispondente alla tratta di cavidotto di collegamento in prossimità dell'ingresso alla sottostazione utente in cui sono presenti tre cavidotti.

	ID	POTENZA	TENSIONE	CORRENTE	LUNGHEZZA	CAVO	PORTATA	CAVI	COEFFICIENTI				CURRENT	C.d.T.	C.d.t. %
		[MW]	[KV]	lb	LINEA	ARE4H5E(X) 18/30kV FORMATIONE n°x mmq	CAVO INTERRATO A TRIFOGLIO In	AFFIANC ATI [D5- D6-D7]	n°	kd	kr	kp	Ktt		
LA1	CAB. SEZ. "A/B" - SEE	19,4	30	374	5640	3x1x630	687	2	0,87	0,88	0,96	0,94	475	254,6	0,85%
LA2	CAB. SEZ. "D"- SEE	23,2	30	446	4385	3x1x630	687	2	0,87	0,88	0,96	0,94	475	236,4	0,79%
LA3	CAB. SEZ. "E" - SEE	19,1	30	368	1700	3x1x630	687	2	0,87	0,88	0,96	0,94	475	75,5	0,25%

Tab. 4 Tabella dei cavi MT esterna al campo

3.3.1. VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI - TRATTO "C-D" / SSE

Nel seguente paragrafo verrà calcolata l'induzione magnetica generata dalla linea MT, nel tratto che va dalla Cabina di Smistamento del blocco "C-D" alla sottostazione utente di trasformazione 30/150 kV, costituita da un terna di cavi MT da 630 mm² con portata di 446 A.

Nel caso specifico si sta considerando una singola terna di cavi tuttavia in caso di due o più terne di cavi nella stessa sezione di scavo si farà ricorso ad un modello matematico che tenga conto del campo magnetico generato da ogni singola terna.

Si utilizzerà a tal fine il modello previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap. 4.3 che tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori.

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

$$B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{x_i - x}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

E' possibile semplificare il modello considerando l'intera terna di cavi, della quale si conoscono le caratteristiche geometriche, al posto del singolo conduttore.

Pertanto si considererà il modello del sistema composta da cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati soluzione questa, che comporta un grado di protezione maggiore nel sistema poiché il campo magnetico generato dal cavo elicordato è meno intenso di quello generato da una terna posata a trifoglio.

Per i cavi unipolari posati a trifoglio si può ricorrere, come suggerito dalla norma CEI 106-11, ad una espressione approssimata del campo magnetico ovvero:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} \frac{S * I}{R^2}$$

dove :

B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante;

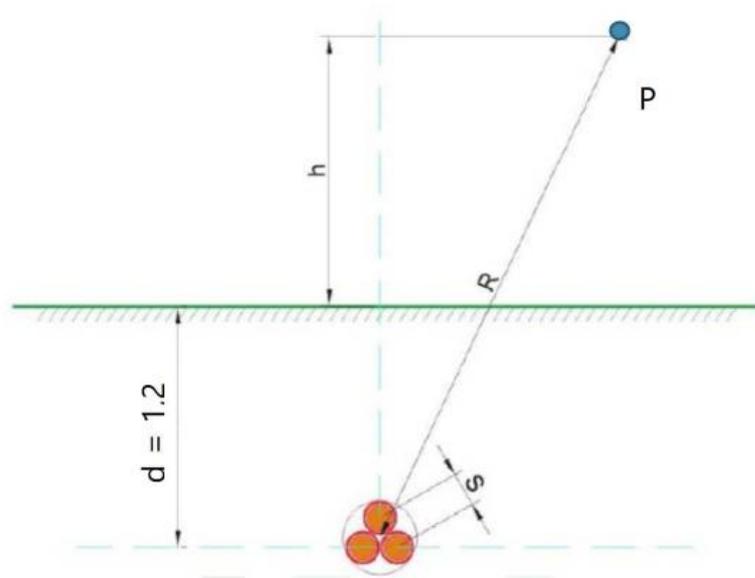
S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a **I[A]**

R[m] è la distanza radiare dal conduttore;

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotta secondo la seguente formula:

$$B_i = 0,1 * \sqrt{6} \frac{S_i * I_i}{(x - x_i)^2 + (y - d)^2}$$

Dove B_i è il campo magnetico generato dalla i-esima terna di cavi.



Quindi il campo di induzione magnetica sarà dato dalla somma dei campi di induzione generato da ciascuna delle terne in progetto.

Nello specifico il tratto "C-D" / SSE è costituito da una terna di cavi da 630 mm² i cui valori sono di seguito riepilogati:

Profondità di posa del cavo: 1,2 m

Distanza terna dall'asse neutro: 0 m

Sezione cavo: 3x1x630 mm²

Portata corretta cavo terna tratto "C-D": 475 A

Portata nominale cavo terna tratto "C-D": 446 A

Nel caso specifico, applicando la formula di cui sopra si ottengono i risultati riportati nella tabella seguente.

Il calcolo è stato effettuato per diverse altezze dal livello del suolo e con intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Distanza dall'asse centrale [m]	Btot al suolo [μT]	Btot a 0,5 m suolo [μT]	Btot a 1 m suolo [μT]	Btot a 1,5 m suolo [μT]	Btot a 2 m suolo [μT]	Btot a 2,5 m suolo [μT]	Btot a 3 m suolo [μT]
-10	0,065695	0,064769	0,063564	0,062113	0,060451	0,058616	0,056648
-9,5	0,072681	0,071549	0,070082	0,068322	0,066316	0,064115	0,061767
-9	0,080836	0,079438	0,077634	0,075479	0,073039	0,070378	0,067560
-8,5	0,090434	0,088689	0,086445	0,083783	0,080787	0,077543	0,074136
-8	0,101835	0,099627	0,096805	0,093478	0,089764	0,085778	0,081628
-7,5	0,115515	0,112683	0,109086	0,104880	0,100227	0,095283	0,090189
-7	0,132119	0,128427	0,123776	0,118388	0,112493	0,106302	0,100001
-6,5	0,152531	0,147631	0,141518	0,134519	0,126959	0,119129	0,111272
-6	0,177994	0,171357	0,163175	0,153940	0,144119	0,134113	0,124237
-5,5	0,210290	0,201089	0,189914	0,177519	0,164586	0,151663	0,139154
-5	0,252045	0,238942	0,223327	0,206382	0,189106	0,172243	0,156287
-4,5	0,307242	0,287990	0,265607	0,241978	0,218566	0,196349	0,175880
-4	0,382115	0,352784	0,319774	0,286135	0,253967	0,224455	0,198100
-3,5	0,486785	0,440164	0,389940	0,341048	0,296313	0,256904	0,222954
-3	0,638322	0,560478	0,481509	0,409090	0,346366	0,293701	0,250153
-2,5	0,866591	0,729112	0,600909	0,492177	0,404129	0,334207	0,278949
-2	1,225015	0,967211	0,753855	0,590264	0,467983	0,376715	0,307952
-1,5	1,805984	1,296514	0,939927	0,698541	0,533553	0,418073	0,335047
-1	2,731181	1,713132	1,141110	0,803870	0,592890	0,453648	0,357515
-0,5	3,943244	2,122319	1,309250	0,883830	0,635279	0,478055	0,372503
0	4,627835	2,305911	1,376876	0,914140	0,650789	0,486785	0,377782
0,5	3,943244	2,122319	1,309250	0,883830	0,635279	0,478055	0,372503
1	2,731181	1,713132	1,141110	0,803870	0,592890	0,453648	0,357515
1,5	1,805984	1,296514	0,939927	0,698541	0,533553	0,418073	0,335047
2	1,225015	0,967211	0,753855	0,590264	0,467983	0,376715	0,307952
2,5	0,866591	0,729112	0,600909	0,492177	0,404129	0,334207	0,278949
3	0,638322	0,560478	0,481509	0,409090	0,346366	0,293701	0,250153
3,5	0,486785	0,440164	0,389940	0,341048	0,296313	0,256904	0,222954
4	0,382115	0,352784	0,319774	0,286135	0,253967	0,224455	0,198100
4,5	0,307242	0,287990	0,265607	0,241978	0,218566	0,196349	0,175880
5	0,252045	0,238942	0,223327	0,206382	0,189106	0,172243	0,156287
5,5	0,210290	0,201089	0,189914	0,177519	0,164586	0,151663	0,139154
6	0,177994	0,171357	0,163175	0,153940	0,144119	0,134113	0,124237
6,5	0,152531	0,147631	0,141518	0,134519	0,126959	0,119129	0,111272
7	0,132119	0,128427	0,123776	0,118388	0,112493	0,106302	0,100001
7,5	0,115515	0,112683	0,109086	0,104880	0,100227	0,095283	0,090189
8	0,101835	0,099627	0,096805	0,093478	0,089764	0,085778	0,081628
8,5	0,090434	0,088689	0,086445	0,083783	0,080787	0,077543	0,074136

9	0,080836	0,079438	0,077634	0,075479	0,073039	0,070378	0,067560
9,5	0,072681	0,071549	0,070082	0,068322	0,066316	0,064115	0,061767
10	0,065695	0,064769	0,063564	0,062113	0,060451	0,058616	0,056648

Tab. 5 Distribuzione dei valori del campo magnetico

Il grafico che segue mostra come nel caso in esame, l'obiettivo di qualità, pari a $<3 \mu\text{T}$, è raggiunto già sull'asse del cavidotto stesso, ad una quota dal suolo pari ad 0,5 m, risultando pari a $2,3 \mu\text{T}$.

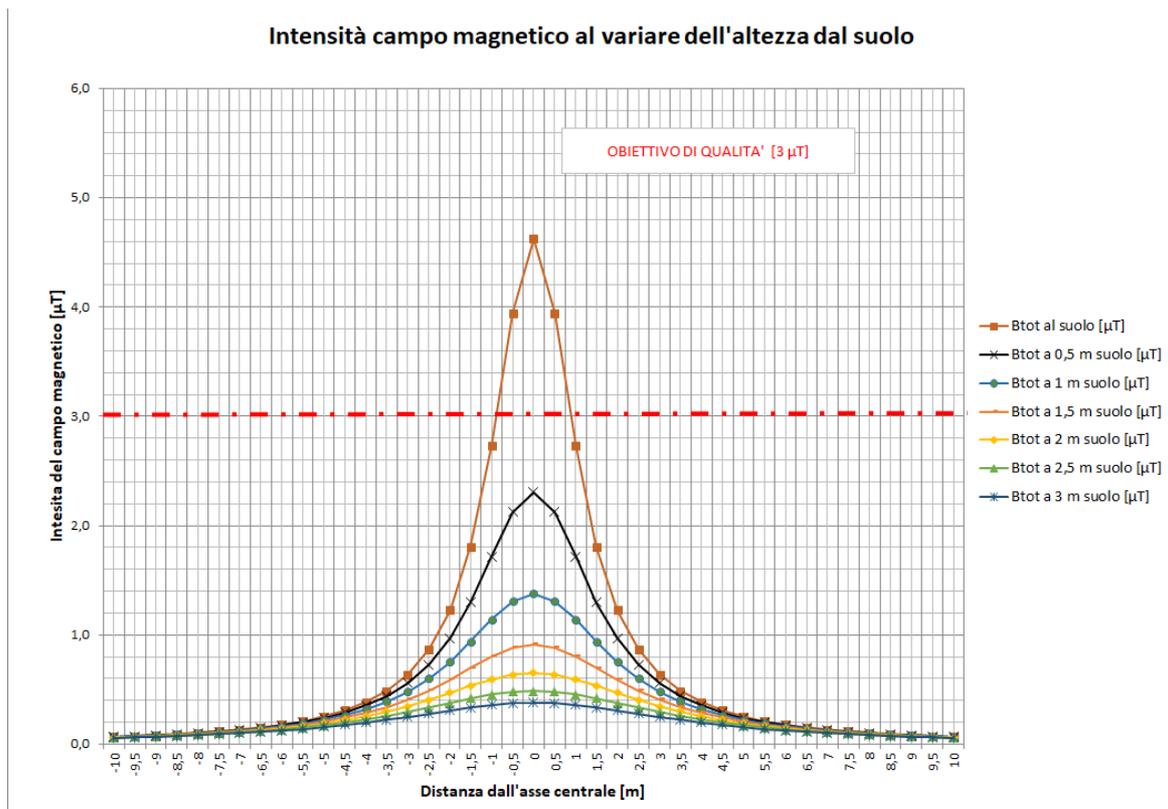


Fig. n°6 Intensità del campo magnetico al variare dell'altezza dal suolo del tratto "C-D" / SSE di cavidotto

Il campo di induzione magnetica calcolato al livello del suolo (0 metri dal piano campagna) risulta essere di poco superiore al valore indicato come obiettivo di qualità, essendo pari a $4,62 \mu\text{T}$, valore comunque inferiore al limite di attenzione di $10 \mu\text{T}$ fissato per tempi di permanenze nelle

vicinanze dei conduttori non inferiori a quattro ore giornaliere, per altro in ambienti diversi da quello in esame.

Dalla tabella si può notare come il valore di $3 \mu\text{T}$ (limite di qualità) lo si raggiunge ad una distanza dall'asse dei conduttori superiore a 0,75 metri.

Pertanto si può concludere che il tratto "C-D" / SSE costituito da una terna di cavi da 630 mm^2 viene individuata una fascia di rispetto (DPA) complessiva di 1 metro (1 metro a sinistra e 1 metro a destra dell'asse del cavidotto) al di fuori del quale il rispetto dell'obiettivo di qualità è garantito.

All'interno della DPA individuata, non sono presenti recettori sensibili, ovvero non vi sono aree adibite né ad una permanenza giornaliera superiore alle 4 ore, né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni scuole e laddove presenti operatori per le operazioni di manutenzione la permanenza avrà durata limitata, per cui si può stabilire che non vi sono problemi per la salute umana.

Per ultimo occorre sottolineare che, i calcoli del campo magnetico contemplano valori di portata nominale dei cavidotti estremamente cautelativi poiché gli impianti di produzione da fonte fotovoltaica, per loro natura, non producono costantemente al loro valore nominale e soprattutto non producono durante l'intero arco della giornata, pertanto si può affermare che i valori calcolati sono significativamente superiori ai valori reali che si genereranno in fase di esercizio dell'impianto.

3.3.2. VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI - TRATTO "C-D"- "A-B" / SSE

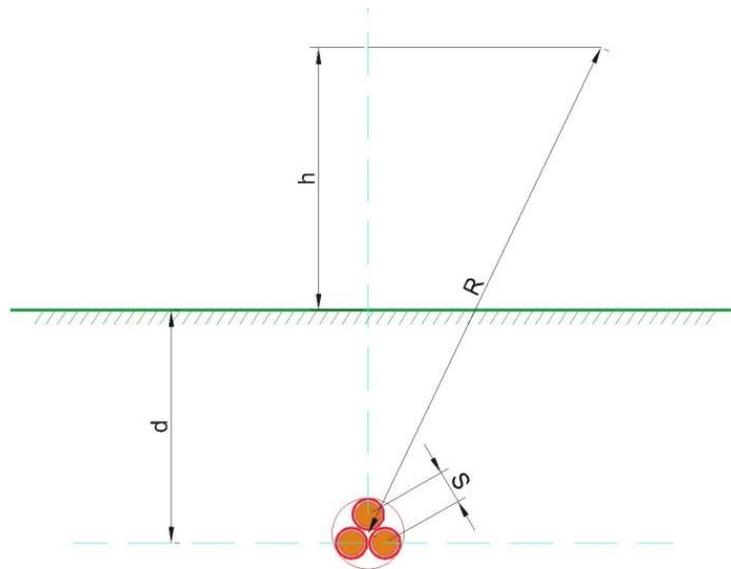
Per tener conto della presenza di due o più terne nella stessa sezione di scavo si è fatto ricorso ad un modello matematico che tenesse conto del campo magnetico generato da ogni singola terna.

Il modello costituito, secondo quanto previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap. 4.3, tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica, calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori.

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

$$B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{x_i - x}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

È possibile a questo punto effettuare una semplificazione del modello, che consideri il contributo non del singolo conduttore ma dell'intera terna, della quale sono note le caratteristiche geometriche. Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati: in questo modo viene introdotto un grado di protezione maggiore nel sistema.



Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

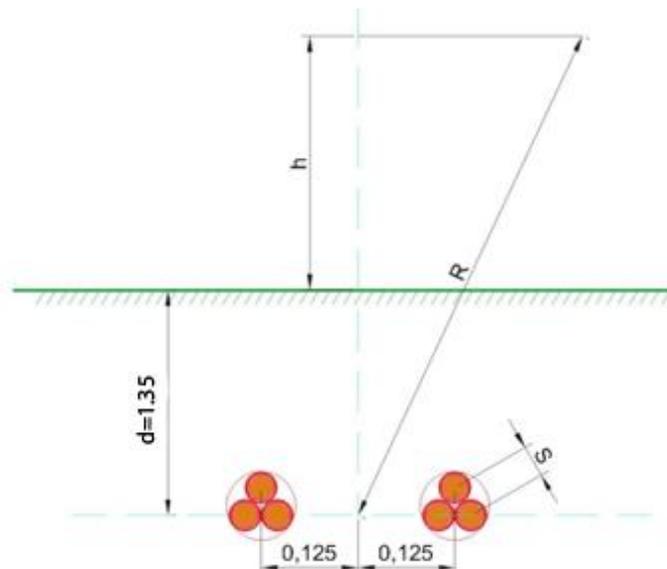
$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R^2}$$

dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A].

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

Considerata quindi la disposizione spaziale delle due terne, e fissando l'asse centrale del sistema come riportato in figura, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2}$$



dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema

(baricentro delle due terne di cavi), S_i [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna i -esima, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I_i [A] (specificata della terna i -esima).

Per quanto riguarda la corrente I_i , il DPCM 8/07/2003 all'art.6 indica di fare riferimento alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, così come definita dalla norma CEI 11-60, la quale regola la portata al limite termico delle linee aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV.

Trattandosi nel caso specifico invece di linea interrata in media tensione (30 kV), e non potendosi fare riferimento a quanto previsto dal decreto, si è fatto riferimento alla portata in corrente in regime permanente, così come definita dalla norma CEI 11-17.

Sono stati quindi calcolate, fissando vari valori di h , le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo.

Ai fini del calcolo relativo a due terne di cavi, è stato preso in esame il caso più gravoso presente in progetto, corrispondente alla tratta di cavidotto di collegamento in prossimità dell'ingresso alla sottostazione utente.

In tale tratta si verifica la compresenza di due cavidotti di media tensione interrati posti nello stesso scavo, entrambi di sezione pari a 630 mm².

Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui alla relazione di calcolo elettrico, che tiene conto delle condizioni di esercizio e della compresenza di più cavi nello stesso scavo.

La tabella che segue mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Nello specifico il tratto "A-B" – "C-D" è costituito da due terne di cavi da 630 mm² i cui valori sono di seguito riepilogati:

1^a Terna

Profondità di posa del cavo: 1,2 m

Distanza terna dall'asse neutro: 0,125 m

Sezione cavo: 3x1x630 mm²

Portata corretta cavo terna tratto LB: 475 A

Portata nominale cavo terna tratto LB: 446 A

2^a Terna

Profondità di posa del cavo: 1,2 m

Distanza terna dall'asse neutro: 0,125 m

Sezione cavo: 3x1x630 mm²

Portata corretta cavo terna tratto LB: 475 A

Portata nominale cavo terna tratto LB: 374 A

Nel caso specifico, applicando la formula di cui sopra si ottengono i risultati riportati nella tabella seguente.

Il calcolo è stato effettuato per diverse altezze dal livello del suolo e con intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Distanza dall'asse centrale [m]	Btot al suolo [μT]	Btot a 0,5 m suolo [μT]	Btot a 1 m suolo [μT]	Btot a 1,5 m suolo [μT]	Btot a 2 m suolo [μT]	Btot a 2,5 m suolo [μT]	Btot a 3 m suolo [μT]
-10	0,114647	0,113034	0,110933	0,108403	0,105505	0,111506	0,098876
-9,5	0,126831	0,124858	0,122301	0,119232	0,126160	0,121968	0,107806
-9	0,141052	0,138617	0,135471	0,131716	0,138955	0,133887	0,117910
-8,5	0,157789	0,154748	0,150837	0,146196	0,153700	0,147523	0,129381

-8	0,177668	0,173821	0,168902	0,163104	0,170787	0,163194	0,142448
-7,5	0,201520	0,196584	0,190315	0,182985	0,190702	0,181283	0,157381
-7	0,230466	0,224032	0,215926	0,206537	0,214051	0,202256	0,174493
-6,5	0,266048	0,257510	0,246856	0,234660	0,241590	0,226668	0,194148
-6	0,310433	0,298867	0,284609	0,268517	0,274259	0,255187	0,216758
-5,5	0,366726	0,350690	0,331216	0,309618	0,313223	0,288589	0,242769
-5	0,439506	0,416665	0,389452	0,359925	0,359904	0,327754	0,272644
-4,5	0,535713	0,502147	0,463135	0,421961	0,415987	0,373623	0,306806
-4	0,666223	0,615066	0,557521	0,498905	0,483367	0,427093	0,345548
-3,5	0,848694	0,767338	0,679769	0,594575	0,563942	0,488800	0,388883
-3	1,112920	0,976975	0,839260	0,713087	0,659129	0,558739	0,436313
-2,5	1,511027	1,270712	1,047130	0,857749	0,768882	0,635667	0,486537
-2	2,136128	1,685107	1,313187	1,028451	0,890055	0,716314	0,537152
-1,5	3,148113	2,257134	1,636475	1,216827	1,014270	0,794684	0,584490
-1	4,750951	2,978257	1,985663	1,400198	1,126453	0,862006	0,623842
-0,5	6,822901	3,684690	2,278213	1,540049	1,206446	0,908143	0,650254
0	8,003279	4,009386	2,399232	1,594631	1,235681	0,924634	0,659834
0,5	6,822901	3,684690	2,278213	1,540049	1,206446	0,908143	0,650254
1	4,750951	2,978257	1,985663	1,400198	1,126453	0,862006	0,623842
1,5	3,148113	2,257134	1,636475	1,216827	1,014270	0,794684	0,584490
2	2,136128	1,685107	1,313187	1,028451	0,890055	0,716314	0,537152
2,5	1,511027	1,270712	1,047130	0,857749	0,768882	0,635667	0,486537
3	1,112920	0,976975	0,839260	0,713087	0,659129	0,558739	0,436313
3,5	0,848694	0,767338	0,679769	0,594575	0,563942	0,488800	0,388883
4	0,666223	0,615066	0,557521	0,498905	0,483367	0,427093	0,345548
4,5	0,535713	0,502147	0,463135	0,421961	0,415987	0,373623	0,306806
5	0,439506	0,416665	0,389452	0,359925	0,359904	0,327754	0,272644
5,5	0,366726	0,350690	0,331216	0,309618	0,313223	0,288589	0,242769
6	0,310433	0,298867	0,284609	0,268517	0,274259	0,255187	0,216758
6,5	0,266048	0,257510	0,246856	0,234660	0,241590	0,226668	0,194148
7	0,230466	0,224032	0,215926	0,206537	0,214051	0,202256	0,174493
7,5	0,201520	0,196584	0,190315	0,182985	0,190702	0,181283	0,157381
8	0,177668	0,173821	0,168902	0,163104	0,170787	0,163194	0,142448
8,5	0,157789	0,154748	0,150837	0,146196	0,153700	0,147523	0,129381
9	0,141052	0,138617	0,135471	0,131716	0,138955	0,133887	0,117910
9,5	0,126831	0,124858	0,122301	0,119232	0,126160	0,121968	0,107806
10	0,114647	0,113034	0,110933	0,108403	0,114998	0,111506	0,098876

Tab. 6 Distribuzione dei valori del campo magnetico

Il grafico che segue mostra come nel caso in esame, l'obiettivo di qualità, pari a $<3 \mu\text{T}$, è raggiunto già sull'asse del cavidotto stesso, ad una quota dal suolo superiore di 1 m, risultando pari a 2,39 μT .

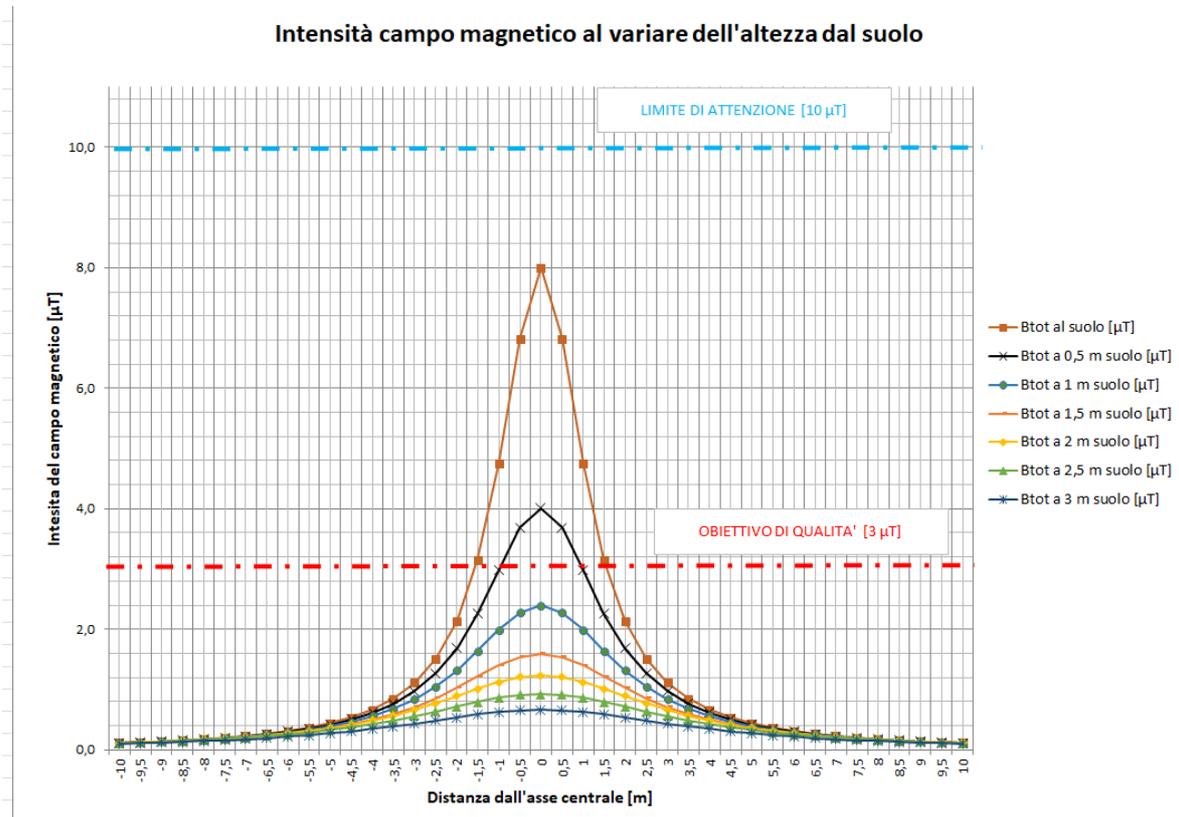


Fig. n°7 Intensità del campo magnetico al variare dell'altezza dal suolo del tratto "C-D"- "A-B" di cavidotto

Il campo di induzione magnetica calcolato al livello del suolo (0 metri dal piano campagna) risulta essere superiore al valore indicato come obiettivo di qualità, essendo pari a 8 μT , valore comunque inferiore al limite di attenzione di 10 μT fissato per tempi di permanenze nelle vicinanze dei conduttori non inferiori a quattro ore giornaliere, per altro in ambienti diversi da quello in esame.

Dalla tabella si può notare come il valore di $3 \mu\text{T}$ (limite di qualità) lo si raggiunge ad una distanza dall'asse dei conduttori pari a 1,65 metri.

Pertanto si può concludere che per il tratto LA costituito da due terne di cavi da 630 mm^2 viene individuata una fascia di rispetto (DPA) complessiva di 2 metri (2 metri a sinistra e 2 metri a destra dell'asse del cavidotto) al di fuori del quale il rispetto dell'obiettivo di qualità è garantito.

All'interno della DPA individuata, non sono presenti recettori sensibili, ovvero non vi sono aree adibite né ad una permanenza giornaliera superiore alle 4 ore, né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni scuole e laddove presenti operatori per le operazioni di manutenzione la permanenza avrà durata limitata, per cui si può stabilire che non vi sono problemi per la salute umana.

Per ultimo occorre sottolineare che, i calcoli del campo magnetico contemplano valori di portata nominale dei cavidotti estremamente cautelativi poiché gli impianti di produzione da fonte fotovoltaica, per loro natura, non producono costantemente al loro valore nominale e soprattutto non producono durante l'intero arco della giornata, pertanto si può affermare che i valori calcolati sono significativamente superiori ai valori reali che si genereranno in fase di esercizio dell'impianto.

3.3.3. VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI - TRATTO "A-B"- "C-D"- "E" / SSE

Nel seguente paragrafo verrà calcolata l'induzione magnetica generata dalle linee MT, nel percorso che va dalla Cabina di Smistamento dei blocchi "A-B"- "C-D"- "E" alla sottostazione utente di trasformazione 30/150 kV, costituita da tre terne di cavi MT da 630 mm^2 con portata rispettivamente di 374 A, 446 A e 368 A.

Nel caso specifico le tre terne viaggiano su percorsi distinti e si affiancano solo nel tratto finale corrispondente all'area della sottostazione utente.

Nel caso specifico trattandosi di tre terna di cavi, si farà ricorso ad un modello matematico che tenga conto del campo magnetico generato da ogni singola terna.

Si utilizzerà a tal fine il modello previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap. 4.3 che tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori.

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

$$B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{x_i - x}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

E' possibile semplificare il modello considerando l'interna terna di cavi, della quale si conoscono le caratteristiche geometriche, al posto del singolo conduttore.

Pertanto si considererà il modello del sistema composta da cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati, soluzione questa, che comporta un grado di protezione maggiore nel sistema poiché il campo magnetico generato dal cavo elicordato è meno intenso di quello generato da una terna posata a trifoglio.

Per i cavi unipolari posati a trifoglio si può ricorrere, come suggerito dalla norma CEI 106-11, ad una espressione approssimata del campo magnetico ovvero:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} \frac{S * I}{R^2}$$

dove :

B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante;

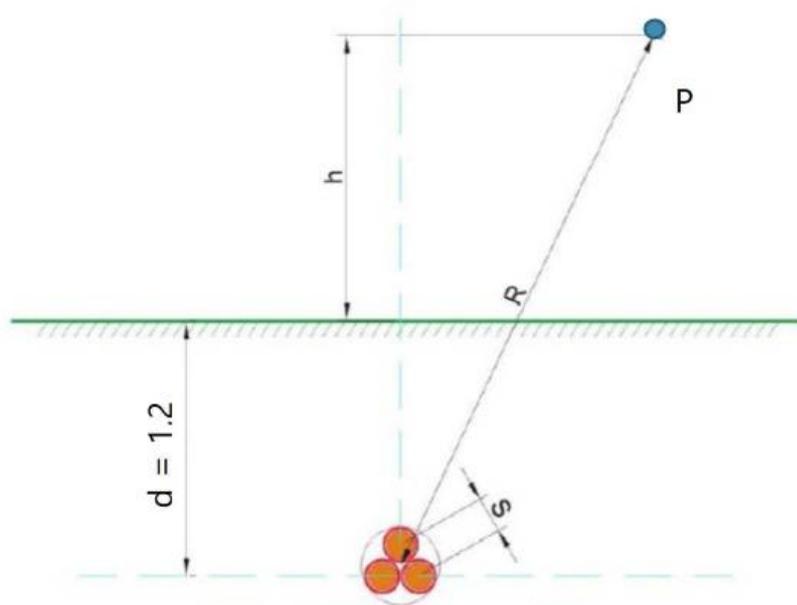
S [**m**] è la distanza fra i conduttori adiacenti percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a **I**[**A**]

R[**m**] è la distanza radiare dal conduttore;

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto secondo la seguente formula:

$$B_i = 0,1 * \sqrt{6} \frac{S_i * I_i}{(x - x_i)^2 + (y - d)^2}$$

Dove B_i è il campo magnetico generato dalla i -esima terna di cavi.

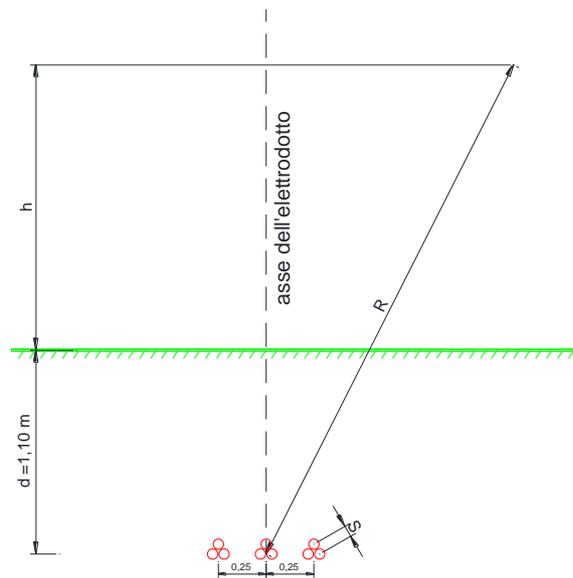


Analogamente a quanto visto nel paragrafo precedente, viene condotto lo studio nel caso di un

elettrodotto costituito da tre terne di cavi.

Considerata quindi la disposizione spaziale delle terne, e fissando l'asse centrale del sistema come riportato in figura, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_3 * I_3}{(x - x_3)^2 + (y - d)^2}$$



dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle terne di cavi), Si [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna i-esima, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a li [A] (specificata della terna i-esima). Sono stati quindi calcolate, fissando vari valori di h, le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo.

Quindi il campo di induzione magnetica sarà dato dalla somma dei campi di induzione generato da ciascuna delle terne in progetto.

Nello specifico il tratto preso in esame è il caso più gravoso presente in progetto, corrispondente alla tratta di cavidotto di collegamento in prossimità dell'ingresso alla sottostazione utente in cui sono presenti tre cavidotti

1^a Terna

Profondità di posa del cavo: 1,2 m

Distanza terna dall'asse neutro: 0 m

Sezione cavo: 3x1x630 mm²

Portata corretta cavo terna tratto LB: 475 A

Portata nominale cavo terna tratto LB: 374 A

2^a Terna

Profondità di posa del cavo: 1,2 m

Distanza terna dall'asse neutro: 0,1250 m

Sezione cavo: 3x1x630 mm²

Portata corretta cavo terna tratto LB: 475 A

Portata nominale cavo terna tratto LB: 446 A

3^a Terna

Profondità di posa del cavo: 1,2 m

Distanza terna dall'asse neutro: -0,1250 m

Sezione cavo: 3x1x630 mm²

Portata corretta cavo terna tratto LB: 475 A

Portata nominale cavo terna tratto LB: 368 A

Nel caso specifico, applicando la formula di cui sopra si ottengono i risultati riportati nella tabella seguente.

Il calcolo è stato effettuato per diverse altezze dal livello del suolo e con intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Distanza dall'asse centrale [m]	Btot al suolo [μ T]	Btot a 0,5 m suolo [μ T]	Btot a 1 m suolo [μ T]	Btot a 1,5 m suolo [μ T]	Btot a 2 m suolo [μ T]	Btot a 2,5 m suolo [μ T]	Btot a 3 m suolo [μ T]
-10	0,168020	0,165628	0,162516	0,158769	0,154480	0,139785	0,144677
-9,5	0,185983	0,183057	0,179263	0,174715	0,158242	0,152945	0,157800
-9	0,206971	0,203353	0,198682	0,193109	0,174351	0,167942	0,172654
-8,5	0,231696	0,227171	0,221357	0,214462	0,192923	0,185106	0,189524
-8	0,261095	0,255363	0,248039	0,239413	0,214455	0,204839	0,208748
-7,5	0,296413	0,289046	0,279698	0,268777	0,239563	0,227625	0,230725
-7	0,339334	0,329712	0,317603	0,303594	0,269015	0,254052	0,255917
-6,5	0,392179	0,379382	0,363436	0,345207	0,303768	0,284825	0,284860
-6	0,458213	0,440837	0,419448	0,395351	0,345015	0,320782	0,318155
-5,5	0,542137	0,517976	0,488691	0,456284	0,394231	0,362903	0,356458
-5	0,650894	0,616368	0,575333	0,530933	0,453213	0,412293	0,400435
-4,5	0,795054	0,744123	0,685116	0,623058	0,524084	0,470125	0,450688
-4	0,991235	0,913270	0,825939	0,737382	0,609218	0,537500	0,507608
-3,5	1,266537	1,141912	1,008533	0,879528	0,710959	0,615169	0,571146
-3	1,666880	1,457408	1,246871	1,055448	0,830980	0,703030	0,640471
-2,5	2,272890	1,900187	1,557241	1,269630	0,969000	0,799367	0,713536
-2	3,228676	2,524654	1,953072	1,520977	1,120669	0,899859	0,786646
-1,5	4,778997	3,382189	2,429758	1,795424	1,274905	0,996732	0,854280
-1	7,214188	4,444907	2,934520	2,057249	1,412243	1,078821	0,909488
-0,5	10,226318	5,437674	3,338553	2,248504	1,507314	1,133498	0,945157
0	11,594995	5,808721	3,475961	2,310270	1,537675	1,150609	0,955954
0,5	10,226318	5,437674	3,338553	2,248504	1,507314	1,133498	0,945157
1	7,214188	4,444907	2,934520	2,057249	1,412243	1,078821	0,909488
1,5	4,778997	3,382189	2,429758	1,795424	1,274905	0,996732	0,854280
2	3,228676	2,524654	1,953072	1,520977	1,120669	0,899859	0,786646
2,5	2,272890	1,900187	1,557241	1,269630	0,969000	0,799367	0,713536

3	1,666880	1,457408	1,246871	1,055448	0,830980	0,703030	0,640471
3,5	1,266537	1,141912	1,008533	0,879528	0,710959	0,615169	0,571146
4	0,991235	0,913270	0,825939	0,737382	0,609218	0,537500	0,507608
4,5	0,795054	0,744123	0,685116	0,623058	0,524084	0,470125	0,450688
5	0,650894	0,616368	0,575333	0,530933	0,453213	0,412293	0,400435
5,5	0,542137	0,517976	0,488691	0,456284	0,394231	0,362903	0,356458
6	0,458213	0,440837	0,419448	0,395351	0,345015	0,320782	0,318155
6,5	0,392179	0,379382	0,363436	0,345207	0,303768	0,284825	0,284860
7	0,339334	0,329712	0,317603	0,303594	0,269015	0,254052	0,255917
7,5	0,296413	0,289046	0,279698	0,268777	0,239563	0,227625	0,230725
8	0,261095	0,255363	0,248039	0,239413	0,214455	0,204839	0,208748
8,5	0,231696	0,227171	0,221357	0,214462	0,192923	0,185106	0,189524
9	0,206971	0,203353	0,198682	0,193109	0,174351	0,167942	0,172654
9,5	0,185983	0,183057	0,179263	0,174715	0,158242	0,152945	0,157800
10	0,168020	0,165628	0,162516	0,158769	0,144196	0,139785	0,144677

Tab. 7 Distribuzione dei valori del campo magnetico

Il grafico che segue mostra come nel caso in esame, l'obiettivo di qualità, pari a $<3 \mu\text{T}$, è raggiunto già sull'asse del cavidotto stesso, ad una quota dal suolo superiore a 1,5 m, risultando pari a 2,24 μT .

Intensità campo magnetico al variare dell'altezza dal suolo

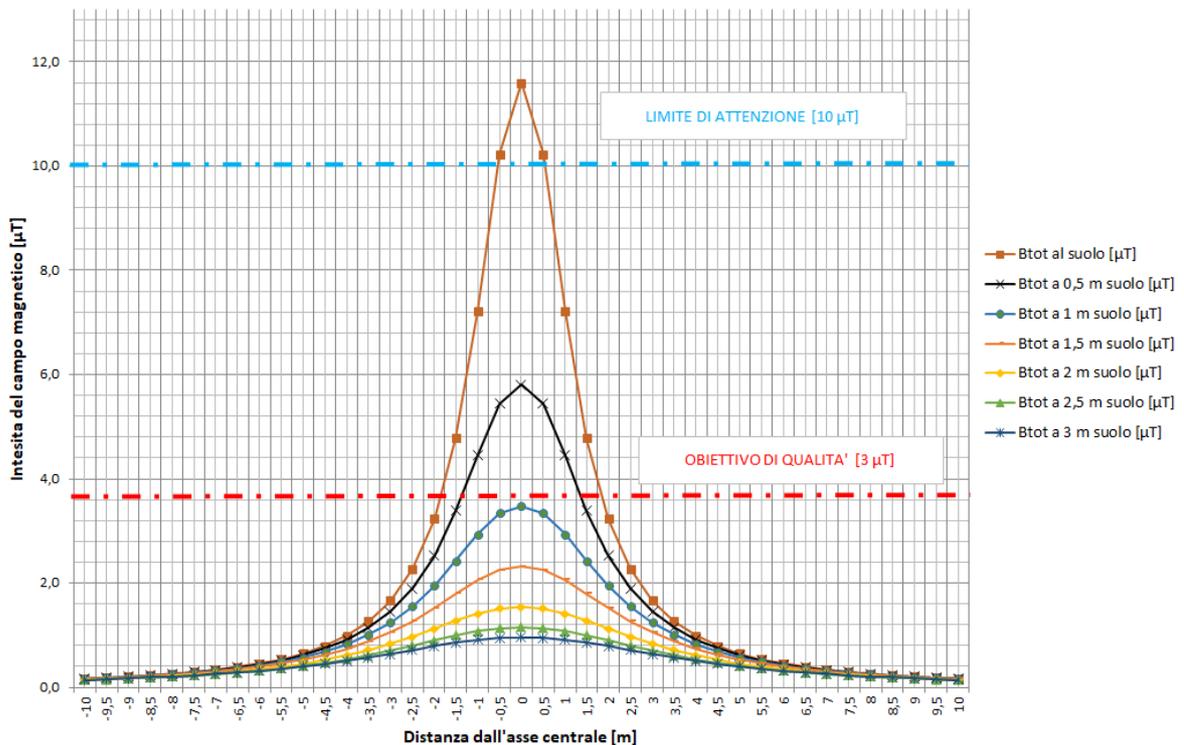


Fig. n°8 Intensità del campo magnetico al variare dell'altezza dal suolo del tratto "C-D"- "A-B"- "E" di cavidotto

Dalla tabella si può notare come il valore di 3 µT (limite di qualità) lo si raggiunge ad una distanza dall'asse dei conduttori pari a 2,5 metri.

Pertanto si può concludere che per il tratto "C-D"- "A-B"- "E" costituito da tre terne di cavi da 630 mm² viene individuata una fascia di rispetto (DPA) complessiva di 2,5 metri (2,5 metri a sinistra e 2,5 metri a destra dell'asse del cavidotto) al di fuori del quale il rispetto dell'obiettivo di qualità è garantito.

All'interno della DPA individuata, non sono presenti recettori sensibili, ovvero non vi sono aree adibite né ad una permanenza giornaliera superiore alle 4 ore, né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni scuole e laddove presenti operatori per le operazioni di manutenzione la

permanenza avrà durata limitata, per cui si può stabilire che non vi sono problemi per la salute umana.

Per ultimo occorre sottolineare che, i calcoli del campo magnetico contemplano valori di portata nominale dei cavidotti estremamente cautelativi poiché gli impianti di produzione da fonte fotovoltaica, per loro natura, non producono costantemente al loro valore nominale e soprattutto non producono durante l'intero arco della giornata, pertanto si può affermare che i valori calcolati sono significativamente superiori ai valori reali che si genereranno in fase di esercizio dell'impianto.

3.4. LINEA DI CONNESSIONE AT 150 KV

Nel seguente paragrafo verrà calcolata l'induzione magnetica generata dalla linea AT, nel tratto che va dalla sottostazione utente di trasformazione 30/150 kV alla Stazione Elettrica Terna denominata "Melfi", e la relativa DPA entro la quale il campo elettromagnetico è inferiore all'obiettivo di qualità di 3 μ T come da D.P.C.M. 8 luglio 2003.

L'elettrodotto in oggetto sarà costituito da una terna di cavi AT in alluminio con isolamento XPLE, tensione di esercizio 150 kV, in formazione 3x1x1600 mm², posati ad una profondità di circa 1,50 m.

Per il calcolo del campo magnetico generato dal cavidotto AT si rimanda al tomo II della relazione tecnica specialistica campi elettromagnetici essendo questo opera comune a più produttori in conformità alla richieste di Terna di razionalizzare le infrastrutture di connessione e rete, anche se di seguito si forniscono le risultanze della stessa.

Gli impianti fotovoltaici dei quattro produttori saranno connessi alla RTN tramite collegamento in antenna alla stazione TERNA 380/150 kV di Melfi (PT). I campi saranno collegati tramite

connessione in cavo in MT a 30 kV alla SSE-U di trasformazione MT/AT ubicata nella frazione San Carlo D'Ascoli Ascoli Satriano (Foggia – Puglia).

Da questa, mediante elettrodotto interrato di AT a 150 kV, si giungerà alla SSE lato rete di Terna Melfi San Nicola. La SSE-U sarà dimensionata secondo quanto riportato negli elaborati grafici allegati e sarà condivisa dai suddetti 4 produttori, con potenza complessiva allo stallo di AT di 220,09 MW in a.c.

Le caratteristiche elettriche dell'elettrodotto in AT a 150 kV in esame e del cavo utilizzato sono le seguenti:

Frequenza nominale	50 Hz
Tensione nominale	150 kV
Corrente nominale	1000 A
Potenza nominale	260 MVA
Sezione nominale del conduttore	1600 mm ²
Isolante	XLPE

Verifica posa interrata a trifoglio

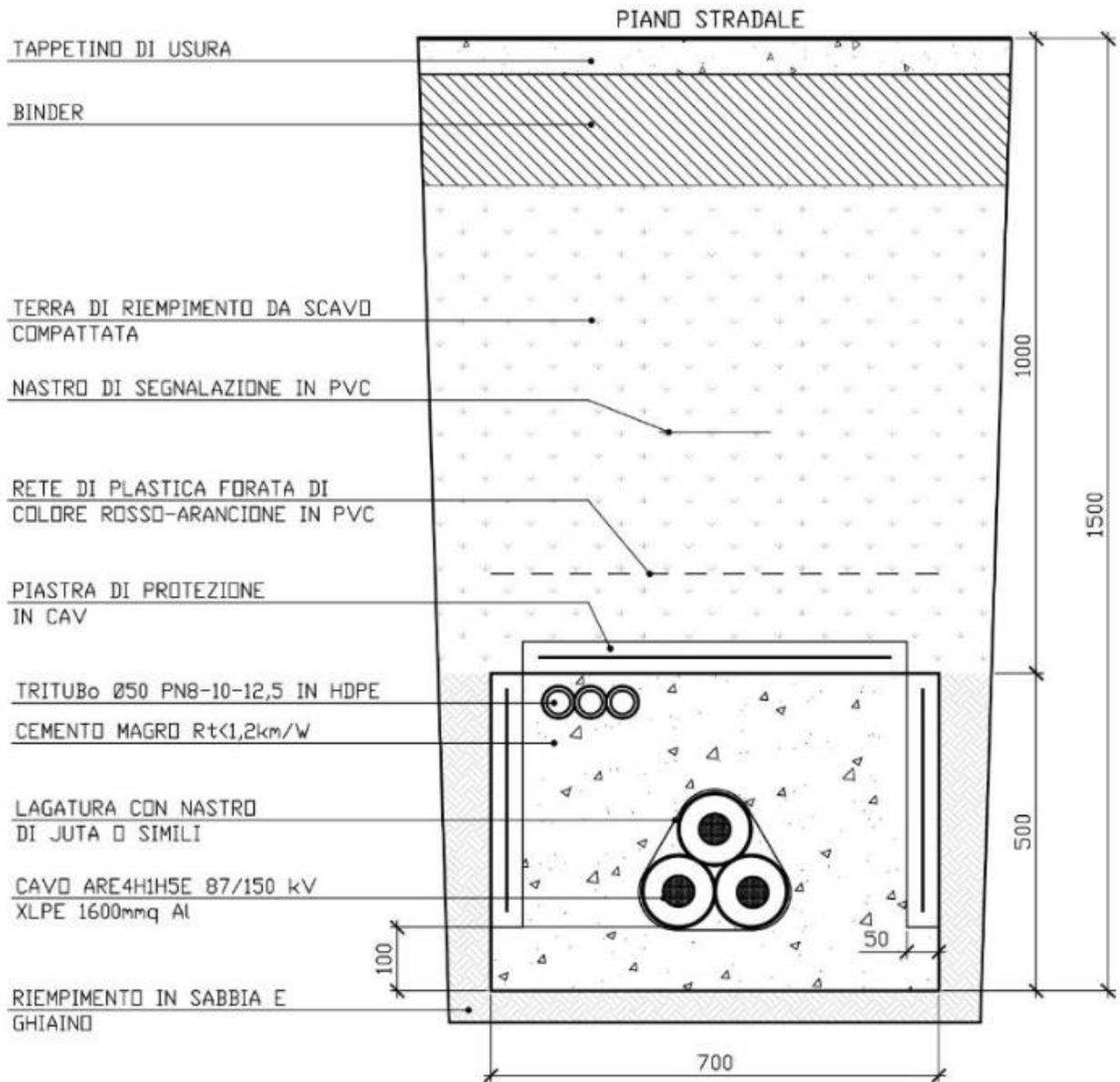


Fig. 9 Sezione tipo cavo AT

Sulla base dei dati di progetto essendo il cavidotto AT ha:

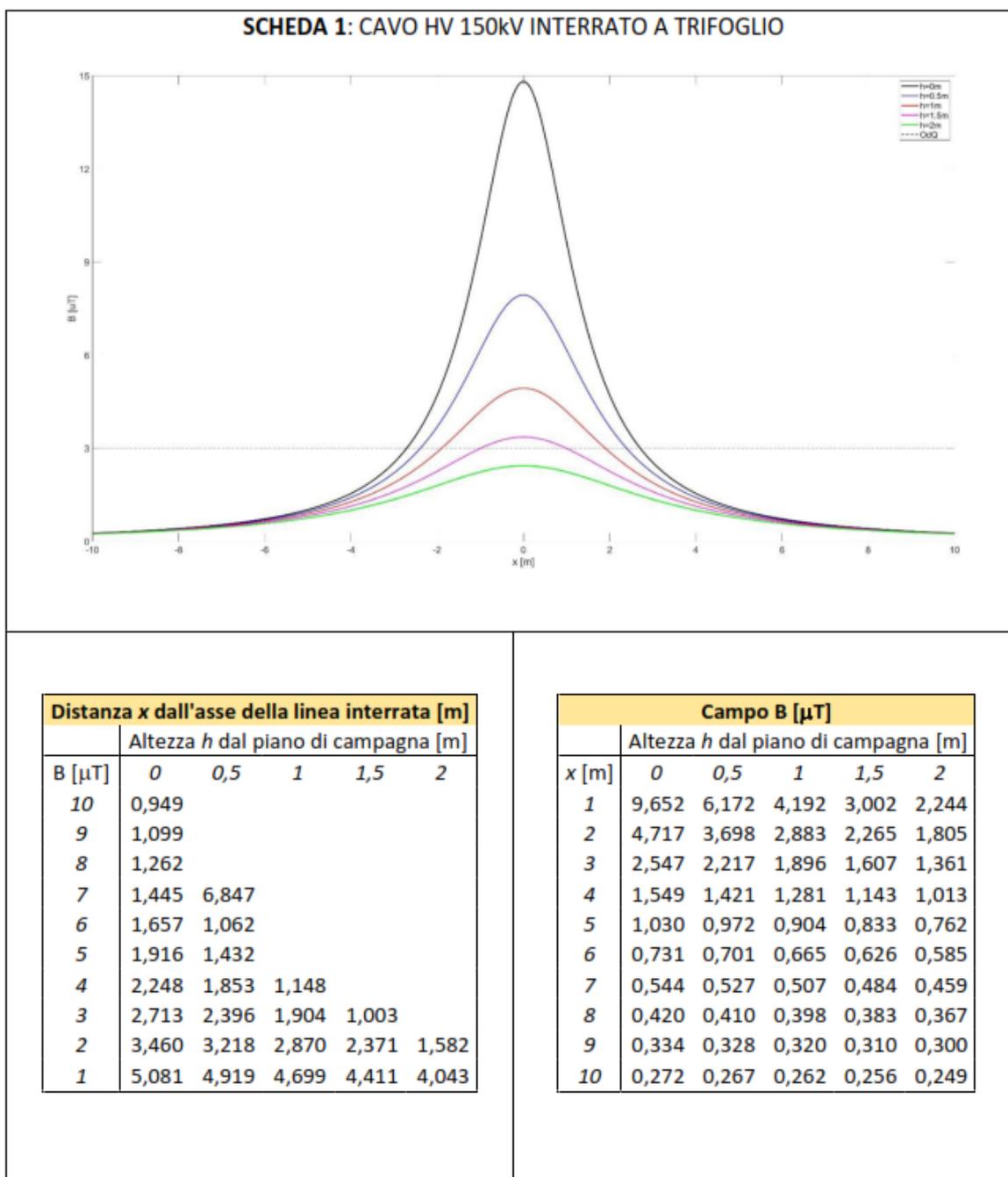
$I = 1000 \text{ A}$ (secondo costruttore),

$S = 1600 \text{ mm}^2$,

$d = 113 \text{ mm}$,

si ottiene

$R' = D_{pa} = 3,1 \text{ m}$
Fascia di rispetto fuori terra: 2.8 m



Con riferimento alla “Linea guida ENEL per l’applicazione del § 5.1.3 dell’allegato al DM 29.05.08” nella scheda A15 (semplice terna di cavi interrati disposti a trifoglio – serie 132/150 kV) con sezione totale dei cavi di 1.600 mmq e con una corrente di impiego di 1110 A, si riporta una DPA (ove l’induzione magnetica è <3 μT) pari a 3,10 metri.

Tipologia sostegno	Formazione	Armamento	Corrente	DPA (m)	Rif.
Tubolare Doppia Terna con mensole isolanti (serie 132/150 kV) Scheda A13	22.8 mm 307.75 mm²		576	22	A13a
			444	19	A13b
	31.5 mm 585.35 mm²		870	27	A13c
			675	23	A13d
CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti in piano (serie 132/150 kV) Scheda A14	108 mm 1600 mm²		1110	5.10	A14
CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV) Scheda A15	108 mm 1600 mm²		1110	3.10	A15
CABINA PRIMARIA ISOLATA IN ARIA (132/150kV - 15/20kV) Trasformatori 63MVA Scheda A16	Distanza tra le fasi AT = 2.20 m		870	14	A16
	Distanza tra le fasi MT = 0.37 m		2332	7	

Fig. 10 DPA per cavi interrati (Linea Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'allegato al DM 29.05.08)

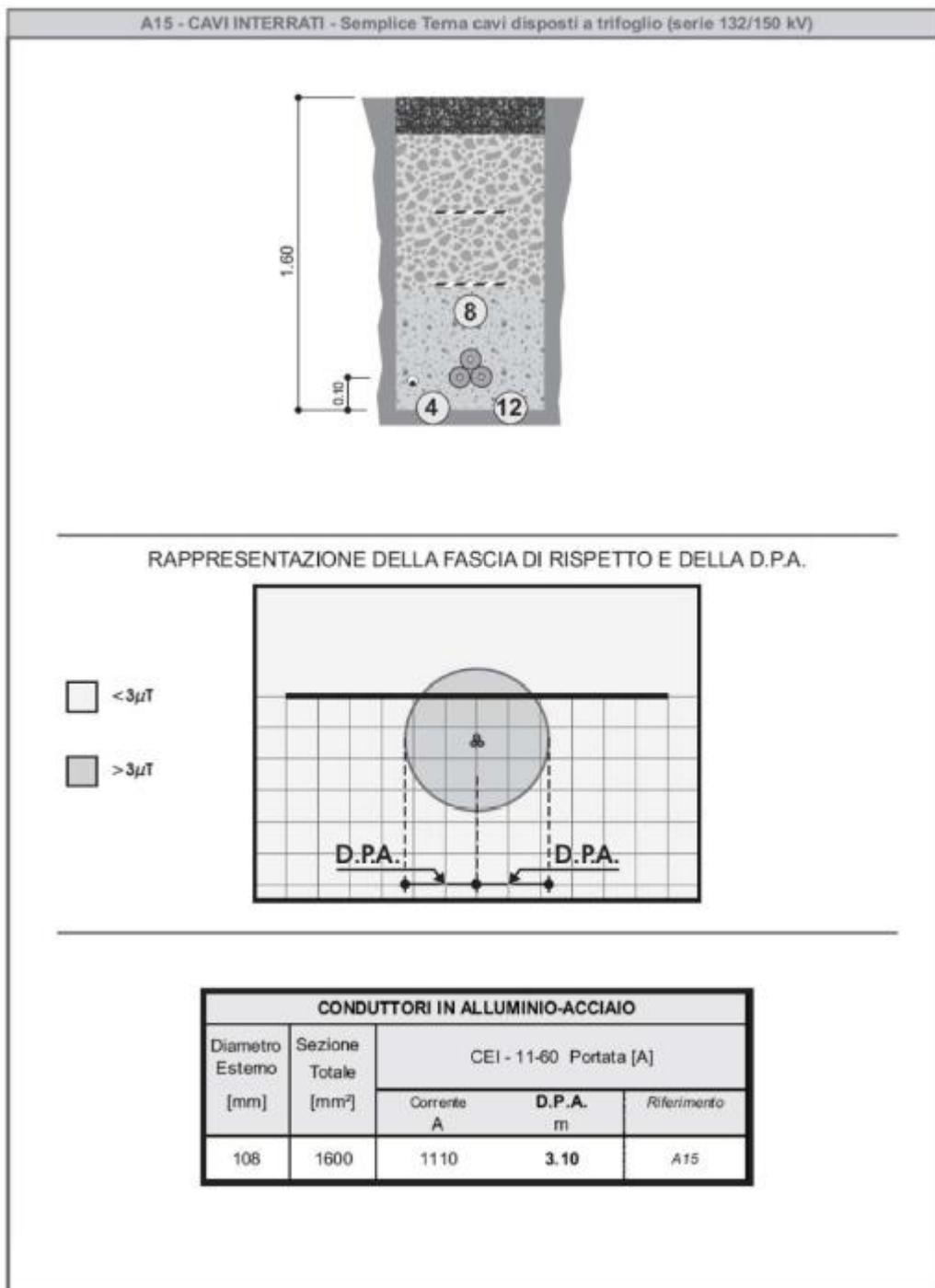


Fig. 11 Scheda A14 (Linea Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'allegato al DM 29.05.08)

Verifica posa interrata con TOC

Nel presente calcolo, si considera la linea di connessione in cavo a 150 kV costituita da una semplice terna di cavi interrati disposti in piano entro tubazione in PEAD come riportato in Figura 12.

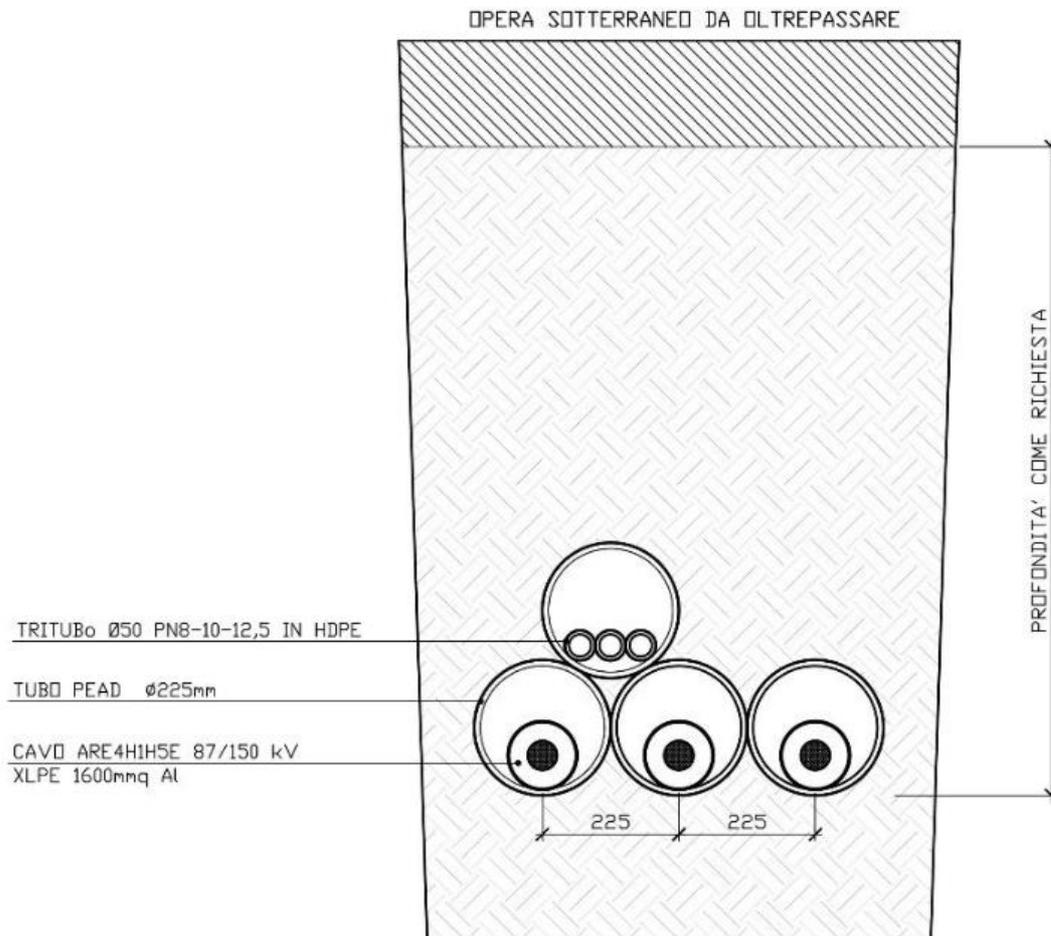


Fig. 12 Semplice terna di cavi a 150 kV interrati in cavidotti posati con TOC

Essendo:

$I = 1000$ A (secondo costruttore),

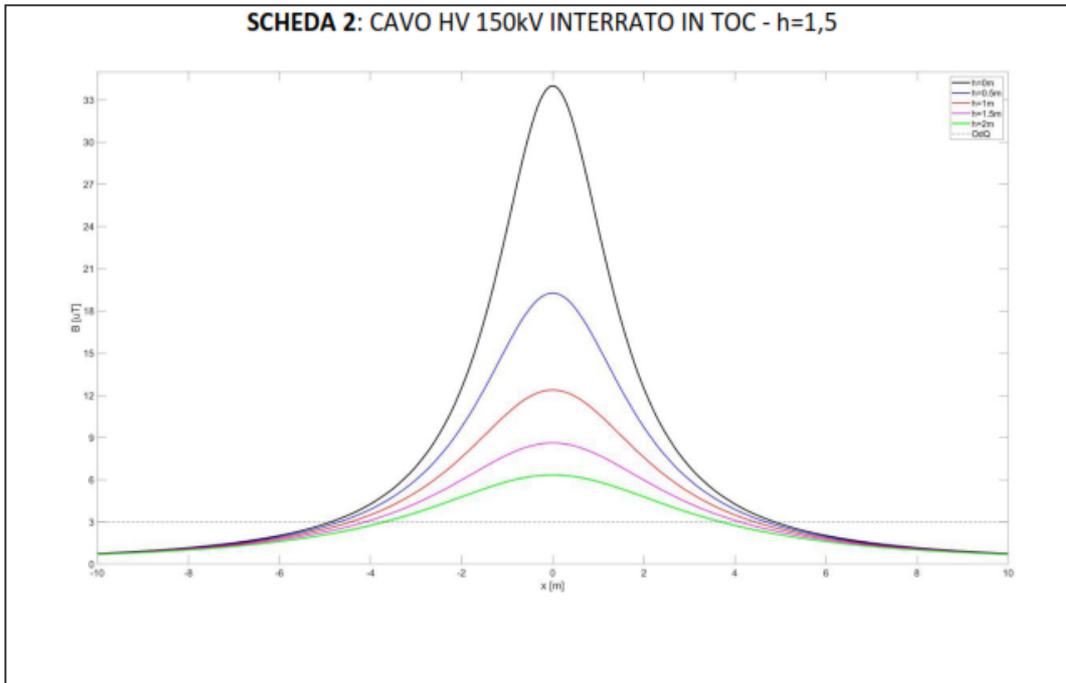
$S = 1600$ mm²,

$d = 113$ mm,

si ottiene:

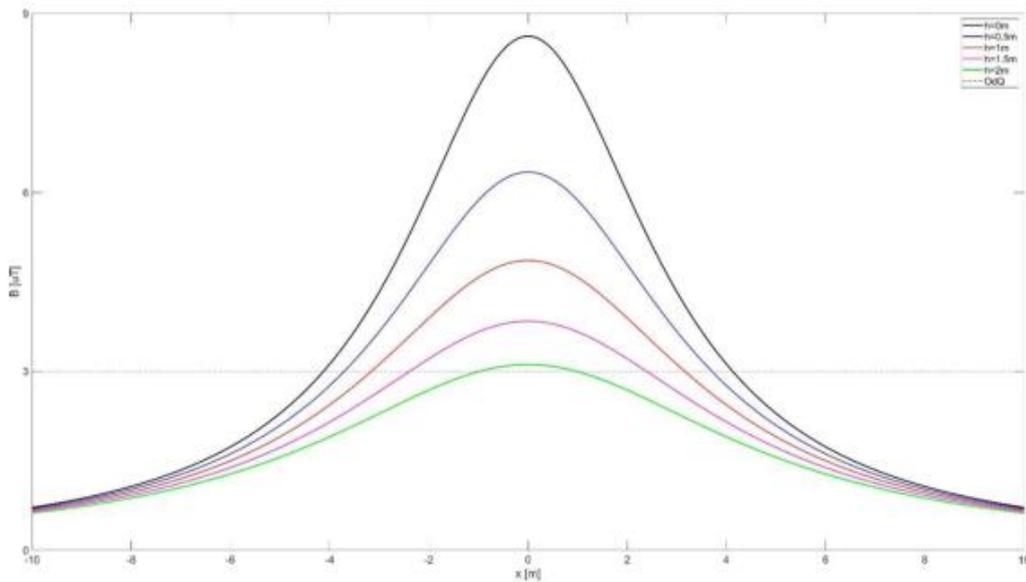
$R' = Dpa = 5,1 \text{ m}$

Fascia di rispetto fuori terra: 4.9 m



Distanza x dall'asse della linea interrata [m]						Campo B [μT]							
		Altezza h dal piano di campagna [m]							Altezza h dal piano di campagna [m]				
B [μT]	0	0,5	1	1,5	2	x [m]	0	0,5	1	1,5	2		
10	2,361	1,950	1,233			1	23,899	15,520	10,709	7,769	5,867		
9	2,538	2,162	1,548			2	12,516	9,753	7,602	5,990	4,791		
8	2,744	2,400	1,867	0,841		3	6,952	6,008	5,117	4,332	3,668		
7	2,987	2,675	2,211	1,453		4	4,282	3,905	3,508	3,121	2,760		
6	3,284	3,003	2,598	1,995	0,838	5	2,866	2,692	2,497	2,295	2,094		
5	3,658	3,409	3,059	2,567	1,821	6	2,041	1,951	1,847	1,734	1,617		
4	4,158	3,940	3,642	3,240	2,689	7	1,522	1,472	1,412	1,345	1,273		
3	4,877	4,693	4,446	4,124	3,707	8	1,177	1,147	1,110	1,068	1,023		
2	6,064	5,918	5,724	5,478	5,172	9	0,937	0,918	0,894	0,866	0,836		
1	8,704	8,602	8,470	8,306	8,108	10	0,763	0,750	0,734	0,715	0,695		

SCHEDA 3: CAVO HV 150kV INTERRATO IN TOC - h=3m



B [μ T]	Distanza x dall'asse della linea interrata [m]				
	Altezza h dal piano di campagna [m]				
	0	0,5	1	1,5	2
10					
9					
8	0,841				
7	1,453				
6	1,995	0,838			
5	2,567	1,821			
4	3,240	2,689	1,860		
3	4,124	3,707	3,159	2,390	0,970
2	5,478	5,172	4,795	4,328	3,737
1	8,306	8,108	7,873	7,598	7,278

x [m]	Campo B [μ T]				
	Altezza h dal piano di campagna [m]				
	0	0,5	1	1,5	2
1	7,769	5,867	4,575	3,661	2,993
2	5,990	4,791	3,893	3,211	2,685
3	4,332	3,668	3,117	2,664	2,291
4	3,121	2,760	2,436	2,150	1,901
5	2,295	2,094	1,902	1,723	1,559
6	1,734	1,617	1,500	1,386	1,278
7	1,345	1,273	1,200	1,126	1,054
8	1,068	1,023	0,975	0,926	0,876
9	0,866	0,836	0,804	0,770	0,736
10	0,715	0,695	0,672	0,648	0,624

Verifica posa aerea su impalcato dell'Ofanto

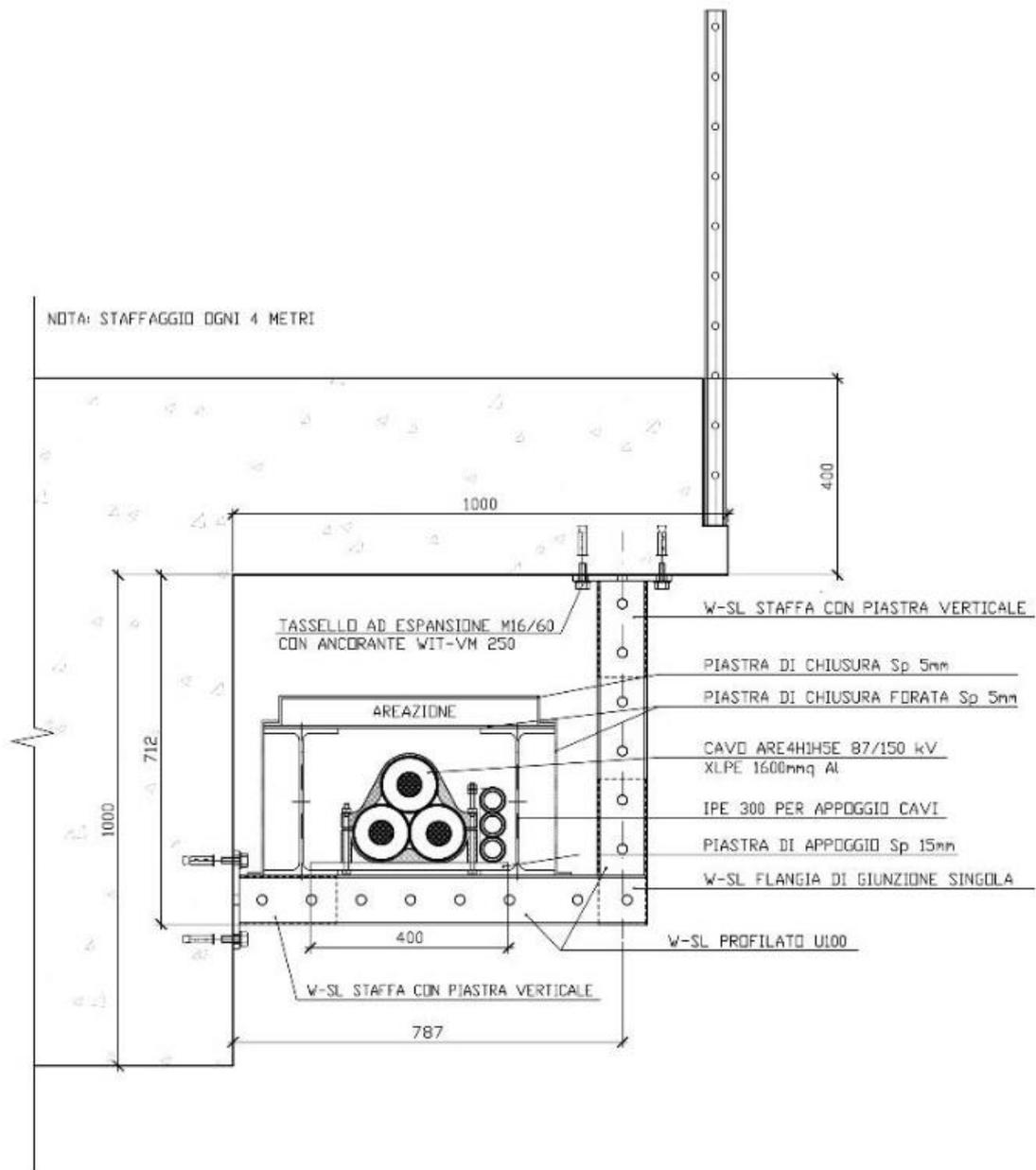


Fig.1 3 Semplice terna di cavi a 150 kV posati a trifoglio su via cavi fissata sull'impalcato del ponte sull'Ofanto

L'analisi è stata condotta utilizzando la piattaforma COMSOL Multiphysics: questa è una piattaforma di simulazione che comprende tutti i passaggi del flusso di lavoro di modellazione: dalla definizione di geometrie, proprietà materiali e della fisica per la descrizione di fenomeni specifici, fino alla risoluzione e al post-processing, per produrre risultati accurati e affidabili. Il software è basato sul metodo degli elementi finiti (FEM) nel dominio della frequenza.

In dettaglio, è stata analizzata la struttura con il modulo Magnetic Fields con approssimazione in bassa frequenza (correnti di spostamento trascurabili), utilizzando elementi triangolari del secondo ordine e chiedendo il dominio con Robin Boundary Condition (RBS) ovvero Infinite Elements, al fine di simulare un dominio aperto infinito.

L'analisi è stata condotta a 50 Hz. Il modello FEM è riportato in Figura 14.

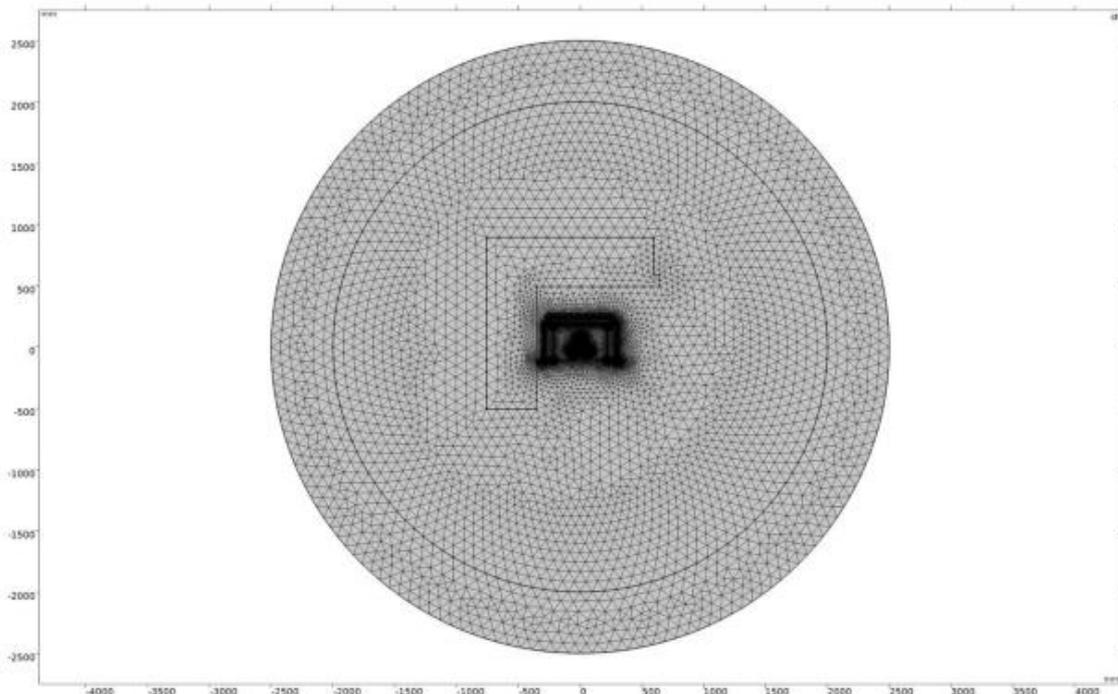


Fig. 14 Modello FEM del passaggio sull'Ofanto

I risultati mostrati in Figura 15 e Figura 16 mostrano una DPA approssimabile a meno di un metro.

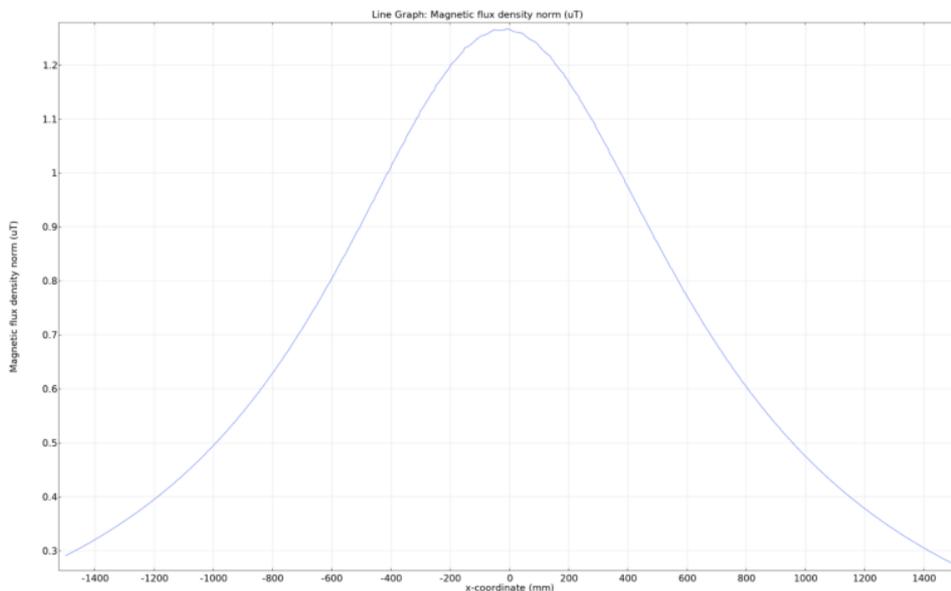


Fig. 17 Andamento del modulo del campo B sul piano stradale del ponte

Dall'analisi di tutte le condizioni di posa si può notare come il valore di $3 \mu\text{T}$ (limite di qualità) lo si raggiunge ad una distanza dall'asse dei conduttori inferiore a 5 metri.

Pertanto si può concludere che per il tratto di cavidotto AT costituito da tre terne di cavi da 1600 mm² viene individuata una fascia di rispetto (DPA) massima 5 metri (5 metri a sinistra e 5 metri a destra dell'asse del cavidotto) al di fuori del quale il rispetto dell'obiettivo di qualità è garantito.

All'interno della DPA individuata, non sono presenti recettori sensibili, ovvero non vi sono aree adibite né ad una permanenza giornaliera superiore alle 4 ore, né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni scuole e laddove presenti operatori per le operazioni di manutenzione la

permanenza avrà durata limitata, **per cui si può stabilire che non vi sono problemi per la salute umana.**

3.5. SOTTOSTAZIONE ELETTRICA UTENTE 30/150 KV

La sottostazione MT/AT verrà realizzata per l'innalzamento delle tensione e per la messa in parallelo con la rete elettrica nazionale e sarà funzionale a più impianti fotovoltaici che condivideranno lo stesso stallo AT in stazione TERNA.

Nella sua configurazione, la Sottostazione Elettrica SST Utente "Ascoli Satriano_San Carlo" prevede un collegamento alla SE RTN a 150 kV denominata "Melfi" attraverso un sistema di cavi AT interrati.

Il progetto in esame prevede la realizzazione di tre stalli di potenza pari a 90 MVA con raffreddamento in olio ONAN/ONAF con vasca di raccolta sottostante in caso di perdite accidentali su una superficie complessiva di 9400mq.

L'area occupata dalla sottostazione è opportunamente recintata con elementi prefabbricati e tale recinzione comprende tutta una zona di pertinenza intorno alle apparecchiature, per permettere le operazioni di costruzione e manutenzione con mezzi pesanti.

La finitura del piazzale interno alla SST sarà in asfalto e in corrispondenza delle apparecchiature AT sarà realizzata una finitura in ghiaietto.

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto, considerando che la SST è assimilabile a una cabina primaria si può ritenere che, così come previsto nel Decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare del 29 maggio 2008, la fascia di rispetto rientra nei confini della suddetta area di pertinenza rendendo superflua la valutazione.

Tuttavia, a titolo di esempio, si vuole analizzare alcune delle fonti di maggiore generazione di campi elettromagnetici che, per le stazioni ad alta tensione, sono essenzialmente:

- Linee interrate MT;
- Trasformatori BT/MT e MT/AT;
- Linee/sbarre aeree di connessione tra il trasformatore e le apparecchiature elettromeccaniche;
- Linea interrata AT;

Per quanto riguarda le linee interrate MT e AT si farà riferimento alle DPA già calcolate in precedenza, mentre per quanto riguarda i trasformatori il valore più elevato di induzione magnetica è registrabile in corrispondenza dei trasformatori medesimi (6 – 15 μT) valori che scendono in genere al di sotto degli obiettivi di qualità in corrispondenza della recinzione della stazione.

L'impatto generato dalle linee/sbarre AT è di gran lunga quello più significativo e pertanto si propone il calcolo della fascia di rispetto dalle linee/sbarre AT.

Le sbarre AT sono assimilabili ad una linea aerea trifase 150 kV con conduttori posti in piano percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate.

Nel progetto in esame si ha:

- S (distanza tra i conduttori) = 2,2 m;
- P_n = Potenza massima dell'impianto in progetto (210 MW);
- V_n = Tensione nominale delle sbarre AT (150kV).

e pertanto la corrente sarà pari a 809 A circa.

Utilizzando la formula di approssimazione proposta al paragrafo 6.2.1 della norma CEI 106-11, si avrà:

$$R' = 0,34 * \text{radq}(S * I)$$

Dove R è la distanza dal centro geometrico dei conduttori ovvero in corrispondenza del conduttore centrale corrispondente al valore di B uguale a 3 μT , si avrà:

$$R' = 0,34 * \text{radq}(2,2 \times 809) = 14,34$$

Per conferma, di seguito, è riportata l'individuazione delle fasce di rispetto relative ad una cabina primaria di Enel, estratto dalle Linee guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'allegato al DM 29-05-2008) da cui emerge che in situazioni simili le fasce di rispetto da osservare sono:

- 14 metri circa dal centro delle sbarre AT
- 7 metri circa dal centro delle sbarre MT

Sulla base di tali indicazioni sono state individuate le fasce di rispetto presso l'area della sottostazione come meglio evincibili dagli allegati tecnici.

Si è proceduto a eseguire un primo calcolo di emissione del campo B mediante Metodo dei Momenti (MoM) con funzione di Green statica magnetica, lavorando su un modello tridimensionale del sistema delle sbarre e degli stalli.

Si osserva dai risultati in Figura 19 che la isolina dei 3 μT rimane sufficientemente all'interno dell'area della sottostazione.

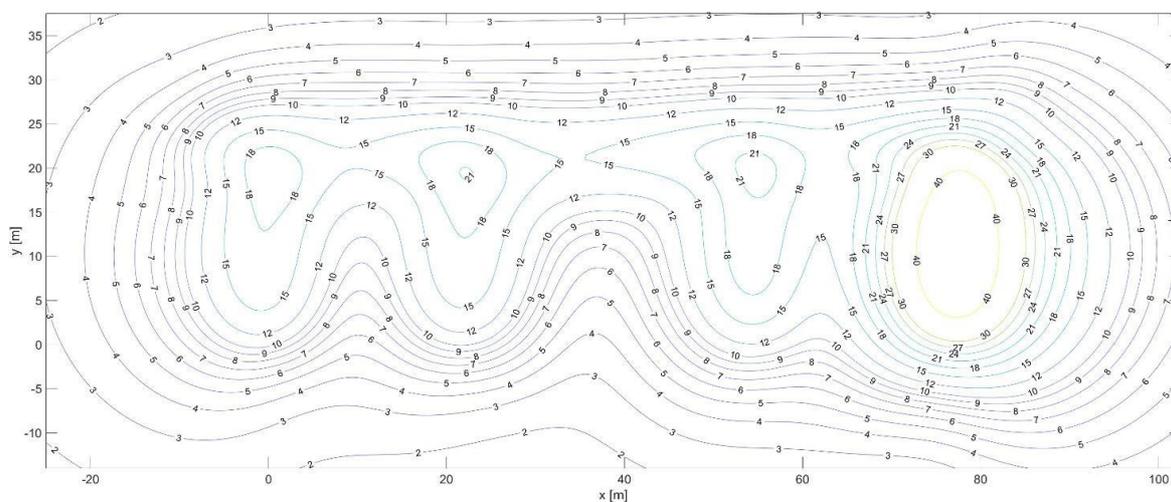


Fig. 19 – Mappa del modulo del campo B ad 1 metro di altezza dal piano di campagna

Si può pertanto concludere che le aree esterne alla stazione di alta tensione sono caratterizzate da valori campo magnetico ed elettrico inferiori ai limiti normativi in vigore e più dettaglio:

- In conformità a quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 la distanza di prima approssimazione e quindi la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza della cabina di trasformazione in progetto;
- L'area di pertinenza della sottostazione è realizzata in un'area agricola con assenza di edifici abitati nel raggio di 100 metri circa;
- All'interno dell'area di sottostazione non è prevista la permanenza di persone per periodi continuativi superiori a 4 ore con l'impianto sotto tensione.

Pertanto l'impatto elettromagnetico prodotto dalla sottostazione sulle persone è trascurabile.

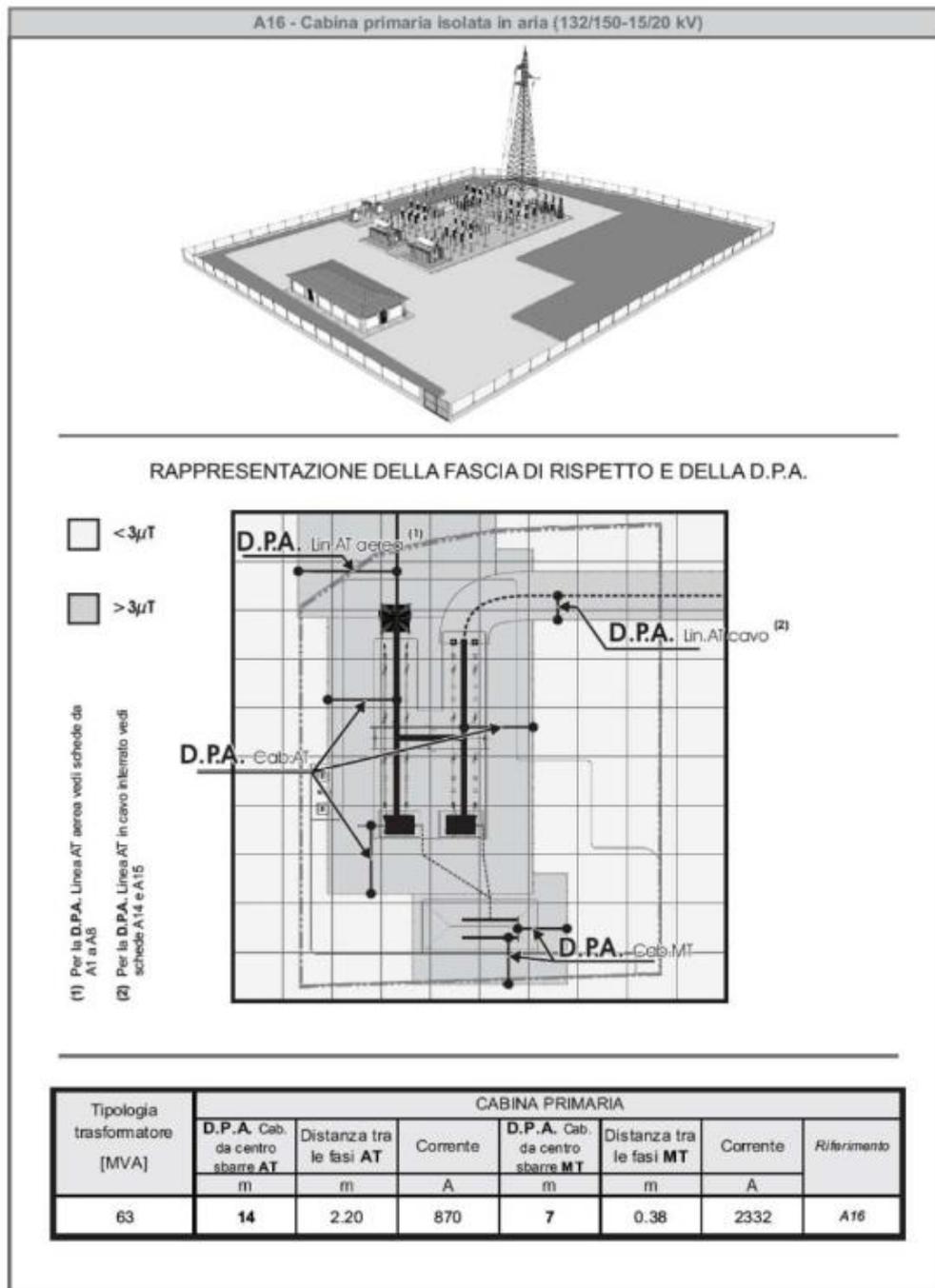


Fig. 18 Fasce di rispetto relative ad una cabina primaria di Enel

Le aree esterne alla stazione ad alta tensione, quindi, sono caratterizzate da valori di induzione magnetica e di campo elettrico inferiori ai limiti normativi vigenti.

4. CONCLUSIONI

La determinazione delle fasce di rispetto è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica la distanza di prima approssimazione "DPA".

Alla luce dei calcoli eseguiti, non si riscontrano problematiche particolari relative all'impatto elettromagnetico dei componenti dell'impianto fotovoltaico, dei cavidotti di connessione e della sottostazione utente e all'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici da questi generati.

Più in dettaglio:

LINEA ELETTRICA MT 30 kV

Per quanto concerne i cavi interrati sono stati considerati gli accorgimenti di progetto relativi a:

- minimizzazione dei percorsi della rete;
- disposizione a fascio delle linee trifase;

TRATTO "C-D"

assumeremo una **DPA pari a 1,00 m** valore che garantisce, a quota 0 m dal suolo, un campo magnetico inferiore all'obiettivo di qualità.

TRATTO "C-D"- "A-B"

assumeremo una **DPA pari a 2,00 m** valore che garantisce, a quota 0 m dal suolo, un campo magnetico inferiore all'obiettivo di qualità.

TRATTO "C-D"- "A-B"- "E"

assumeremo una **DPA pari a 2,50 m** valore che garantisce, a quota 0 m dal suolo, un campo magnetico inferiore all'obiettivo di qualità.

In entrambi tutti i tratti si può escludere la presenza di rischi di natura sanitaria per le persone, sia per i bassi valori del campo sia per assenza di possibili recettori nelle zone interessate.

IMPIANTO FOTOVOLTAICO E SOTTOSTAZIONE ELETTRICA

Per quanto concerne i valori di campo elettrico si possono considerare inferiori ai valori imposti dalla norma (<5kV/m) in quanto le aree con valori superiori ricadono all'interno dell'area recintata dell'impianto fotovoltaico e della sottostazione elettrica e subiscono un'attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato..

Per quanto concerne le sbarre AT all'interno della SSE, abbiamo visto che la D.P.A. ricade in gran parte all'interno della SSE stessa e non genera rischi di esposizione prolungata ai campi elettromagnetici dal momento che si tratta di luogo il cui accesso è consentito al solo personale specializzato, peraltro in modo saltuario e non continuativo (per tempi non superiori alle 4 ore). L'area di pertinenza della sottostazione è realizzata in un'area agricola con assenza di edifici abitati nel raggio di 100 metri;

Le opere elettriche in progetto e relative DPA non interessano aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici o luoghi adibiti a permanenze di persone superiori a quattro ore, rispondendo pienamente agli obiettivi di qualità dettati dall'art.4 del D.P.C.M 8 luglio 2003.

Inoltre, sono rispettate ampiamente le distanze da fabbricati adibiti ad abitazione o ad altra attività che comporti tempi di permanenza prolungati, previste dal D.P.C.M. 23 aprile 1992 "Limiti massimi di esposizione al campo elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale di 50 Hz negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno".

Per la **sottostazione utente** assumeremo una **DPA pari a 14,5 m**.

Si può escludere la presenza di rischi di natura sanitaria per le persone, sia per i bassi valori del campo sia per assenza di possibili recettori nelle zone interessate.

CABINA DI TRASFORMAZIONE MT/BT E CABINA DI SMISTAMENTO

Assumeremo una **DPA pari a 5 m**.

La fascia di rispetto calcolata rientra nei confini dell'aerea di pertinenza dell'impianto essendo le cabine ubicate sempre oltre il margine interno delle strade perimetrali, cioè ad una distanza dalla recinzione sempre superiore ai 5 m.

Si può escludere la presenza di rischi di natura sanitaria per le persone, sia per i bassi valori del campo sia per assenza di possibili recettori nelle zone interessate.

LINEA ELETTRICA AT 150 kV

Per il cavidotto AT assumeremo una **DPA pari a 5 m** valore che garantisce, a quota 0 m dal suolo, un campo magnetico inferiore all'obiettivo di qualità.

Si può escludere la presenza di rischi di natura sanitaria per le persone, sia per i bassi valori del campo sia per assenza di possibili recettori nelle zone interessate

In conclusione all'interno delle aree summenzionate delimitate dalle DPA non risultano 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 e pertanto la realizzazione delle opere elettriche relative alla realizzazione di un impianto fotovoltaico e delle opere connesse, rispetta la normativa vigente.

Molfetta 29/07/2021

I tecnici

Dott. Ing. Alessandro la Grasta

Dott. Ing. Luigi Tattoli