

COMUNE DI BRINDISI

Provincia di Brindisi



PROGETTO

Ingveprogetti s.r.l.s.

via Geofilo n.7-72023, Mesagne (BR)

email: info@ingveprogetti.it

RESPONSABILE DEL PROGETTO

Ing. Giorgio Vece

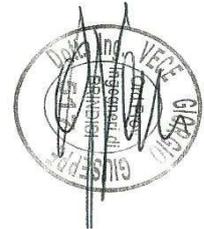
COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA, DENOMINATO "VERDE SOLARE", SITO NEL COMUNE DI BRINDISI (BR) E DELLE OPERE ED INFRASTRUTTURE CONNESSE NEL COMUNE DI BRINDISI (BR), CON POTENZA NOMINALE PARI A 29.036,00 KWN E POTENZA DI PICCO PARI A 35.679,60 KWP.

Oggetto: Relazione impatto elettromagnetico cavidotto di connessione MT e AT

**ELABORATO:
6OJRJP2_Documentazi
o neSpecialistica_06**

PROGETTISTA:
Ing. Giorgio Vece

TIMBRO E FIRMA



STATO DEL PROGETTO

PROGETTO DEFINITIVO PER V.I.A.

N.	DATA	DESCRIZIONE	VERIFICATO	APPROVATO
00	APRILE 2022	Prima emissione	Ing. Giorgio Vece	
01				
02				



OPDENERGY SALENTO 3 S.R.L.

1. CAMPI ELETTROMAGNETICI INTERNI

L'impianto sarà progettato e costruito in modo da rispettare i valori di campo elettrico e magnetico, previsti dalla normativa statale vigente (Legge 36/2001 e D.P.C.M. 08/07/2003). Si rileva inoltre che nella Stazione Elettrica, che sarà normalmente esercita in teleconduzione, non è prevista la presenza di personale, se non per interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria.

E' da notare che generalmente per tali impianti le fasce di rispetto, che sono determinate dal luogo in cui i valori dell'induzione magnetica sono entro i limiti ammessi, sono interne alla recinzione dell'impianto, come si legge, tra l'altro, al paragrafo 5.2.2 del Decreto Ministeriale 29 maggio 2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti (pubbl. G.U. 5/07/2008 n. 156, S.O. n. 160)

Le apparecchiature previste e le geometrie dell'impianto di AT sono analoghe a quelle di altri impianti già in esercizio, dove sono state effettuate verifiche sperimentali dei campi elettromagnetici al suolo nelle diverse condizioni di esercizio, con particolare attenzione alle zone di transito del personale (strade interne).

I valori di campo elettrico al suolo risultano massimi nelle zone di uscita linee con valori attorno a qualche kV/m, ma si riducono a meno di 0,5 kV/m a ca. 20 m di distanza dalla proiezione dell'asse della linea.

I valori di campo magnetico al suolo sono massimi nelle stesse zone di cui sopra, ma variano in funzione delle correnti in gioco: con correnti sulle linee pari al valore di portata massima in esercizio normale delle linee si hanno valori pari a qualche decina di microtesla, che si riducono all'obiettivo di qualità, circa 3 μ T, alla distanza di 22m dalla proiezione dell'asse della linea elettrica al suolo.

I valori in corrispondenza alla recinzione della stazione sono notevolmente ridotti ed ampiamente sotto i limiti di legge.

1.1 RIFERIMENTI

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici".

- DPCM 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”.
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”.
- DM 21 marzo 1988, n. 449 “Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne” e s.m.i.”.
- CEI 11-60 “Portata al limite termico delle linee elettriche esterne con tensione maggiore di 100 kV”.
- CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica Linee in cavo”.
- 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”.
- CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee e da stazioni elettriche”.
- Rapporto CESI-ISMES A7034603 “Linee Guida per l'uso della piattaforma di calcolo - EMF Tools v. 3.0”.
- Rapporto CESI-ISMES A8021317 “Valutazione teorica e sperimentale della fascia di rispetto per cabine primarie”.

1.2 DEFINIZIONI

Le definizioni di seguito riportate, per la maggior parte, sono contenute nella Legge 36/2001, nel DPCM 8 luglio 2003 e nel Decreto 29 maggio 2008.

- Autorità competenti ai fini dei controlli:

sono le autorità di cui all'art. 14 della Legge 36/2001 (*le amministrazioni provinciali e comunali, al fine di esercitare le funzioni di controllo e di vigilanza sanitaria e ambientale, utilizzano le strutture delle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente*).

- Autorità competenti ai fini delle autorizzazioni:

sono le autorità competenti al rilascio delle autorizzazioni per la costruzione e/o l'esercizio di elettrodotti e/o insediamenti e/o aree di cui all'art. 4 del DPCM 8 luglio 2003 (*aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore*).

- Campata:

elemento minimo di una linea elettrica sotteso tra due sostegni.

- 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 della DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine secondarie è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

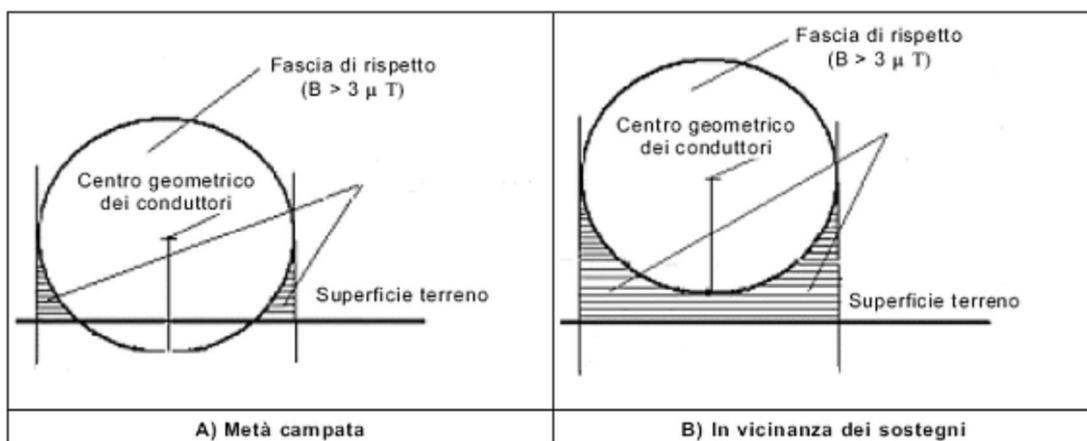
- Elettrodotto:

è l'insieme delle linee elettriche delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.

- Fascia di rispetto:

è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità ($3 \mu T$). Come prescritto dall'articolo 4, c. 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 e ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

Si ricorda che le Regioni (fermi i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità) nella definizione dei tracciati degli elettrodotti che ricadono nella loro competenza autorizzativa, devono tener conto anche delle fasce di rispetto determinate secondo la metodologia in allegato al Decreto 29 maggio 2008 (art. 8, c. 1, lett. b) della Legge 36/2001).



Individuazione delle "fasce di rispetto" e "DPA" in corrispondenza di met  campata e in vicinanza dei sostegni. N.B. Secondo interpretazione prevalente delle ARPA, la dimensione della DPA delle linee elettriche viene fornita approssimata per eccesso al metro superiore.

- Impianto:

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 destinazione. Gli impianti possono essere: Centrali di produzione, Stazioni elettriche, Cabine di Primarie e Secondarie e Cabine Utente.

- Limiti di esposizione :

(DPCM 8 luglio 2003 art. 3 c. 1): nel caso di esposizione, della popolazione, a campi elettrici e magnetici, alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

- Linea:

collegamento con conduttori elettrici, delimitato da organi di manovra, che permettono di unire due o più impianti.

- Luoghi tutelati:

(Legge 36/2001 art. 4 c.1, lettera h): aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere.

- Obiettivo di qualità:

(DPCM 8 luglio 2003 art. 4): 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 giornaliere 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 della popolazione 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 delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

- Portata in corrente in servizio normale:

è la 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 art. 2.6.

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 artt. 3.5 e 4.2.1 come 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).

- Sostegno:

elemento di supporto meccanico della linea aerea.

- Tratta:

porzione di tronco (campate contigue) avente caratteristiche omogenee di tipo elettrico, di tipo meccanico (tipologia del conduttore, configurazione spaziale dei conduttori sui tralicci, ecc.) e relative alla proprietà.

- Tronco:

collegamento metallico che permette di unire fra loro due impianti (corrisponde alla linea a due estremi).

- Valore di attenzione

(DPCM 8 luglio 2003 art. 3 c. 2): a titolo di misura di cautela per la protezione della popolazione 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 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

1.3 AMBITO DI APPLICAZIONE

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

- i limiti di esposizione del campo elettrico (5 kV/m) e del campo magnetico (100 μ T) come valori efficaci, per la protezione da possibili effetti a breve termine;
- il valore di attenzione (10 μ T) e l'obiettivo di qualità (3 μ T) del campo magnetico da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di

gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere (luoghi tutelati).

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

“La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti” prevede una procedura semplificata di valutazione con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA), oggetto della presente relazione.

Detta DPA, nel rispetto dell'obiettivo di qualità di 3 μ T del campo magnetico (art. 4 del DPCM 8 luglio 2003), si applica nel caso di:

- realizzazione di nuovi elettrodotti (inclusi potenziamenti) in prossimità di luoghi tutelati;
- progettazione di nuovi luoghi tutelati in prossimità di elettrodotti esistenti.

Le DPA permettono, nella maggior parte delle situazioni, una valutazione esaustiva dell'esposizione ai campi magnetici.

Si precisa, inoltre, che secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 sopra citato (art. 3.2), la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 si applica alle linee elettriche aeree ed interrate, esistenti ed in progetto ad esclusione di:

- linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50 Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);
- linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);
- linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);
- linee di Media Tensione in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal Decreto Interministeriale del 21 marzo 1988, n. 449 e dal Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991.

Si evidenzia infine che le fasce di rispetto (comprese le correlate DPA) non sono applicabili ai luoghi tutelati esistenti in vicinanza di elettrodotti già realizzati. In tali casi, l'unico vincolo legale è quello del non superamento del valore di attenzione del campo magnetico ($10 \mu\text{T}$ da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio); solo ove tale valore risulti superato, si applicheranno le disposizioni dell'art. 9 della Legge 36/2001.

2. CONFIGURAZIONE PER CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO GENERATO DA S.E. CON APPARECCHIATURE IN ARIA 30/150KV

L'impianto sarà progettato e costruito in modo da rispettare i valori di campo elettrico e magnetico, previsti dalla normativa statale vigente sopra riportata. Si rileva che nella Stazione di Utenza "VERDESOLARE", che sarà normalmente esercita in teleconduzione, non è prevista la presenza di personale, se non per interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria.

A scopo cautelativo, si riporta uno studio specifico su stazione di trasformazione 380/150kV, pertanto le considerazioni conclusive, più restrittive del caso in specie, potranno essere applicabili a maggior ragione alla, evidentemente più contenuta sia nelle dimensioni che nei parametri di esercizio quali tensioni e correnti di impiego, Stazione di Utenza in oggetto di relazione.

La figura di seguito rappresentata (fig.1) mostra la planimetria di una tipica stazione di trasformazione 380/150kV con isolamento in aria, all'interno della quale è stata effettuata una serie di misure di campo elettrico e magnetico al suolo.

La stessa figura fornisce l'indicazione delle principali distanze fase – terra e fase – fase, nonché la tensione sulle sbarre e le correnti nelle varie linee confluenti nella stazione, registrate durante l'esecuzione delle misure.

Inoltre, sono evidenziate le aree all'interno delle quali sono state effettuate le misure; in particolare, sono evidenziate le zone ove i campi sono stati rilevati per punti utilizzando strumenti portabili (aree A, B, C, e D), mentre sono contrassegnate in tratteggio le vie di transito lungo le quali la misura dei campi è stata effettuata con un'opportuna unità mobile (furgone completamente attrezzato per misurare e registrare con continuità i campi).

Va sottolineato che, grazie alla modularità degli impianti della stazione, i risultati delle misure effettuate nelle aree suddette, sono sufficienti a caratterizzare in modo abbastanza dettagliato tutte le aree interne alla stazione stessa, con particolare attenzione per le zone di più probabile accesso da parte del personale. Nella tabella 1 è riportata una sintesi dei risultati delle misure di campo elettrico e magnetico effettuate nelle aree A, B, C e D.

Per quanto riguarda le registrazioni effettuate con l'unità mobile (assunte come riferimento di studio), la fig. 2 illustra, giusto per completezza espositiva, i profili del campo elettrico e di quello magnetico rilevati lungo il percorso n. 1, quello cioè che interessa prevalentemente la parte esercita alla massima tensione di 380kV della medesima stazione. **I valori massimi di campo elettrico e magnetico si riscontrano in prossimità degli ingressi linea.** In tutti i casi i valori del campo elettrico e di quello magnetico riscontrati al suolo all'interno delle aree di stazione sono risultati compatibili con i limiti di legge.

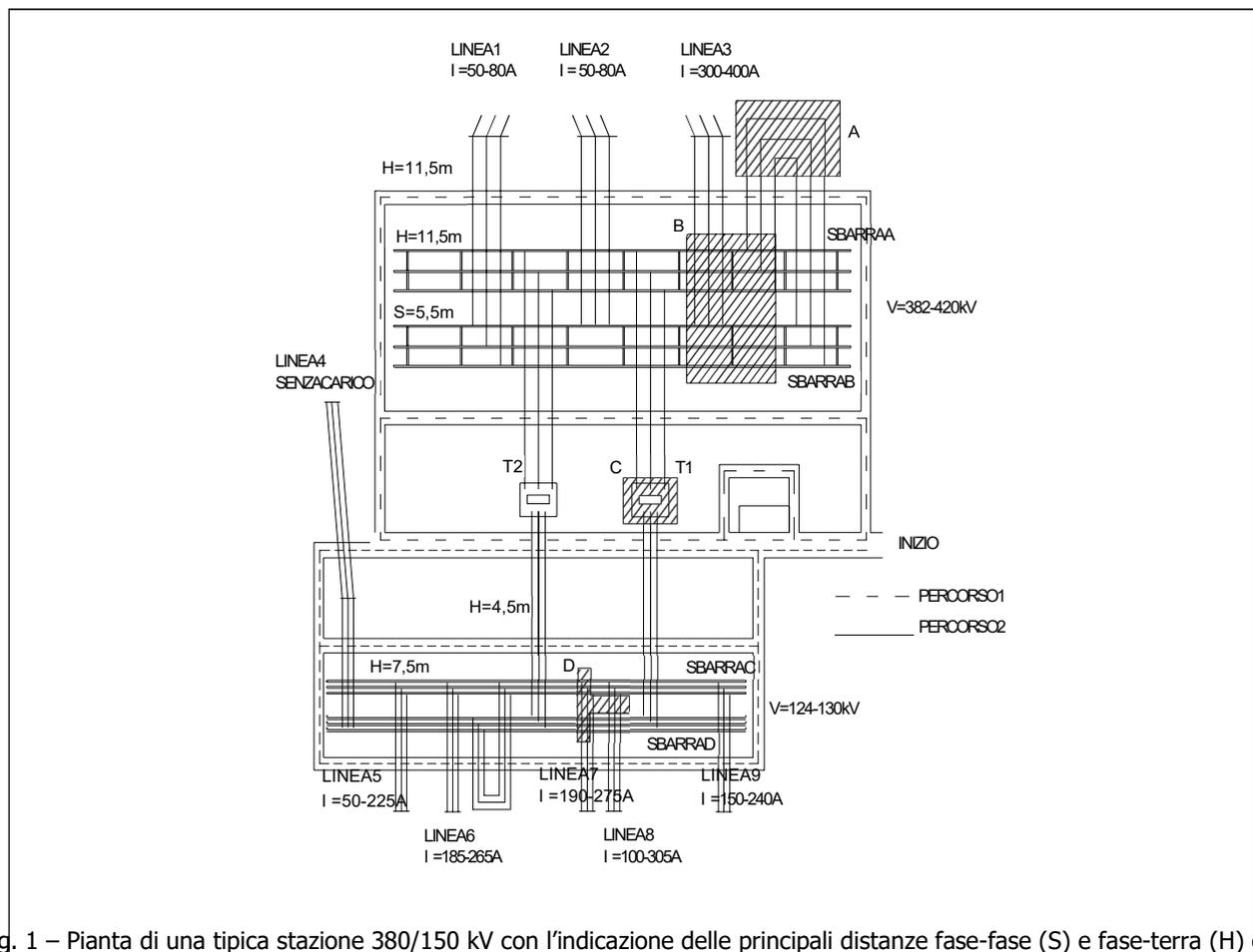


Fig. 1 – Pianta di una tipica stazione 380/150 kV con l'indicazione delle principali distanze fase-fase (S) e fase-terra (H) e delle variazioni delle tensioni e delle correnti durante la fasi di misurazione di campo elettrico e magnetico

Area	Numero di punti	Campo Elettrico (kV/m)	Induzione Magnetica (µT)
------	-----------------	------------------------	--------------------------

	di misura	E max	E min	E medio	B max	B min	B medio
A	93	11,7	5,7	8,42	8,37	2,93	6,05
B	249	12,5	0,1	4,97	10,22	0,73	3,38
C	26	3,5	0,1	1,13	9,31	2,87	5,28
D	19	3,1	1,2	1,96	15,15	3,96	10,17

Tab. 1 - Risultati della misura del campo elettrico e dell'induzione magnetica nelle aree A, B, C, e D di fig. 1

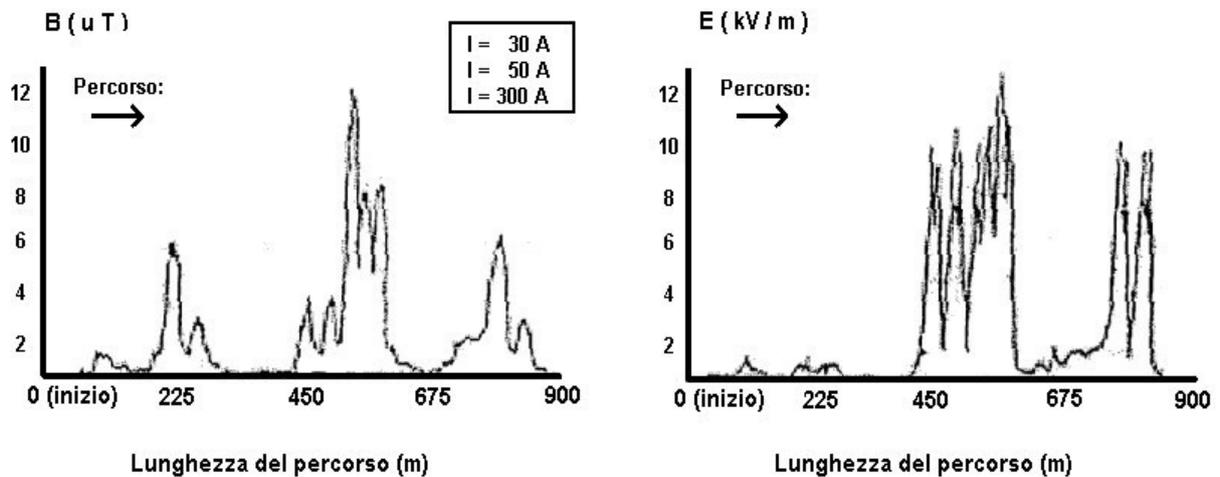
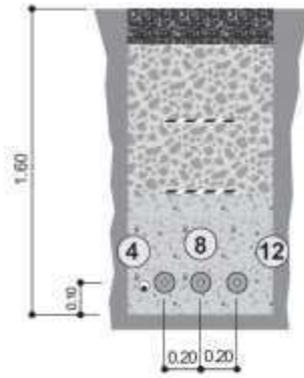


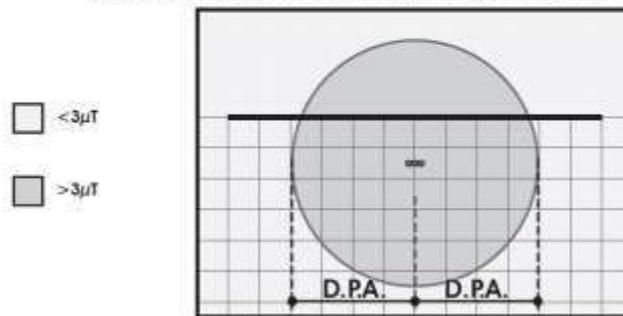
Fig. 2 - Risultati della misura dei campi elettrici e magnetici effettuate lungo le vie interne della sezione a 380 kV della stazione riportata in fig. 1

A supporto di quanto riferito si riporta di seguito i lavori di simulazione ed elaborazione delle DPA effettuate con software **EMT Tolls v. 3.0 del CESI**.

La modellizzazione delle sorgenti fa riferimento alla normativa tecnica CEI 211-4; bidimensionale per le linee elettriche e tridimensionale per le cabine e stazioni elettriche; sarà pertanto osservata una fascia di rispetto dalla recinzione interna della Cabina di almeno 14m (Fig.1).

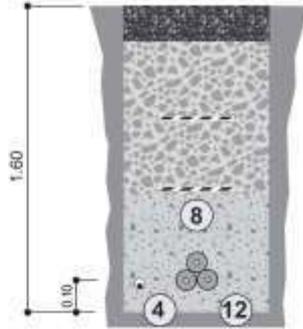


RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.

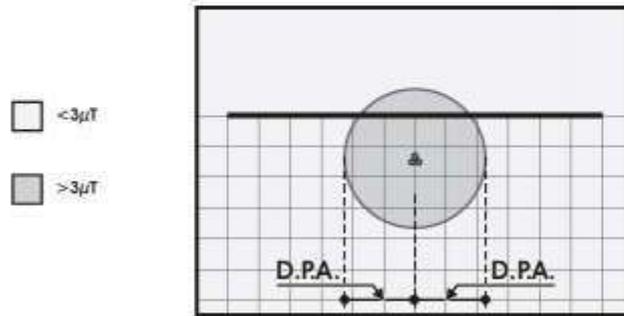


CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm ²]	CEI - 11-60 Portata [A]		
		Corrente A	D.P.A. m	Riferimento
108	1600	1110	5,10	A14

Fig. 4 – CAVI INTERRATI: Semplice terna (132/150kV) disposta in piano

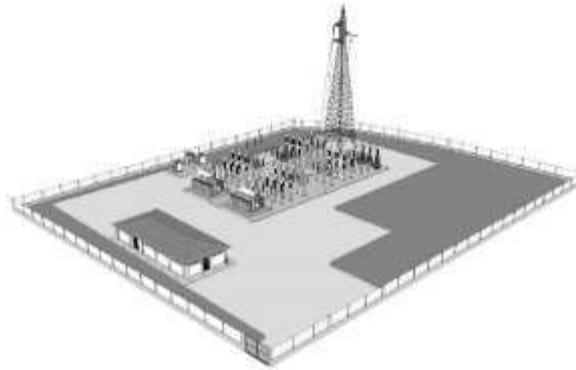


RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.

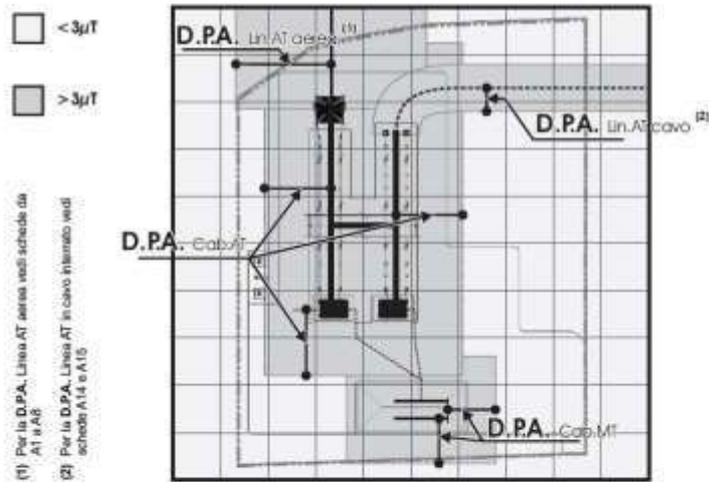


CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO				
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm ²]	CEI - 11-60 Portata [A]		
		Corrente A	D.P.A. m	Riferimento
108	1600	1110	3.10	A15

Fig. 4 – CAVI INTERRATI: Semplice terna (132/150kV) disposta a trifoglio



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



Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						Riferimento
	D.P.A. Cab. da centro sbarre AT	Distanza tra le fasi AT	Corrente	D.P.A. Cab. da centro sbarre MT	Distanza tra le fasi MT	Corrente	
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

Fig. 5 – Cabina Primaria (MT/150kV) isolata in aria

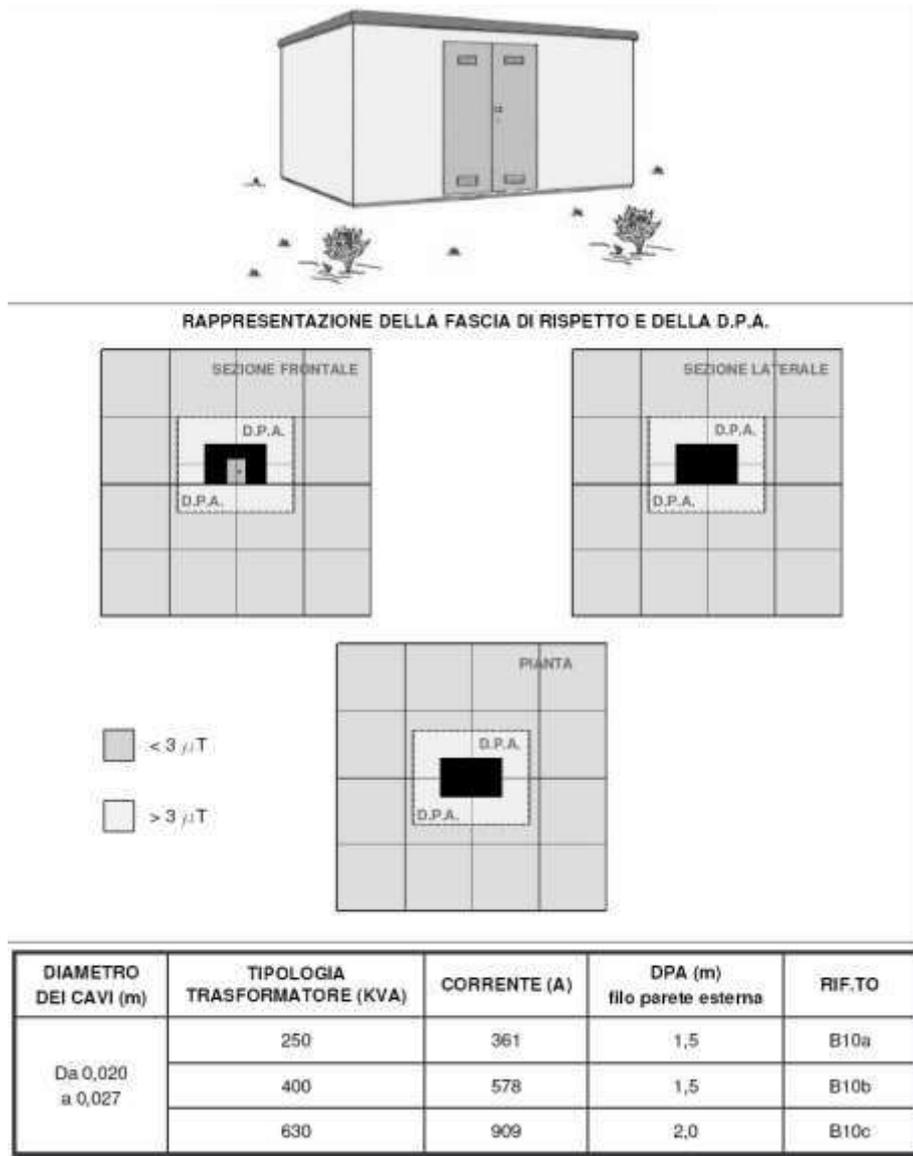


Fig. 6 – Rappresentazione dei valori di campi elettromagnetici per Cabina secondaria di “Consegna per Servizi Ausiliari” alimentata da cavi interrati alla tensione di esercizio 30kV

3. CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI GENERATI DAGLI ELETTRODOTTI

3.1 ANALISI DELLE COMPONENTI AMBIENTALI

Campi in prossimità di una linea di alta tensione

Quando si parla degli elettrodotti per il trasporto e la distribuzione dell'energia elettrica, date le elevate tensioni e correnti in gioco, non si può non pensare alle elevate intensità di campo elettrico e magnetico da essi generati.

Andamento dei campi

Alla frequenza di 50 Hz, le componenti del campo magnetico ed elettrico possono essere considerate separatamente:

• Campo elettrico

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della linea e si attenua, allontanandosi da essa, come l'inverso della distanza dai conduttori. Contrariamente alle correnti, i valori efficaci delle tensioni sulle linee non variano in maniera apprezzabile nel tempo: l'intensità del campo elettrico può considerarsi, quindi, praticamente costante. La configurazione della linea, se a singola o a doppia terna, influenza il campo così come, nelle linee a doppia terna, la disposizione delle fasi di ciascuna terna. La presenza di alberi, oggetti o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo, e in particolare, all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo elettrico fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

Il campo elettrico è la somma di 3 contributi sfasati tra loro di 120° e, tenuto presente che i conduttori sono collegati tra due tralicci in modo da formare una catenaria, l'intensità maggiore del campo elettrico non si misura in prossimità dei sostegni, ma al centro della campata, ossia nel punto in cui i cavi, così disposti, si trovano alla minore distanza dal suolo. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderà anche dalla disposizione e dalle distanze tra i conduttori della linea.

Per calcolare questi campi si considera il suolo come un piano conduttore elettrico perfetto, i conduttori sulla linea sono considerati rettilinei, orizzontali e di lunghezza infinita, le correnti e tensioni sono considerate in fase tra loro, e si trascura la presenza di edifici, vegetazione e di altri oggetti presenti nelle vicinanze della linea, nonché gli stessi tralicci di sostegno.

Tralicci di sostegno per linee a 150 kV

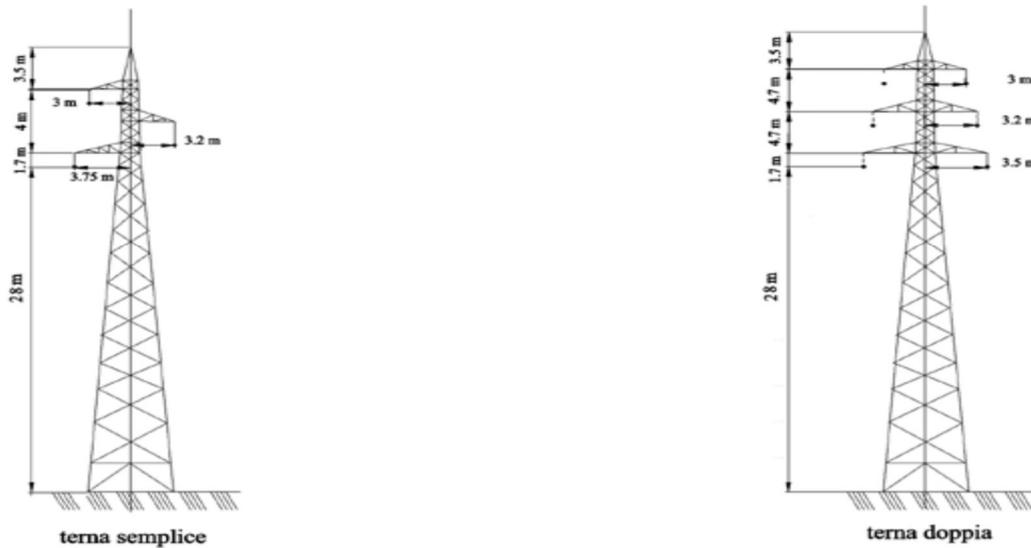


Fig. 7 – Rappresentazione di sostegni in semplice e doppia terna eserciti a 150 kV

Alla tensione nominale del sistema considerato di 150kV con correnti di transito di 600 A in terna semplice corrisponde una intensità di campo elettrico al suolo di 2550 V/m mentre in doppia terna a parità di corrente il campo risulta di 3950 V/m; correnti di 920 A in semplice e doppia terna generano invece rispettivamente una intensità di campo elettrico di 2750 e 4200 V/m.

• **Campo magnetico**

Anche il campo magnetico, così come il campo elettrico, è dato dalla risultante di 3 contributi, in questo caso, le tre correnti del sistema trifase. Dall'intensità di tali correnti e dall'ordine delle fasi dipenderà l'ampiezza del campo magnetico che si andrà a generare. Poiché la richiesta di energia varia in maniera considerevole nell'arco della giornata, legata dunque alla richiesta della popolazione, è indubbio che variando le intensità delle correnti sulle linee il campo magnetico non sarà costante; si considerano nello studio gli andamenti temporali individuando dei valori minimi, in genere nelle ore notturne, e dei valori massimi, in corrispondenza delle ore di maggior carico, oltre ad una periodicità giorno/notte e settimanale.

Rispetto a quanto visto per il campo elettrico, il campo magnetico assume il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia al centro della campata, e decade molto rapidamente allontanandosi dalle linee. In tal caso, però, non si registra alcun effetto schermante da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea. Quindi, anche all'interno degli edifici si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello esterno.

Nel caso in fattispecie, di elettrodotto in tensione di 150kV e correnti di 600 A transitanti in condutture di semplice e doppia terna, l'induzione magnetica al suolo raggiunge il massimo valore rispettivamente di 12 e 13,2 μT ; per correnti di linea in massimo carico di 920 A invece l'induzione passa a 18,3 μT (in terna semplice) e 19,8 μT (in terna doppia).

3.2 CAMPI ELETTROMAGNETICI

La linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico e un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale alla corrente che vi circola. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza come mostrato dai grafici riportati nel seguito.

Tuttavia nel caso di cavi interrati, la presenza dello schermo e la relativa vicinanza dei conduttori delle tre fasi elettriche rende di fatto il campo elettrico nullo ovunque. Pertanto il rispetto della normativa vigente in corrispondenza dei recettori sensibili è sempre garantito indipendentemente dalla distanza degli stessi dall'elettrodotto.

Per quanto riguarda invece il campo magnetico si rileva che la maggiore vicinanza dei conduttori delle tre fasi tra di loro rispetto alla soluzione aerea rende il campo trascurabile già a pochi metri dall'asse dell'elettrodotto. Di seguito è esposto l'andamento del campo magnetico lungo il tracciato della linea interrata a 150kV.

Il calcolo è stato effettuato in aderenza alla Norma CEI 211-4.

I valori esposti si intendono calcolati ad una distanza di 1 metro dal suolo

3.3 RIFERIMENTI LEGISLATIVI

Le linee guida per la limitazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici variabili nel tempo ed ai campi elettromagnetici sono state indicate nel 1998 dalla ICNIRP.

Il 12-7-99 il Consiglio dell'Unione Europea ha emesso una Raccomandazione agli Stati Membri volta alla creazione di un quadro di protezione della popolazione dai campi elettromagnetici, che si basa sui migliori dati scientifici esistenti; a tale proposito, il Consiglio ha avallato proprio le linee guida dell'ICNIRP. Successivamente nel 2001, a seguito di un'ultima analisi condotta sulla letteratura scientifica, un Comitato di esperti della Commissione Europea ha raccomandato alla CE di continuare ad adottare tali linee guida. Successivamente è intervenuta, con finalità di riordino e miglioramento della normativa allora vigente in materia, la Legge 36\2001, che ha individuato ben tre livelli di esposizione ed ha affidato allo Stato il compito di determinare e di aggiornare periodicamente i limiti di

esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità, in relazione agli impianti suscettibili di provocare inquinamento elettromagnetico.

L'art. 3 della Legge 36/2001 ha definito limite di esposizione il valore di campo elettromagnetico da osservare ai fini della tutela della salute da effetti acuti; ha definito il valore di attenzione, come quel valore del campo elettromagnetico da osservare quale misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine; ha definito, infine, l'obiettivo di qualità come criterio localizzativo e standard urbanistico, oltre che come valore di campo elettromagnetico ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione.

Tale legge quadro italiana (36/2001), come ricordato sempre dal citato Comitato, è stata emanata nonostante che le raccomandazioni del Consiglio della Comunità Europea del 12-7-99 sollecitassero gli Stati membri ad utilizzare le linee guida internazionali stabilite dall'ICNIRP; tutti i paesi dell'Unione Europea, hanno accettato il parere del Consiglio della CE, mentre l'Italia ha adottato misure più restrittive di quelle indicate dagli Organismi internazionali.

In esecuzione della predetta Legge, è stato infatti emanato il D.P.C.M. 8.7.2003, che ha fissato il limite di esposizione in 100 microtesla per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico; ha stabilito il valore di attenzione di 10 microtesla, a titolo di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere; ha fissato, quale obiettivo di qualità da osservare nella progettazione di nuovi elettrodotti, il valore di 3 microtesla. È stato altresì esplicitamente chiarito che tali valori sono da intendersi come mediana di valori nell'arco delle 24 ore, in condizioni normali di esercizio. Non si deve dunque fare riferimento al valore massimo di corrente eventualmente sopportabile da parte della linea.

Si segnala come i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità stabiliti dal Legislatore italiano siano rispettivamente 10 e 33 volte più bassi di quelli internazionali.

Al riguardo è opportuno anche ricordare che, in relazione ai campi elettromagnetici, la tutela della salute viene attuata – nell'intero territorio nazionale – esclusivamente attraverso il rispetto dei limiti prescritti dal D.P.C.M. 8.7.2003, al quale soltanto può farsi utile riferimento.

3.4 CONFIGURAZIONI DI CARICO

Di seguito viene esposto il grafico dell'andamento dell'induzione magnetica rispetto all'asse dell'elettrodotto.

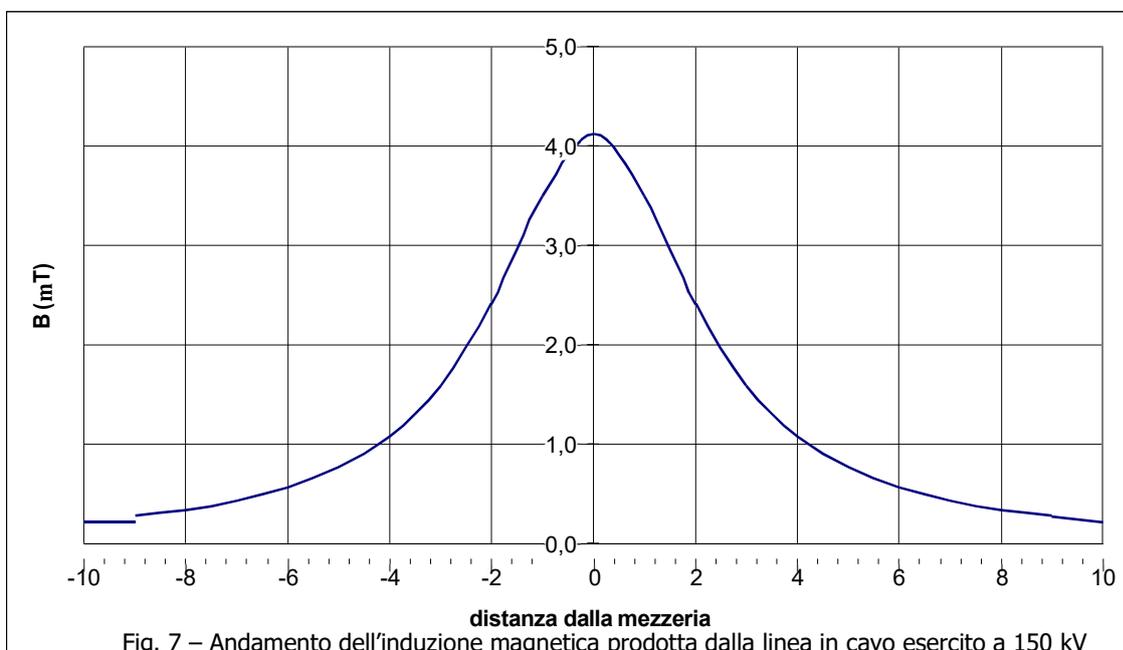
Nel calcolo, essendo il valore dell'induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede una posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1,5m, con un valore di corrente pari a 870 A (quale valore tipico di massima corrente di impiego su conduttura atta alla connessione di uno stallo a 150kV).

La configurazione dell'elettrodotto è quella in assenza di schermature, distanza minima dei conduttori dal piano viario e posa a trifoglio dei conduttori.

In Fig.5 è riportato l'andamento dell'induzione magnetica ad un metro dal suolo, determinata avendo considerato una corrente pari a 870 A.

Non è invece rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo.

Il limite di $3 \mu\text{T}$ si raggiunge nel caso peggiore ad una distanza dall'asse linea di circa 1,5m.



Il tracciato di posa dei cavi è tale per cui non vi sono ricettori sensibili (abitazioni e aree in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata) intorno ad esso, per distanze molto più elevate di quelle calcolate.

Fasce di rispetto

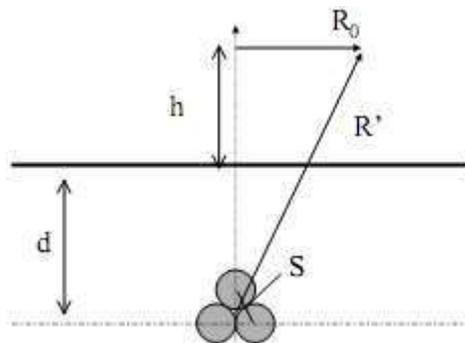
Secondo quanto riportato nel DM del MATTM del 29.05.2008, il calcolo delle fasce di rispetto può essere effettuato usando le formule della norma CEI 106-11, che prevedono l'applicazione dei modelli semplificati della norma CEI 211-4.

Pertanto, il calcolo della fascia di rispetto si può intendere in via cautelativa pari al raggio della circonferenza che rappresenta il luogo dei punti aventi induzione magnetica pari a $3 \mu\text{T}$.

La formula da applicare è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

$$R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \text{ (m)}$$

Con il significato dei simboli di figura seguente:



Pertanto, ponendo:

- $S = 0.1 \text{ m}$
- $I = 870 \text{ A}$

Si ottiene:

- $R' = 2.66 \text{ m}$

Il dato in risultanza, arrotondato al metro, fornisce un valore della fascia di rispetto pari a 3m per parte, rispetto all'asse del cavidotto.

Non si ravvisano ricettori sensibili all'interno della suddetta fascia.

configurazione con dati di progetto

Di seguito viene esposto il grafico dell'andamento dell'induzione magnetica rispetto all'asse dell'elettrodotto. Nel calcolo, essendo il valore dell'induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede una posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1,4m, con un valore di corrente di impiego, I_B , corrispondente alla produzione energetica da 30 MWp dell'impianto Verdesolare in oggetto di relazione pari a ~ 116 A:

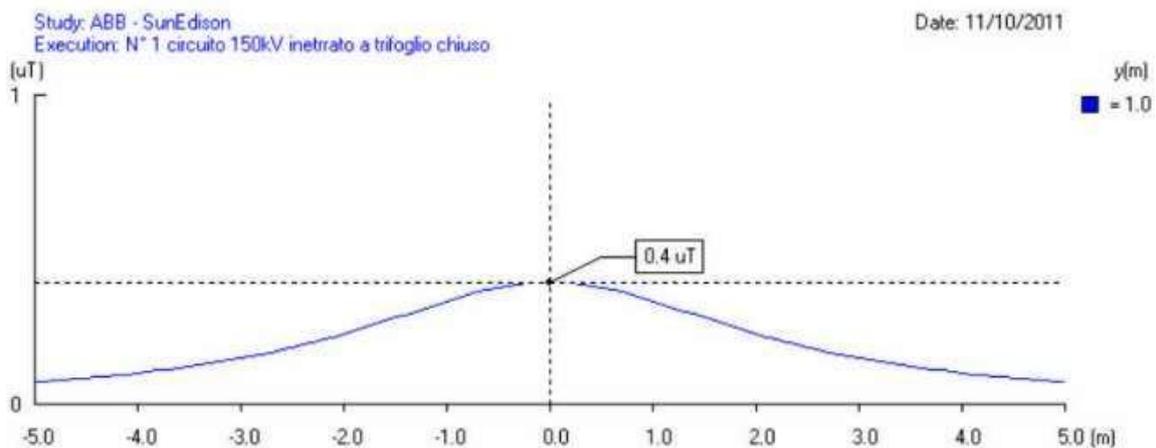


Fig. 8 –Cavi interrati ad 1.4 m di profondità con disposizione a trifoglio chiuso ($I = 116$ A)

4 CONCLUSIONI

Da quanto sopra esposto, si evince come la **riduzione** dell'intensità dei campi elettromagnetici possa essere ottenuta allontanando quanto possibile i cavi dell'elettrodotto dal suolo, cioè elevando in altezza le condutture elettriche alloggiare su sostegni; appare evidente, tuttavia, che la soluzione (elevare in altezza gli amari dei tralicci) non sia una soluzione attuabile su larga scala, se non in casi particolari e per situazioni eccezionali.

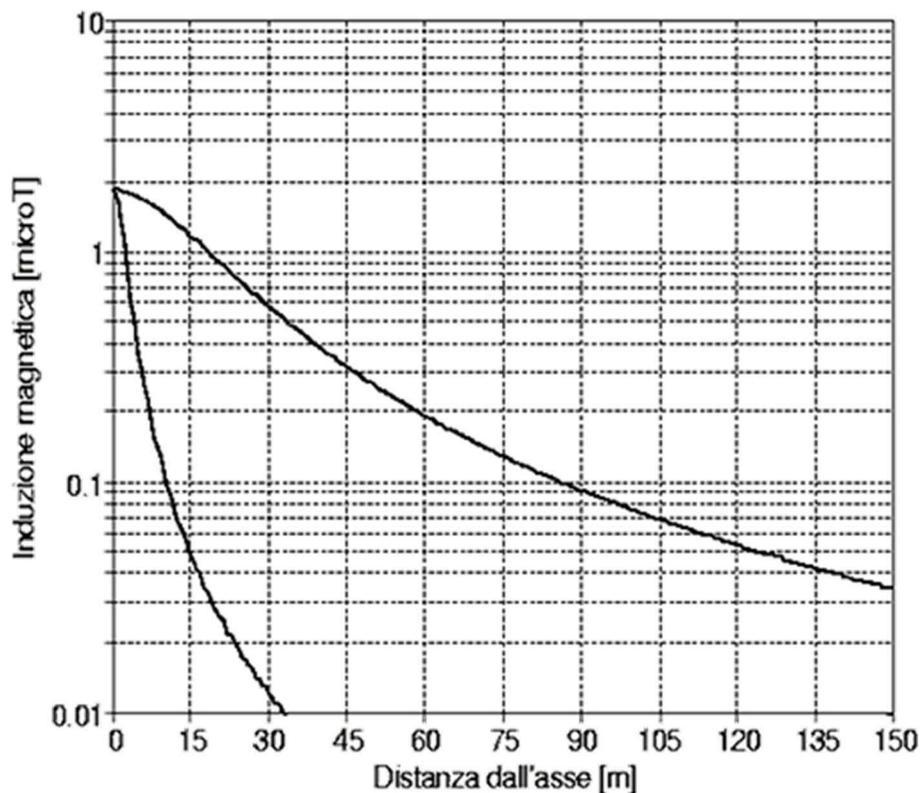
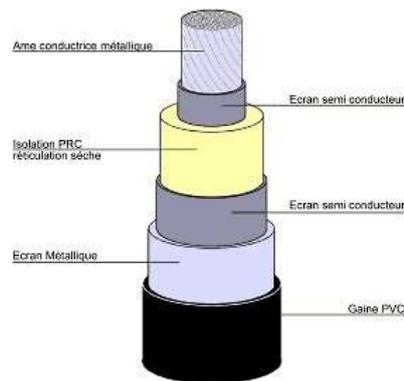
La soluzione ottimale risulterebbe, seppure economicamente più svantaggiosa, dunque l'interramento dei cavi eliminando di fatto anche il fastidioso impatto visivo:

• Cavi interrati

Le linee interrate sono formate da terne trifasi in cavo, disposte linearmente sullo stesso piano (disposizione a terna piana) oppure a triangolo (disposizione a trifoglio). Per la trasmissione di energia elettrica ad alte tensioni viene utilizzato un cavo isolato con polietilene reticolato (XLPE) che può trasportare tensioni fino a 400 kV oppure cavi ad olio fluido.

Il campo magnetico generato da cavi interrati presenta una intensità del campo magnetico più elevata rispetto la conduttura aerea, a causa della ridotta distanza tra le fasi, ma con un'attenuazione trasversale più pronunciata.

La vicinanza dei cavi stessi produce invece, contrariamente a quanto rappresentato per l'induzione magnetica, un campo elettrico significativamente ridotto grazie anche all'effetto schermante dovuto alla guaina metallica di cui sono provviste le singole condutture. Tale riduzione, operata dunque dall'effetto combinato dell'azione schermante del terreno e dalla maggior prossimità reciproca tra i conduttori della linea, sarà in parte conseguentemente annullata dalla impossibilità, per gli individui, di avvicinarsi maggiormente ai conduttori stessi, i quali risulteranno interrati ad almeno 1,3 m di profondità.



Profili laterali ad 1 metro dal suolo dell'induzione magnetica generata da una linea aerea a semplice terna 150 kV/450A con il conduttore più basso posto ad una altezza di 18 metri dal suolo (curva superiore) e da linea interrata a trifoglio posta ad una profondità di 1,3 metri

IL PROGETTISTA

Dott. Ing. Giorgio Vece