

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI
DENOMINAZIONE IMPIANTO: "SAN PIETRO"

Realizzazione di un impianto fotovoltaico della potenza di 11942.58 kW
Comune di Colleferro (RM)


DITTA: NV COBRA SOLAR S.R.L. - VIA GUIDUBALDO DEL MONTE n°61 - 00197 ROMA - P.IVA 16916511005


PROGETTO DEFINITIVO

Codice elaborato	Titolo elaborato
PD_A.20	VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

IDENTIFICAZIONE ELABORATO						
Livello progettuale	Codice Goal	Tipo documento	N.° Elaborato	N. foglio	N. fogli	Nome File:
PD <small>PROGETTO DEFINITIVO</small>	202403242	relazione	A.20	1	75	Data: APRILE 2025
						Scala:

Rev.:	Data:	Descrizione:	Eseguito:	Verificato:	Approvato:
01					
02					
03					
04					

PROGETTAZIONE : Ing. RODOLFO ARANEO C.F.: RNARLF75R29H501R via Gregorio VII n°267 cap 00165 - Roma (RM) Ordine Ingegneri della Provincia di Roma n° A21562/A Ing. ENRICO PATRIZI C.F.: PTRNRC79C06A269B via La Quercia n°32 cap 03019 - Supino (FR) Ordine Ingegneri della Provincia di Frosinone n°1929	 
--	--

RICHIEDENTE : NV COBRA SOLAR SRL via Guidubaldo del Monte n°61 cap 00197 - ROMA P.IVA 16916511005	
---	---



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.


Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Sommario

1. PREMESSA	3
2. QUADRO NORMATIVO.....	6
2.1 Inquadramento degli effetti biologici di campi E.M.	8
Bibliografia	13
3. CAMPO MAGNETICO.....	15
3.1 Base teorica generale.....	15
3.2 Linea in cavo a 150 kV	16
3.2.1 Caratteristiche del cavidotto.....	16
3.2.2 Verifica posa interrata a trifoglio	21
3.2.3 Verifica posa interrata con TOC	25
3.2.4 Verifica posa aerea su impalcato	30
3.3 Linee in cavo a 30 kV	33
3.4 Stazione di trasformazione MT/AT	51
4. CAMPO ELETTRICO.....	54
4.1 Cavidotti.....	54
4.2 Linee at e stazione MT/AT	54
5. ANALISI DELLE TECNICHE DI MITIGAZIONE DEI CAMPI	55
5.1 Sistemi di schermatura.....	55
5.1.1 Schermatura passiva.....	56
5.1.2 Schermatura attiva.	56
5.1.3 Schermatura ibrida.	56
5.2 Esempio di configurazioni delle linee in cavo	57
5.3 Cavo ad elica visibile	66
6. RISCHIO DI ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI DEI LAVORATORI.....	70
6.1 Normativa di riferimento	70
6.2 Valutazione del rischio	71
6.3 Elenco delle analisi da eseguire in fase di progettazione esecutiva.....	75
6.4 Fasi e requisiti dei luoghi di lavoro.....	75

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

1. PREMESSA

La società NV Cobra Solar srl ha intenzione di realizzare un impianto fotovoltaico a terra di taglia pari a 11942,58 kW con moduli fotovoltaici installati a terra di potenza 580 Wp seguendo il naturale pendio del terreno ed avranno orientamento verso sud.

Il lotto di terreno su cui realizzare l'iniziativa fotovoltaica ricade interamente nel comune di Colleferro (RM) ed è distinto ai seguenti mappali:

- foglio catastale n°8 – mappali: 4 - 5 – 6
- foglio catastale n°14 – mappali: 1 - 2 - 13 – parte del 17 - 38 – parte del 43

Nel complesso l'area si estende per circa 13.5 ha ed è priva di vegetazione ad alto fusto o arbustiva. L'area di sedime su cui sorgerà l'impianto fotovoltaico risulta essere in area idonea ai sensi dell'art 20 comma 8 lettera c ter punto 2 e punto 3 del D.lgs 199/2021 e del DL 190/2024:

c-ter) esclusivamente per gli impianti fotovoltaici, anche con moduli a terra, e per gli impianti di produzione di biometano, in assenza di vincoli ai sensi della parte seconda del codice dei beni culturali e del paesaggio, di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42:

2) le aree interne agli impianti industriali e agli stabilimenti, questi ultimi come definiti dall'articolo 268, comma 1, lettera h), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, nonché le aree classificate agricole racchiuse in un perimetro i cui punti distino non più di 500 metri dal medesimo impianto o stabilimento.

3) le aree adiacenti alla rete autostradale entro una distanza non superiore a 300 metri.


Poiché non sono previste opere di pavimentazione del piano campagna, nel sito di intervento viene mantenuta e garantita una condizione di invarianza idraulica; nello specifico non verrà alterata la capacità di assorbimento del suolo né modificato il tempo di corrvazione delle acque meteoriche verso i corpi idrici recettori presenti nella zona.

L'impianto sarà connesso in MT/AT (tensione nominale 30/150 kV) alla rete di trasmissione nazionale dell'energia elettrica gestita da TERNA spa secondo il regime di cessione pura dell'energia prodotta e rispettando le normative vigenti e le disposizioni tecniche del Gestore.

I componenti principali dell'impianto installati in loco saranno:

Moduli fotovoltaici in silicio monocristallino (potenza di picco 580 W) organizzati in stringhe connesse tra di loro in parallelo; le società NV COBRA SOLAR SRL, SANTA BARBARA ENERGIA SRL, RCF 013 SRL hanno in corso, presso la Regione Lazio, nei comuni di Colleferro (RM), Anagni (FR), Paliano (FR) e Segni (RM), iter di autorizzazione alla costruzione ed all'esercizio di parchi fotovoltaici (PV), BESS (sistemi di accumulo dell'energia a batteria) e altre iniziative.

Le suddette società hanno ricevuto da Terna la Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) nella quale si indica come soluzione tecnica per connettere gli impianti fotovoltaici alla Rete Elettrica Nazionale (RTN) quella di connettersi in antenna ad uno stallo a 150 kV della futura nuova **Sotto-Stazione Elettrica a 150 kV lato rete Terna** (di seguito SSE-R) da realizzarsi in agro di Anagni in Provincia di Frosinone, completa di relativi raccordi in entra – esci alle linee a 150 kV esistenti, denominate “Valmontone - Castellaccio” e “Anagni-Colleferro”, previo potenziamento di quest'ultima tratta.

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

Giacché le indicazioni Terna invitano i produttori a riunirsi in “condomini” al fine di condividere un singolo stallo con potenza variabile tra i 200 MW e i 220 MW, i suddetti quattro produttori si sono riuniti al fine di realizzare congiuntamente la connessione alla RTN secondo le indicazioni di Terna.

Nel dettaglio:

- **NV COBRA SOLAR SRL iniziativa fotovoltaica denominata “San Pietro” di potenza circa 12 MW in immissione;**
- NV COBRA SOLAR SRL iniziativa fotovoltaica denominata “Santa Lisa” di potenza circa 21 MW in immissione;
- NV COBRA SOLAR SRL iniziativa Data Center di potenza circa 100 MW di potenza in prelievo;
- RCF 013 SRL iniziativa BESS di potenza circa 130 Mw in immissione;
- SANTA BARBARA ENERGIA SRL iniziativa fotovoltaica denominata di potenza circa 20 MW in immissione e prelievo;

Il collegamento alla RTN sarà realizzato secondo le direttive di allacciamento indicate da Terna S.p.A. con STMG inviate ai singoli produttori sulla SSER 150 kV.

La produzione energetica di detti campi PV e BESS sarà pertanto immessa nella RTN sulla sezione 150 kV della stazione elettrica di Anagni di proprietà di Terna S.p.A.


Alla suddetta stazione elettrica di Terna, che costituisce un nodo d'ingresso alla RTN per la produzione di energia da fonti rinnovabili, sarà collegata in antenna, mediante un collegamento in cavo a 150 kV di lunghezza pari a 1,690 km circa, **una prima stazione elettrica di trasformazione e smistamento di utente** (nel seguito denominata Sottostazione Elettrica di Utente – SSE-U) nella quale confluiranno le produzioni di energia elettrica da fonte rinnovabile dei proponenti.

In particolare, la produzione di energia elettrica dei campi PV sarà immessa sulle sbarre AT di una nuova stazione di trasformazione 30/150 kV di proprietà condivisa in quota potenza dai suddetti tre produttori, che sarà ubicata in località nel comune di Anagni (FR) (coordinate 41°44'38.49" N - 13°03'54.30" E). Detta sottostazione, come già detto, si collegherà alle sbarre 150 kV della SSE-R mediante un elettrodotto in cavo interrato a 150 kV della lunghezza di circa 1,690 km.

Nella suddetta sottostazione SSEU, due produttori (RCF 013 Srl, NV Cobra Solar e) si collegheranno direttamente in alta tensione a 150 kV, mentre il terzo produttore (i.e., Santa Barbara) si collegherà con un cavidotto a 30 kV alle sbarre di media tensione.

Per quanto concerne NV Cobra Solar, il suo campo fotovoltaico si appoggerà su **una seconda sottostazione elettrica di trasformazione e smistamento di utente** (denominata nel seguito Sottostazione Elettrica di Utente NV – SSE-NV) 30/150 kV da realizzarsi adiacente al proprio campo fotovoltaico da condividersi con altri utenti/produttori, specificatamente:

- **NV COBRA SOLAR SRL iniziativa fotovoltaica denominata “San Pietro” di potenza circa 12 MW in immissione;**
- NV COBRA SOLAR SRL iniziativa fotovoltaica denominata “Santa Lisa” di potenza circa 21 MW in immissione;

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

- NV COBRA SOLAR SRL iniziativa Data Center di potenza circa 100 MW di potenza in prelievo.

La sottostazione sarà connessa alla precedente sottostazione SSE-U mediante un cavidotto in alta tensione a 150 kV di lunghezza pari a 4,075 km circa.

Nel dettaglio, le opere elettriche necessarie per il collegamento alla rete AT della RTN dell'energia prodotta dal campo PV di NV Cobra Solar sono le seguenti:

- N°1 Rete in cavo interrato a 30 kV di lunghezza pari a 1,2 km circa di collegamento dalla cabina del campo PV alla SSE-NV;
- N. 1 sottostazione elettrica di trasformazione 30/150 kV divisa tra produttori e utenti denominata SSE-NV;
- N°1 Rete in cavo interrato a 150 kV di lunghezza pari a 4 km circa di collegamento dalla cabina SSE -NV alla stazione SSE -U;
- N. 1 sottostazione elettrica di trasformazione 30/150 kV divisa tra produttori e utenti denominata SSE-U;
- N°1 Rete in cavo interrato a 150 kV di lunghezza pari a 1,69 km circa di collegamento dalla cabina SSE -U alla stazione SSE -R.

La presente relazione dettaglia l'emissione di campo magnetico ed elettrico delle suddette opere elettriche propedeutiche alla connessione di rete, con particolare riferimento alla esposizione della popolazione.

Proseguendo per ordine di esposizione, si relaziona sull'emissione di:

1. cavidotto AT a 150 kV;
2. cavidotti in media tensione a 30 kV;
3. sottostazione elettrica lato utente SSE-U;

Particolare attenzione è rivolta alle interferenze incontrate dal cavidotto di AT che saranno risolte principalmente con trivellazione orizzontale controllata (TOC) e mediante staffeggio agli impalcati dei ponti esistenti.

Infine, la presente relazione traccia le basi del rischio di esposizione dei lavoratori addetti all'esercizio degli impianti fotovoltaici e della SSE-U.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

2. QUADRO NORMATIVO

La Legge Quadro 22/02/01 n° 36 (LQ 36/01) "*Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*" è la normativa di riferimento che regola, in termini generali, l'intera materia della protezione dai campi elettromagnetici negli ambienti di vita e di lavoro.

Il DPCM 08/07/03 "*Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti*" (GU n. 200 del 29/08/03) ai sensi della LQ 36/01, art. 4 comma2, fissa i limiti di esposizione per la protezione della popolazione dai campi elettrico e magnetico ed il *valore di attenzione* e l'*obiettivo di qualità* dell'induzione magnetica generati a 50 Hz dagli elettrodotti.

A riguardo, il DPCM 8 luglio 2003, art. 3, comma 1, fissa nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, il **limite di esposizione** di **100 μ T** per l'induzione magnetica e **5 kV/m** per il campo elettrico, intesi come valori efficaci. Si ricorda che la Legge 22 Febbraio 2001, n. 36 definisce all'articolo 3 come limite di esposizione "*. . . 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 ...*".

Inoltre il DPCM 8 Luglio 2003, art. 3, comma 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, nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, assume per l'induzione magnetica il **valore di attenzione** di **10 μ T**, da intendersi come mediana¹ dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. Si ricorda che la Legge 22 Febbraio 2001, n. 36 definisce all'articolo 3 come valore di attenzione "*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 ...*".

Ad un elettrodotto, oltre ai suddetti limiti, si applica inoltre l'**obiettivo di qualità** di **3 μ T**, definito dal DPCM 8 luglio 2003, art. 4, comma 1, per minimizzare progressivamente l'esposizione ai campi magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz. L'obiettivo di qualità si applica alla "*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*".

¹ La mediana è una media di posizione lasca, cioè essa non dipende da tutti i valori dell'insieme ma si basa solo su alcuni valori particolari. Ordinato un insieme di valori in modo crescente o decrescente, se il loro numero N è dispari, la mediana X è quel valore che lascia tanti valori a destra quanti a sinistra ovvero quello che occupa la posizione (N+1)/2 . Se N è pari, la mediana è il valore della media aritmetica dei due valori centrali della serie, cioè quelli di posizione N/2 e N/2 + 1.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

	Campo elettrico [kV/m]	Campo elettrico [μ T]
Limite di esposizione	5	100
Valore di attenzione	-	10
Obiettivo di qualità	-	3

Dunque, il **limite di esposizione** è il valore di campo elettrico e di campo magnetico da non superare in nessuna condizione di esposizione.

Il **valore di attenzione** per l'induzione magnetica, introdotto come misura di cautela per la protezione dai possibili effetti a lungo termine, si applica alle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere.

L'**obiettivo di qualità** per l'induzione magnetica, introdotto al fine della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi, si applica 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 4 ore, nonché nella progettazione dei nuovi insediamenti e nelle nuove aree in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti sul territorio.

Le fasce di rispetto degli elettrodotti, previste al par. 5.1.1. della Legge Quadro 36/01, devono essere determinate in base all'obiettivo qualità di 3 μ T in corrispondenza della portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto (art. 6, comma 1, del DPCM 08/07/03) che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV ed alle Regioni per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV.


La portata in corrente in servizio normale è, per le linee aeree con tensione > 100 kV, calcolata ai sensi della norma CEI 11-60, mentre per le linee in cavo è la portata in regime permanente definita dalla norma CEI 11-17.

La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è stata definita con il DM 29/05/08 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" (SO n°160 alla GU n°156 del 05/07/08).

Il DPCM 08/07/03 prescrive che il proprietario/gestore comunichi alle autorità competenti l'ampiezza delle fasce di rispetto ed i dati utilizzati per il loro calcolo. Il calcolo dell'induzione magnetica deve essere basato sulle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea nella campata in esame e deve tener conto della presenza di altri elettrodotti che ne modifichino il risultato.

Le norme tecniche di riferimento per la progettazione a norma degli elettrodotti per quanto concerne l'emissione dei campi elettrici e magnetici a 50 Hz sono:

- CEI 106-11, Fascicolo 8149, "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 Luglio 2003 (Art. 6) Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo", 2006-02, Prima edizione;
- CEI 211-4, Fascicolo 9482, "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche", 2008-09, Seconda edizione;

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	---

- CEI 211-6, Fascicolo 5908 *“Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell’intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all’esposizione umana”*, 20001-01, Prima edizione.

Per completezza è necessario ricordare che la legge quadro n. 36 recepisce la Raccomandazione del Consiglio Europeo 1999/519/CE del 12 Luglio 1999, relativa alla limitazione dell’esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz, la quale a sua volta recepisce il parere espresso dalla Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti nel documento ICNIRP Guidelines del 1998: *“Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”*.

Il documento ICNIRP, alla Tabella 6, fissa come limiti di riferimento per l’intensità (valore efficace non perturbato) del campo elettrico per l’esposizione pubblica in ambienti generici il valore $500/0.05 = 10 \text{ kV/m}$, e per il campo magnetico (valore efficace non perturbato) il valore $0.25/0.05 = 500 \text{ }\mu\text{T}$.


I limiti di esposizione e il valore di attenzione fissati dalla normativa italiana possono essere intesi come estremamente cautelativi.

Il DPCM 8 Luglio 2003, art 5, comma 1, rimanda alla norma CEI 211-6, per le tecniche di misurazione da adottare per la valutazione dei livelli di esposizione. Inoltre, all’art 6, comma 1, il DPCM attribuisce al sistema agenziale APAT-ARPA il compito di determinare le procedure di misura e valutazione per la determinazione del valore di induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione, con l’approvazione del Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio. Dopo cinque anni, l’APAT ha assolto ai propri compiti e il Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare ha emesso due decreti il 29 Maggio 2008.

2.1 Inquadramento degli effetti biologici di campi E.M.

I campi elettromagnetici (EM) producono su un soggetto esposto sia effetti biologici certi a breve termine, detti effetti acuti, sia effetti a lungo termine, di cui non si ha ancora piena evidenza scientifica [1]. I primi sono di natura non stocastica, hanno una relazione di causa/effetto e sono facilmente riscontrabili. Tipico è l’effetto di natura termica (sviluppo di calore) prodotto dai campi elettromagnetici a radiofrequenza su tessuti biologici. Gli effetti a lungo termine sono atermici e di natura stocastica, poiché studiano la probabilità di un evento, come ad esempio l’insorgenza di una malattia (tumori) dovuta all’esposizione al campo magnetico a bassa frequenza. A tal fine sono necessarie delle indagini epidemiologiche su campioni significativi e per un prolungato periodo di osservazione. Il concetto fondamentale da tenere in considerazione, è che negli studi epidemiologici sull’esposizione umana ai campi elettromagnetici, questi ultimi sono suddivisi sostanzialmente in **“campi a bassa frequenza”** (o campi a frequenze estremamente basse - ex- tremely low frequency ELF) e **“campi in alta frequenza”** (campi a radiofrequenza), in quanto i meccanismi di interazione con i tessuti biologici sono completamente diversi.

In bassa frequenza, dove le sorgenti su cui si fissa la maggiore attenzione sono le sorgenti di campo di induzione magnetica (campo elettrico e magnetico disaccoppiati) con bassa impedenza d’onda

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

quali elettrodotti, cabine di trasformazione e linee di trazione ferroviaria, l'effetto principale è la produzione di correnti indotte nei tessuti biologici².

In alta frequenza, dove si parla di sorgenti di campo elettromagnetico (campo elettrico e magnetico accoppiati) ad alta impedenza d'onda, quali gli apparati di radio- e tele- comunicazione, si verifica un processo di polarizzazione e riscaldamento dei tessuti biologici. Il campo elettrico e il campo magnetico alla frequenza di rete non devono essere confusi con il campo elettromagnetico (o radiazioni elettromagnetiche) a radiofrequenza o alle microonde, come spesso accade nella terminologia comune.

Dunque, l'elettrodotto in questione è una sorgente a bassa frequenza prevalentemente di campo magnetico, cioè di un campo elettromagnetico dove il campo elettrico e magnetico sono (quasi) disaccoppiati con bassa impedenza d'onda. Per i campi a bassa frequenza si riscontrano effetti a lungo termine di natura stocastica tra esposizione e insorgenza di malattie. Dunque non risulta pertinente alla causa in oggetto parlare di onde elettromagnetiche (concetto per lo più relegato all'alta frequenza) e in modo particolare risulta infondato asserire che vi siano legami di causa-effetto tra l'esposizione ai campi di bassa frequenza (elettrico o magnetico) e l'insorgere di malattie o malformazioni.

In merito a questo ultimo punto, non essendo disponibile nella letteratura scientifica una risposta univoca al problema, il quale rimane ancora oggi oggetto di studio a livello internazionale, si richiamano i risultati di autorevoli ricerche scientifiche e i pareri di riconosciute autorità internazionali per esprimere un parere tecnico scevro da preoccupazioni non supportate da concrete evidenze.

A partire dalla fine degli anni '70 è insorto il dubbio di una correlazione tra campi elettromagnetici (CEM) ed incremento nello sviluppo di tumori. In particolare, lo studio che maggiormente indusse a focalizzare l'attenzione sul fenomeno dell'esposizione ai campi di bassa frequenza fu quello condotto dai due epidemiologi americani Wertheimer e Leeper [2], che rilevarono nel 1979 un incremento di leucemia infantile tra i bambini residenti presso linee elettriche³. Un successivo lavoro degli stessi autori datato 1982 [3] verificava il risultato anche per la popolazione adulta e per differenti patologie tumorali. Successivamente diversi studi sembrarono trovare una correlazione tra esposizione a campi ELF e insorgenza di tumori. Tra di essi è particolarmente importante quello condotto da Savitz [4] nel 1988 in quanto lo studio pose per la prima volta in correlazione diretta l'insorgenza tumorale e l'esposizione al campo magnetico per intensità di induzione magnetica superiore a 0.2 mT. Inoltre uno studio condotto successivamente nel 1993 da Feychting e Ahlbom [7], ricercatori del Karolinska Institute di Stoccolma, su una popolazione di 450.000 persone in Svezia, ritenuto esemplarmente accurato, confermò un aumento del rischio di leucemia infantile e di tumori cerebrali tra gli adulti per esposizione ad induzione magnetica superiore a 0.2 mT. Tuttavia, è necessario osservare dall'esame dei dati, che essi osservarono 39 casi di leucemia infantile e 364 casi di tumori negli adulti nell'arco di 25 anni su una popolazione di circa 450.000 abitanti: il numero

² Da queste considerazioni e dai dati sperimentali nasce il criterio base adottato dall'ICNIRP per la definizione dei limiti per i campi elettrici e magnetici ELF. Questo criterio consiste nel limitare a non più di 2 mA/m² la densità delle correnti indotte nella testa e nel tronco da un'esposizione continua a campi elettrici e magnetici a 50/60 Hz.

³ Osservarono 344 casi di tumore nel periodo 1946-1973 a Denver su bambini le cui abitazioni si trovavano più vicine a configurazione ad alta corrente elettrica rispetto a quelle dei bambini sani controllati.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

ridotto dei casi fa comprendere l'errore di valutazione possibile. Infatti è da sottolineare come altri studi pubblicati negli stessi anni non evidenziarono associazioni significative [5]-[6]. Nel 1992 un Gruppo Consultivo per lo studio delle radiazioni non ionizzanti istituito presso il National Radiological Protection Board (NRPB) in Gran Bretagna tracciò un bilancio complessivo [11] delle allora attuali conoscenze scientifiche sul problema. Da questo emerse che non vi era nessuna chiara evidenza di rischio cancerogeno da parte dei normali livelli dei campi elettromagnetici a frequenza industriale, a radiofrequenza o a microonde cui la popolazione era esposta. I dati epidemiologici in particolare non sembrarono fornire una base per limitare l'esposizione a radiazione elettromagnetica non ionizzante.

Tuttavia il Gruppo Consultivo affermò che occorre ancora studi per chiarire ulteriormente eventuali ruoli dei campi ELF nella promozione dei tumori. Contemporaneamente, l'Health Council of the Netherlands [12] giunse a considerazioni analoghe, sostenendo che le conoscenze scientifiche attuali non giustificavano l'affermazione che esistano relazioni tra esposizioni professionali o residenziali prolungate e situazioni patologiche. Similmente una commissione di scienziati altamente qualificati, istituita dal Presidente degli USA, riuniti dalle Università Associate di Oak Ridge (ORAU), dopo una approfondita analisi degli studi fino ad allora disponibili, alla fine del 1992 elaborò un rapporto molto articolato ed esauriente [13] in cui si concludeva che non vi era nessuna evidenza convincente, nella letteratura pubblicata, per sostenere la tesi di una correlazione tra esposizione a campi elettrici o magnetici ELF e rischi sanitari dimostrabili. Nel 1993 uno studio condotto da ricercatori dell'Università della California [8], nell'arco di 28 anni, su 36.211 lavoratori di una grande società elettrica ritrovò valori di incidenza tumorali conformi alla media. Nel 1994, i risultati di un analogo studio svolto da ricercatori canadesi e francesi [9] su 220.000 lavoratori di società elettriche nell'intervallo di 20 anni indicarono una tendenza alla possibile correlazione con un aumento dei casi di leucemia, ma gli stessi autori spiegavano che il risultato non evidenziava l'associazione dei campi magnetici ELF e leucemia, e che il numero di lavoratori affetti dal problema era stato veramente piccolo, stimato nell'ordine di un caso su 200 mila. Infine nel 1995 uno studio di David Savitz della University of North Carolina School of Public Health pur ritrovando questa volta la tendenza ad una possibile correlazione tra campi magnetici ELF e tumori cerebrali e non leucemia, capovolse nuovamente i risultati degli svedesi e parzialmente quelli canadesi. Questa costituisce una ulteriore riprova, anche per i piccolissimi numeri del fenomeno, della probabile presenza di fattori confondenti casuali. Nel 1995-1996, l'OMS avviò il Progetto Internazionale Campi Elettromagnetici, allo scopo di indagare i possibili rischi per la salute associati a tecnologie che emettono campi elettromagnetici.

Nel 1995 l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), nel Rapporto Istisan 95/29 [14] "Rischio cancerogeno associato a campi magnetici a 50/60 Hz" affermò quanto segue: *"Sulla base di una valutazione critica delle evidenze scientifiche, si ritiene credibile un'interpretazione causale dell'associazione tra leucemia infantile ed esposizione a campi magnetici a 50/60 Hz, anche se permangono problemi interpretativi ... si può sin d'ora osservare che la valutazione da noi formulata presenta una sostanziale analogia con la definizione di probabile cancerogeno adottata dalla Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro lo IARC, comunque, non ha sinora valutato la cancerogenicità dei campi elettromagnetici"*.

Sempre l'ISS, nel successivo Rapporto Istisan 98/31 [15] *"Tumori e malattie neurodegenerative in relazione all'esposizione a campi elettrici e magnetici a 50/60 Hz: rassegna degli studi epidemiologici"*, pubblicato nel 1999, spiegò quanto segue: *"Si noti, a questo proposito che in un*



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

precedente rapporto Istisan la valutazione dell'evidenza di cancerogenicità dei campi magnetici a 50 Hz era stata espressa in termini di probabilità (gruppo IARC 2A) anziché di possibilità (gruppo IARC 2B) come ha fatto il NIEHS24. Questa difformità non deve stupire, per due ordini di motivi. In primo luogo, trattandosi di criteri di valutazione messi a punto dalla IARC, sarà l'agenzia stessa a formulare, come peraltro è nel suo programma, la valutazione ufficiale che farà testo e alla quale ci si dovrà attenere. Più in generale, comunque, si può osservare che entrambe le valutazioni (possibilità e probabilità) cadono in una categoria di incertezza che si distingue fortemente tanto dalla valutazione di cancerogenicità certa (gruppo 1), quanto dalla probabile mancanza di effetti cancerogeni (gruppo 4). In questa regione la distinzione fra probabile e possibile ha un significato relativo, e dipende largamente dal peso che viene attribuito a criteri di causalità come la riproducibilità o la plausibilità biologica. Se si privilegia la riproducibilità, ad esempio, si giunge facilmente ad una allocazione alla categoria 2A".

Nel 1999 un gruppo di esperti riuniti dal National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) [16] giunse alle seguenti conclusioni: *"Un limitato numero di studi correttamente eseguiti fornisce una moderata evidenza di effetti meccanicisticamente plausibili da parte di $B > 0.1\text{mT}$ in vitro su parametri generalmente considerati capaci di riflettere l'azione di agenti tossici ... Esiste una debole evidenza per un effetto a $B < 0.1\text{mT}$ ".*

Nel 2001, l'Advisory Group on Non-ionizing Radiation (AGNIR) costituito dall'NRPB dell'Health Protection Agency (HPA) inglese, ha pubblicato un ulteriore rapporto [17] che integra quello del 1992 dove si conclude che *"laboratory experiments had provided no good evidence that extremely low frequency electromagnetic fields (EMFs) are capable of producing cancer, nor do human epidemiological studies suggest that they cause cancer in general. There is, however, some epidemiological evidence that prolonged exposure to higher levels of power frequency magnetic fields (50 hertz in the UK) is associated with a raised risk of leukaemia in children (relative risk of approximately two)".*

Nel 2002 l'International Agency for Research on Cancer (IARC) che fa parte della Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), che coordina e conduce ricerche sul cancro di tipo sia epidemiologico (studi su popolazione) che sperimentale (studi di laboratorio su cellule e animali) pubblica la monografia *"IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans - Volume 80, Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields"* [18]. Usando la classificazione standardizzata della IARC, che soppesa i dati di studi sull'uomo, sull'animale e di laboratorio, i campi magnetici ELF sono stati classificati come possibilmente cancerogeni per l'uomo, sulla base degli studi epidemiologici relativi alla leucemia infantile. Le evidenze scientifiche relative a tutti gli altri tipi di tumori nei bambini e negli adulti, nonché quelle relative ad altri tipi di esposizione (cioè a campi statici ed a campi elettrici ELF) sono stati considerati non classificabili, perché le informazioni scientifiche erano insufficienti o incoerenti. Il giudizio si basa su analisi che sono state effettuate aggregando i dati di diversi studi epidemiologici e che indicavano in modo coerente un aumento di un fattore due nei casi di leucemia infantile, associato ad un'esposizione media a campi magnetici a frequenza industriale superiore a $0.3\text{-}0.4\text{ }\mu\text{T}$.

Lo IARC classifica gli agenti di cui si sospetta un'azione cancerogena in una delle seguenti categorie:

1. Gruppo I: Agente cancerogeno per l'essere umano. L'evidenza delle conoscenze è sufficiente per concludere che c'è una relazione causa-effetto tra l'esposizione all'agente in esame e la comparsa di tumori nell'essere umano.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

2. Gruppo 2a: Agente probabilmente cancerogeno per l'essere umano. Nonostante ci sia sufficiente evidenza di cancerogenicità in campo sperimentale, l'evidenza di cancerogenicità per l'essere umano è per ora limitata.
3. Gruppo 2b: Agente possibilmente cancerogeno. L'evidenza di cancerogenicità per l'essere umano è limitata mentre in campo sperimentale è per ora insufficiente, oppure, l'evidenza di cancerogenicità per l'essere umano è inadeguata con evidenza sufficiente nell'animale da esperimento o con evidenza limitata nell'animale ma con altri dati a supporto.
4. Gruppo 3: Agente non classificabile come cancerogeno umano. L'evidenza di cancerogenicità per l'essere umano è inadeguata e l'evidenza di cancerogenicità nell'animale da esperimento è inadeguata o limitata.
5. Gruppo 4: Agente probabilmente non cancerogeno per l'essere umano. Ci sono evidenze che indicano l'assenza di cancerogenicità nell'uomo e negli animali da esperimento oppure ci sono evidenze inadeguate o non si dispone di dati sull'uomo, ma si riscontra assenza di cancerogenicità negli animali da esperimento in presenza di un ampio numero di dati sperimentali.

Dalla suddetta lista è possibile osservare che *"Possibilmente cancerogeno per l'uomo"* è una classificazione usata per connotare un agente per il quale vi sia una limitata evidenza di cancerogenicità nell'uomo ed un'evidenza meno che sufficiente negli animali da laboratorio. La classificazione è la più debole tra le tre usate dalla IARC per classificare i potenziali cancerogeni in base all'evidenza scientifica.

Nel 2007, un gruppo di lavoro dell'OMS ha portato a termine una revisione critica delle implicazioni dei campi ELF per la salute umana e ha pubblicato la monografia *"Extremely low frequency Fields"* [19]. Riguardo al cancro, in essa si legge quanto segue: *"La classificazione IARC dei campi magnetici ELF come possibilmente cancerogeni per l'uomo si basa sull'insieme dei dati disponibili fino a tutto il 2001. La rassegna della letteratura effettuata in questo Environmental Health Criteria, si basa principalmente sugli studi pubblicati dopo la monografia IARC ... Epidemiologia - La classificazione della IARC è stata pesantemente influenzata dall'associazione osservata in studi epidemiologici sulla leucemia infantile. La classificazione di evidenza limitata non cambia con l'aggiunta di due studi sulla leucemia infantile pubblicati dopo il 2002. Anche dopo la pubblicazione della monografia della IARC, l'evidenza di altri tumori infantili resta inadeguata. Successivamente alla monografia della IARC sono stati pubblicati vari studi sul rischio di cancro al seno in donne adulte, in relazione all'esposizione a campi magnetici ELF. Questi studi sono più ampi dei precedenti e meno sensibili a distorsioni, e risultano nel complesso negativi. In seguito a questi, l'evidenza di un'associazione tra esposizione a campi magnetici ELF e rischio di cancro al seno viene considerevolmente indebolita e non conforta l'ipotesi di una relazione di causa ed effetto. Per quanto riguarda tumori cerebrali e leucemie negli adulti, i nuovi studi pubblicati dopo la monografia IARC non hanno modificato la conclusione secondo cui, nel complesso, l'evidenza di un'associazione tra campi magnetici ELF e rischio di sviluppare tali patologie resta inadeguata. Per altre patologie e per tutte le altre forme di cancro l'evidenza resta inadeguata"*.

Nel gennaio del 2009, il Comitato Scientifico sui Rischi Sanitari Emergenti e di Nuova Identificazione (SCENIHR) della Commissione Europea - Direzione Generale per la Salute e la Protezione dei Consumatori, ha approvato il parere *"Effetti sanitari dell'esposizione ai campi elettromagnetici"*, nel quale, riguardo ai campi ELF, conferma il parere espresso nel 2007 in quanto le nuove informazioni disponibili non sono sufficienti per introdurre modifiche. Il parere del 2007 recita: *"La precedente*



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

conclusione che i campi magnetici ELF siano un possibile agente cancerogeno, basata soprattutto sui risultati relativi alla leucemia infantile, è tuttora valida. Non vi è alcun meccanismo generalmente accettato che spieghi come l'esposizione ai campi magnetici ELF possa causare la leucemia. Studi sugli animali non hanno fornito evidenze adeguate di una relazione causale. Non è stata dimostrata alcuna relazione coerente tra campi ELF e sintomi spontaneamente riportati (talvolta indicati come ipersensibilità ai campi elettromagnetici). Inoltre, per quanto riguarda cancro al seno e patologie cardiovascolari, le ricerche recenti hanno indicato che l'associazione non è verosimile. Per le patologie neurodegenerative ed i tumori cerebrali, il collegamento con i campi ELF resta incerto".

Infine nel 2009 la Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP), dopo la pubblicazione nel 1998 delle linee guida per limitare l'esposizione ai campi ELF [21], e dopo la pubblicazione di una rassegna esauriente degli studi di laboratorio ed epidemiologici relativi a esposizioni ai campi ELF [22], ha pubblicato una ulteriore dichiarazione sulle linee guida per la limitazione dell'esposizione ai campi ELF [23], dove dichiara: "Successivamente alla pubblicazione delle "Linee guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo ed a campi elettromagnetici (fino a 300 GHz" dell'ICNIRP (1998), sono stati pubblicati numerosi studi scientifici sugli effetti di tali campi. Nell'intervallo di frequenza fino a circa 100 kHz, diverse rassegne scientifiche e valutazioni dei rischi per la salute sono state effettuate da organizzazioni come l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS 2006, 2007), da istituzioni nazionali di radioprotezione (HPA 2006, 2008) e dall'ICNIRP (2003). Per i campi statici e per quelli ELF, il processo di revisione da parte dell'ICNIRP delle proprie linee guida è, rispettivamente, completato (ICNIRP 2009) o in atto l'ICNIRP conferma, fino a nuovo avviso, le restrizioni base del 1998 nell'intervallo di frequenza 100 kHz - 300 GHz.". Dunque, se l'ICNIRP conferma i limiti di esposizione del 1998 per le frequenze superiori a 100 kHz, si è oggi in attesa dei risultati del processo di revisione per quanto concerne i campi ELF. Non è possibile dire se l'ICNIRP confermerà i limiti di esposizione o se li renderà più restrittivi alla luce delle crescenti preoccupazioni nelle popolazioni esposte. Infatti l'OMS, negli ultimi anni, ha incoraggiato a considerare "la necessità di applicare rigorosamente il principio di precauzione nella valutazione dei rischi e di adottare maggiori iniziative e un approccio più preventivo nei confronti di potenziali danni alla salute".

Bibliografia

- [1] F. Garzia, G. M. Veca, Inquinamento Elettromagnetico, Carrocci Faber, Roma, 2002.
- [2] N. Wertheimer, E. Leeper, "Electrical wiring configurations and childhood cancer", Am. J. Epidem., vol. 109, pp. 273-284, 1979.
- [3] N. Wertheimer, E. Leeper, "Adult cancer related to electrical wires near the home", Am. J. Epidem., vol. 11, pp. 345-355, 1982.
- [4] D. A. Savitz, H. Watchel, F. A. Barnes, E. M. John, J. G. Tvrdik, "Case control study of childhood cancer and exposure to 60 Hz magnetic field", Am. J. Epidem., vol. 128, pp. 21-38, 1988.
- [5] R. K. Severson, R. G. Stevens, W. T. Kaune, D. B. Thomas, L. Heuser, S. Davis, L. E. Sever, "Acute nonlymphocytic leukaemia and residential exposure to power frequency magnetic fields", Am. J. Epidem., vol. 128, pp. 10-20, 1988.
- [6] A. Myers, A. D. Clayden, R. A. Cartwright, S. C. Cartwright, "Childhood cancer and overhead powerlines: a case-control study", Br. J. Cancer., vol. 62, pp. 1008-1014, 1990.
- [7] M. Feychting, A. Ahlbom, "Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high voltage power lines", Am. J. Epidem., vol. 138, pp. 467-481, 1993.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

- [8] B. Floderus, T. Persson, C. Stenlund, A. Wenberg, A. Ost, B. Knave, "Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukaemia and brain tumors: a case case control study in Sweden", *Cancer Causes and Control*, vol 4, pp. 456-476, 1993.
- [9] B. Amstrong, G. Theriault, P. Guenel, J. Deadman, M. Goldberg and P. Heroux, "Association between Exposure to Pulsed Electromagnetic Fields and Cancer in Electric Utility Workers in Quebec", Canada and France. *Am. J. Epidemiol.*, vol. 140, pp. 805, 1994.
- [10] D.A. Savitz, D.P. Loomis, "Magnetic field exposure in relation to leukaemia and brain cancer mortality among electric utility workers", *Am. J. Epidemiol.*, vol. 141, pp. 123-134, 1995.
- [11] NRPB, "Electromagnetic fields and the risk of cancer - Report of an Advisory Group on Non-ionizing Radiation (AGNIR)", Documents of the National Radiological Protection Board, Chilton Didcot, Oxon OX11 0RQ, vol. 32, n. 1, 1992.
- [12] Health Council of the Netherlands, "Extremely low-frequency electromagnetic fields and health", The Hague: Health Council of the Netherlands, Report 1992/07, 1992.
- [13] ORAU, "Health Effects of Low-frequency Electric and Magnetic Fields", Oak Ridge Associated Universities, Oak Ridge, ORAU-92/F8, 1992.
- [14] P. Comba, M. Grandolfo, S. Lagorio, A. Polichetti, P. Vecchia, "Rischio cancerogeno associato a campi magnetici a 50/60 Hz", Istituto Superiore della Sanità, Rapporto ISTISAN 95/29, 1995.
- [15] S. Lagorio, P. Comba, I. Iavarone, G. A. Zapponi, "Tumori e malattie neurodegenerative in relazione all'esposizione a campi elettrici e magnetici a 50/60 Hz: rassegna degli studi epidemiologici", Istituto Superiore della Sanità, Rapporto ISTISAN 98/31, 1998.
- [16] National Institute of Environmental Health Sciences - National Institute of Health (NI.E.H.S./N.I.H), 1999. "Health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields", N.I.H publication, N 99-4493, Research Triangle Park, N.C., U.S.A.
- [17] NRPB, "Electromagnetic fields and the risk of cancer - Report of an Advisory Group on Non-ionizing Radiation (AGNIR)", Documents of the National Radiological Protection Board, Chilton Didcot, Oxon OX11 0RQ, vol. 12, n. 1, 2001.
- [18] IARC, "Non-ionizing radiation, part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields", IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, IARC Press, Lyon (France), vol. 80, 2002.
- [19] WHO, "Extremely low frequency fields", WHO - Environmental Health Criteria, Vol. 238. Geneva, World Health Organization, 2007.
- [20] SCENIHR, "Effetti sanitari dell'esposizione ai campi elettromagnetici", Commissione Europea - Direzione Generale per la Salute e la Protezione dei Consumatori, parere approvato dallo SCENIHR nella seduta plenaria del 19 Gennaio 2009.
- [21] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", *Health Physics*, Vol. 74, pp. 494-522, 1998.
- [22] J. H. Bernhardt et al, "Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0-100 kHz)", ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2003.
- [23] ICNIRP, "ICNIRP Statement on the Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)", *Health Physics*, Vol. 97 pp. 257-258, 2009.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

3. CAMPO MAGNETICO

3.1 Base teorica generale

Quando una corrente elettrica attraversa un conduttore produce un campo magnetico. L'induzione magnetica B in un punto P prodotta da un conduttore lineare di lunghezza infinita è espressa tramite la legge di Biot e Savart:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r} \quad (0.1)$$

essendo:

B induzione magnetica [Tesla = T = W/m²]

μ_0 permeabilità magnetica nel vuoto, pari a $4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m

I corrente elettrica percorrente il conduttore espressa in Ampere [A]

r distanza radiale "r" del punto P dal conduttore [m]

Ne deriva che l'induzione magnetica assume la seguente forma:


$$B = \frac{2I}{r} 10^{-7} \quad (0.2)$$

Per il calcolo dei campi elettromagnetici è stato utilizzato un software il cui algoritmo di calcolo fa uso del seguente modello semplificato:

1. tutti i conduttori costituenti la linea sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
2. i conduttori sono considerati di forma cilindrica con diametro costante;
3. la tensione e la corrente su ciascun conduttore attivo sono considerati in fase tra di loro;
4. la distribuzione della carica elettrica sulla superficie dei conduttori è considerata uniforme;
5. il suolo è considerato piano e privo di irregolarità, perfettamente conduttore dal punto di vista elettrico, perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico; viene trascurata la presenza dei tralicci o piloni di sostegno, degli edifici, della vegetazione e di qualunque altro oggetto si trovi nell'area interessata.

Le condizioni sopraesposte permettono di ridurre il calcolo ad un problema piano, poiché la situazione è esattamente la stessa su qualunque sezione normale della linea, dove con "sezione normale" si intende, qui e nel seguito, quella generata da un piano verticale ortogonale all'asse longitudinale della linea (cioè alla direzione dei conduttori che la costituiscono) passante per il punto dove si vogliono calcolare i campi.

Indicato con P osservazione il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per P e ortogonale ai conduttori. Indichiamo quindi con Q_k il punto dove il generico conduttore C_k interseca la sezione normale. L'induzione magnetica B

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

generata da N_R conduttori filiformi, numerati da 1 a N_R , può essere calcolata con l'espressione seguente:

$$\mathbf{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=1}^{N_R} \int_{C_k} \frac{I_k}{r^3} \mathbf{r} \times d\mathbf{l} \quad (0.3)$$

Le ipotesi adottate consentono di eseguire l'integrazione ed ottenere (asse Z nella direzione dei conduttori):

$$\mathbf{B} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=1}^{N_R} \frac{I_k \mathbf{z} \times (\mathbf{Q} - \mathbf{P}_k)}{|\mathbf{Q} - \mathbf{P}_k|^2} \quad (0.4)$$

I calcoli sono stati redatti mediante codice Matlab sviluppato presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università la Sapienza (DIAEE) in occasione di diversi contratti per Terna e il Ministero dell'Ambiente.

3.2 Linea in cavo a 150 kV

3.2.1 Caratteristiche del cavidotto

Gli impianti fotovoltaici dei tre produttori saranno connessi alla RTN tramite collegamento in antenna alla stazione TERNA 150 kV di Anagni. I campi saranno collegati tramite connessioni in cavo in Mt a 30 kV ovvero At a 150 kV alla SSE-U ubicata nel territorio di Anagni.

Da questa, mediante elettrodotto interrato di AT a 150 kV, si giungerà alla SSE lato rete di Terna Anagni. La SSE-U sarà dimensionata secondo quanto riportato negli elaborati grafici allegati e sarà condivisa dai suddetti tre produttori, con potenza complessiva allo stallo di AT di 193 MVA 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

L'elettrodotto a 150 kV sarà realizzato con una terna di cavi unipolari realizzati con conduttore in alluminio, isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermatura in alluminio e guaina esterna in polietilene. Ciascun conduttore di energia avrà una sezione indicativa di 1600 mm² (in alluminio).

Di seguito si riporta a titolo illustrativo la scheda del cavo tratta da un primario costruttore:



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Cables for a moving world



Codice/code

ARE4H1H5E 87/150 kV 1X1600

DOCUMENTO / DOCUMENT

ARE4H1H5E 87-150 KV 1X1600_rev2A

DATA/DATE

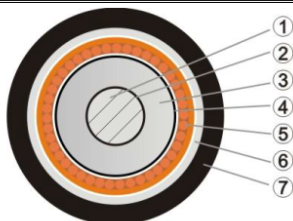
11/05/2021

REV

2A

ARE4H1H5E 87/150 kV

DRAWING – GENERAL CONSTRUCTION - COLOUR CODE AND MARKING



- 1. CONDUCTOR**
- 2. CONDUCTOR SCREEN**
- 3. INSULATION**
- 4. INSULATION SCREEN**
- 5. INNER SCREEN**
- 6. OUTER SCREEN**
- 7. OUTER SHEATH**

OUTER SHEATH COLOUR:

Black

NORMS OF REFERENCE:

- **IEC 60840**
- **TERNA UXLK101**
- **CPR: Fca**

OUTER SHEATH MARKING:

TERNA 101/31Al ARE4H1H5E 87/150 kV 1X1600 Al TRATOS (A) year/trimester/lot Fca metric marking

Tratos Cavi S.p.A Sede legale - via Stadio, 2 - 52036 - Pieve Santo Stefano (AR) - Italy

Filiale - Strada XIII Zona Industriale, 57 - Catania (CT) - 95121 - Italy

tel. +39 0575 794.1 - fax +39 0575 794246 - e-mail info@tratos.it - www.tratos.eu

Cod.Fisc. e Reg. Imprese 00861640514 P.IVA 02328320516 CCIAA Arezzo REA n° 74421 Capitale Sociale € 12.612.304,20 i.v.

Società soggetta ad attività di direzione e controllo da parte di: Tratos Srl C.F. 01799580400 - Rea CCIA di Ar n. 100195/AR

Mod. A-66





GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Cables for a moving world



Codice/code ARE4H1H5E 87/150 kV 1X1600	DOCUMENTO / DOCUMENT ARE4H1H5E 87-150 KV 1X1600_rev2A	DATA/DATE 11/05/2021	REV 2A
--	---	--------------------------------	------------------

U.M.

LONGITUDINALLY WATER BLOCKED CONDUCTOR		
Material		Stranded aluminium (Cl. 2)
Nominal cross section	mm²	1X1600
TRATOS CODE		210872
Nominal diameter	mm	49,0
Max. resistance at 20°C	Ω/km	0,0186
CONDUCTOR SCREEN		
Type		Extruded semiconductor layer
Nominal thickness	mm	1,5
Colour		Black
INSULATION		
Material		XLPE
Nominal thickness	mm	17,0
Nominal diameter	mm	88,0
Colour		Natural
INSULATION SCREEN		
Type		Extruded semiconductor layer bonded
Nominal thickness	mm	1,5
Colour		Black
WRAPPING		
Type		Semiconductive water blocking tape
INNER SCREEN		
Formation		Aluminium wires Semiconductive water blocking tape
Nominal diameter	mm	103,0
OUTER SCREEN		
Type		Copolymer coated aluminium tape
Nominal thickness	mm	0,20
OUTER SHEATH		
Material		MD PE + semiconductive layer
Nominal thickness	mm	4,5
Nominal diameter	mm	113,0
Nominal weight	Kg/km	13.085

GENERAL CHARACTERISTICS		
Min. Bending radius	mm	20 x Ø
Max. conductor short-circuit current (initial temp. 90°C; final temp 250°C)	kA/0,5"	208
Max. conductor resistance at 90°C 50 Hz	Ω/Km	0,0273
Max. screen resistance at 20°C (inner + outer)	Ω/Km	0,124
Max. screen short-circuit current (initial temp. 80°C; final temp 250°C)	kA/0,5"	31,5
Current carrying capacity, Depth of laying 1,2 m, Ground temp. 20°C Thermal resistivity 1°C m/W cross bonding, flat	A	1.000
Nominal capacitance	µF/km	0,270
Nominal reactance	Ω/km	0,122

Tratos Cavi S.p.A Sede legale - via Stadio, 2 - 52036 - Pieve Santo Stefano (AR) - Italy
Filiale - Strada XIII Zona Industriale, 57 - Catania (CT) - 95121 - Italy
tel. +39 0575 794.1 - fax +39 0575 794246 - e-mail info@tratos.it - www.tratos.eu
Cod.Fisc. e Reg. Imprese 00861640514 P.IVA 02328320516 CCIAA Arezzo REA n° 74421 Capitale Sociale € 12.612.304,20 i.v.
Società soggetta ad attività di direzione e controllo da parte di: Tratos Srl C.F. 01799580400 - Rea CCIA di Ar n. 100195/AR



Mod. A-66



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Il conduttore è generalmente tamponato per evitare la accidentale propagazione longitudinale dell'acqua. Sopra il conduttore viene applicato prima uno strato semiconduttivo estruso, poi l'isolamento XLPE e successivamente un nuovo semiconduttivo estruso; su quest'ultimo viene avvolto un nastro semiconduttivo igroespandente, anche in questo caso per evitare la propagazione longitudinale dell'acqua. Gli schermi metallici intorno ai conduttori di fase dei cavi con isolamento estruso hanno la funzione principale di fornire una via di circolazione a bassa impedenza alle correnti di guasto in caso di cedimento di isolamento. Pertanto, essi saranno dimensionati in modo da sostenere le massime correnti di corto circuito che si possono presentare. Sopra lo schermo di alluminio viene applicata la guaina aderente di polietilene nera e grafitata avente funzione di protezione anticorrosiva ed infine la protezione esterna meccanica. Tali dati potranno subire adattamenti, comunque, non essenziali dovuti alla successiva fase di progettazione esecutiva e di cantierizzazione, anche in funzione delle soluzioni tecnologiche adottate dai fornitori e/o appaltatori.

I cavi saranno interrati ed installati normalmente in una trincea della profondità di 1,5 m, con disposizione delle fasi **a trifoglio** (in generale potrebbe essere anche in piano – vedasi Figura 1).

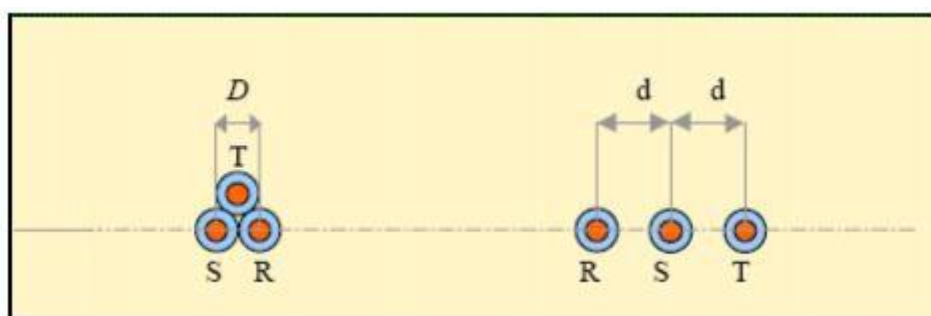


Figura 1 – Installazioni interrate di cavi AT e MT tipiche

Nello stesso scavo, potrà essere posato un cavo con fibre ottiche e/o telefoniche per trasmissione dati. Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento "mortar" e saranno protetti e segnalati superiormente a una rete in PVC e da un nastro segnaletico, ed ove necessario anche da una lastra di protezione in cemento armato dello spessore di 6 cm. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto.

Altre soluzioni particolari, quali l'alloggiamento dei cavi in cunicoli prefabbricati o gettati in opera od in tubazioni di PVC della serie pesante o di ferro, potranno essere adottate per attraversamenti specifici.

In corrispondenza degli attraversamenti di canali, svincoli stradali, ferrovia o di altro servizio che non consenta l'interruzione del traffico, l'installazione potrà essere realizzata con il sistema dello spingitubo o della perforazione teleguidata, che non comportano alcun tipo di interferenza con le strutture superiori esistenti che verranno attraversate in sottopasso. Gli attraversamenti delle opere interferenti saranno eseguiti in accordo a quanto previsto dalla Norma CEI 11-17.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

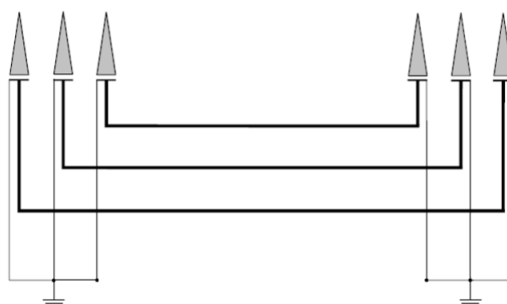
REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

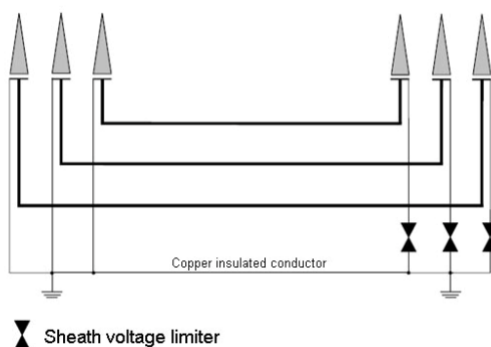
ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

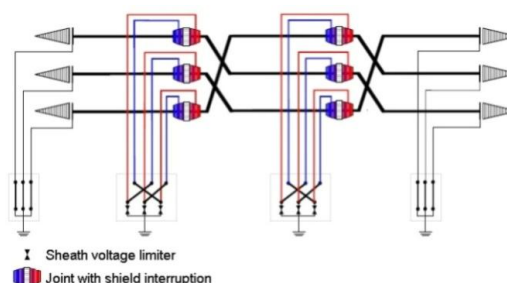
Tra le possibili modalità di collegamento degli schermi metallici sarà utilizzata la cosiddetta modalità del **cross bonding** (altre modalità possibili sono il solid bonding – ovvero double ends bonding - e il single point bonding), in cui il collegamento in cavo viene suddiviso in tre tratte elementari (o multipli di tre) di uguale lunghezza, generalmente corrispondenti con le pezzature di posa. In tale configurazione gli schermi vengono messi francamente a terra, ed in corto circuito tra loro all'estremità di partenza della prima tratta ed all'estremità di arrivo della terza, mentre tra due tratte adiacenti gli schermi sono isolati da terra e uniti fra loro con collegamento incrociato.



(a)




(b)



(c)

Figura 2 - Both ends bonding (a); single point bonding (b); cross bonding (c)

 <p>GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma</p>	<p>Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN</p> <p>Del 17/04/2025</p>	<p>Account Code : E-002-RTD</p> <p>REL. TEC. SPEC.</p> <p>Doc. : CAMPI ELETTRICITÀ</p> <p>Rev. : 00</p>
--	---	--

3.2.2 Verifica posa interrata a trifoglio

Nel presente calcolo, si considera la linea di connessione in cavo a 150 kV costituita da una semplice terna di cavi interrati disposti a trifoglio di sezione 1600 mm² in alluminio unificata Terna come riportato in Figura 3.

La sequenza di posa dei materiali è:

- strato di sabbia o inerte prescritto fino a 20 cm sopra i cavi AT;
- cavi posati a trifoglio, ad una profondità di almeno 140 cm;
- protezione meccanica con tegoli in CAV;
- rete in plastica forata di colore rosso-arancione in PVC
- nastro monitore con la dicitura "CAVI ELETTRICI", interrato comunque ad una distanza non inferiore a 0.20 m dal cavidotto di energia.
- riempimento con il materiale di risulta dello scavo;
- riempimento finale con il materiale di risulta dello scavo e ripristino del manto stradale ove necessario.

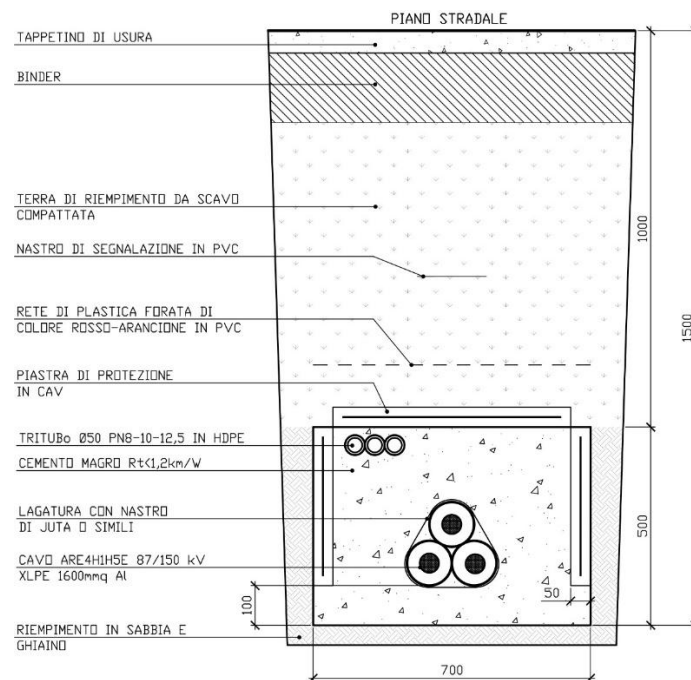


Figura 3 - Semplice terna di cavi interrati disposti a trifoglio: tipica posa interrata per l'elettrodotto a 150 kV

Essendo:

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

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

$d = 113 \text{ mm}$,



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

si ottiene:

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

come riportato in Figura 4

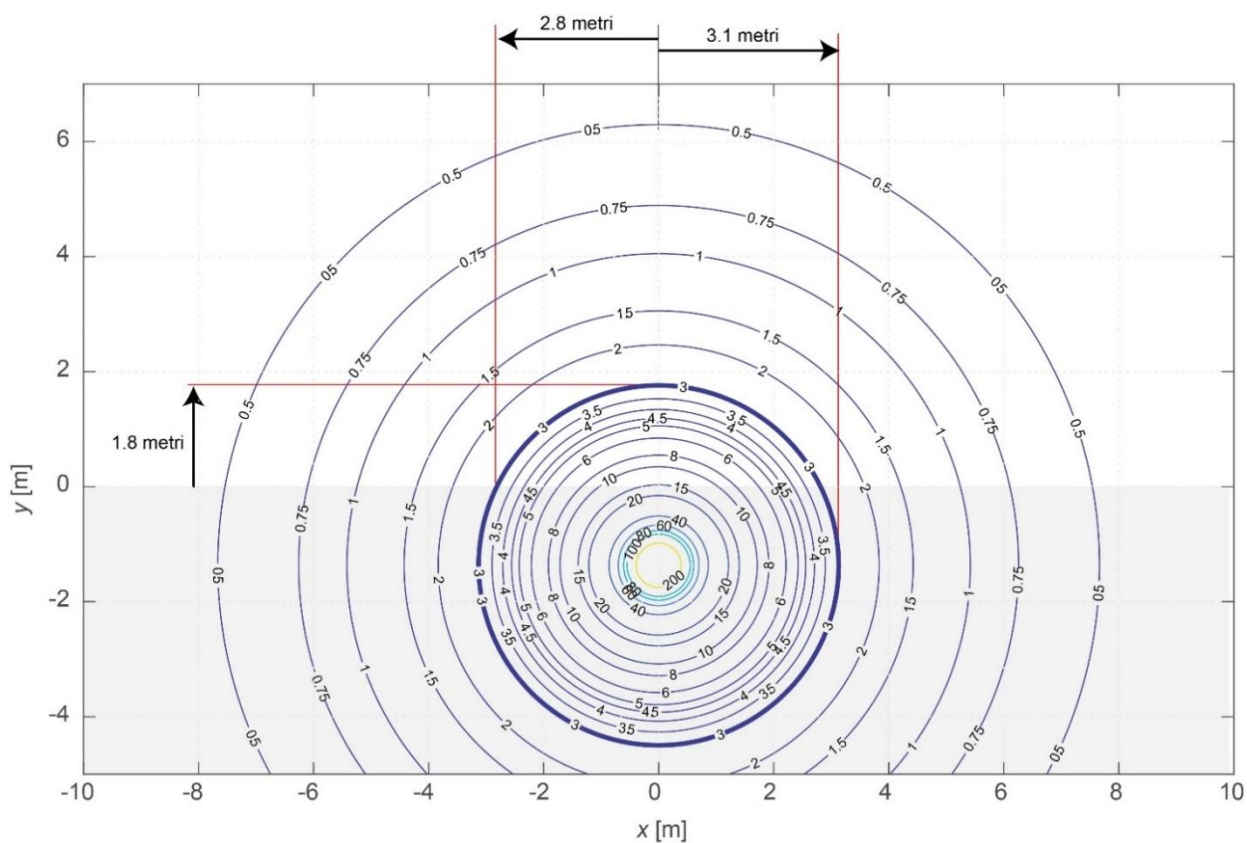


Figura 4 –Calcolo del campo B emesso dalla linea in cavo interrata a trifoglio a 150 kV



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

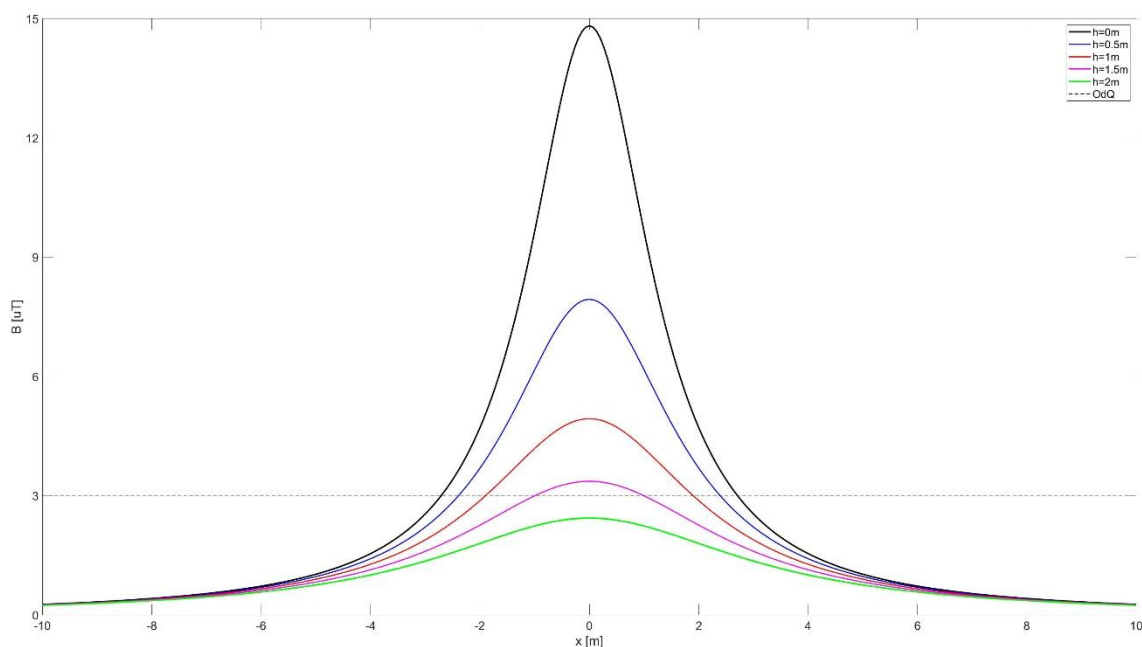
REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

SCHEDA 1: CAVO HV 150kV INTERRATO A TRIFOGLIO



Distanza x dall'asse della linea interrata [m]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
B [μT]	0	0,5	1	1,5	2
10	0,949				
9	1,099				
8	1,262				
7	1,445	6,847			
6	1,657	1,062			
5	1,916	1,432			
4	2,248	1,853	1,148		
3	2,713	2,396	1,904	1,003	
2	3,460	3,218	2,870	2,371	1,582
1	5,081	4,919	4,699	4,411	4,043

Campo B [μT]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
x [m]	0	0,5	1	1,5	2
1	9,652	6,172	4,192	3,002	2,244
2	4,717	3,698	2,883	2,265	1,805
3	2,547	2,217	1,896	1,607	1,361
4	1,549	1,421	1,281	1,143	1,013
5	1,030	0,972	0,904	0,833	0,762
6	0,731	0,701	0,665	0,626	0,585
7	0,544	0,527	0,507	0,484	0,459
8	0,420	0,410	0,398	0,383	0,367
9	0,334	0,328	0,320	0,310	0,300
10	0,272	0,267	0,262	0,256	0,249



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN

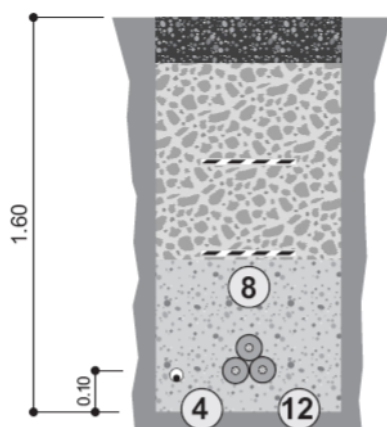
Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

Doc. : **CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

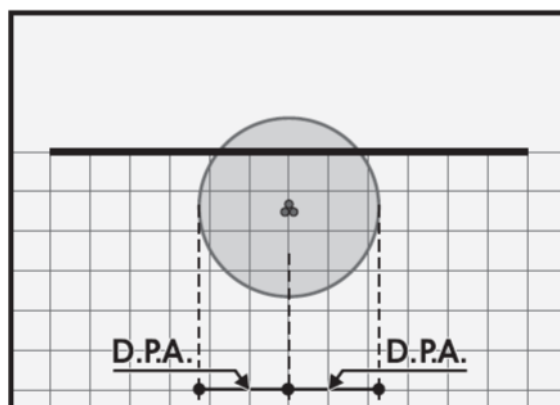
A15 - CAVI INTERRATI - Semplice Tema cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV)



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


 $< 3\mu T$

 $> 3\mu T$



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

Figura 5 - Scheda tratta dalla guida di e-Distribuzione sul calcolo delle fasce di rispetto

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

3.2.3 Verifica posa interrata con TOC

Le interferenze saranno principalmente affrontate con la tecnica della Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) - Horizontal Directional Drilling.

Questa è una tecnologia che consente la posa lungo un profilo trivellato di tubazioni in polietilene, in acciaio o in ghisa sferoidale. Le tubazioni installabili hanno diametri compresi tra 40 mm e 1600 mm e vengono utilizzate per numerosi sottoservizi (acqua, energia, telecomunicazioni etc).

Il profilo di trivellazione, accuratamente prescelto in fase progettuale, viene seguito grazie a sistemi di guida estremamente precisi, solitamente magnetici, tali da consentire di evitare ostacoli naturali e/o artificiali e di raggiungere un obiettivo prestabilito, operando da una postazione prossima al punto di ingresso nel terreno della perforazione

Le fasi di lavorazione sono sostanzialmente tre:

1. nel corso della prima fase, viene realizzato un foro pilota mediante l'introduzione nel punto di ingresso di una colonna di aste, con un utensile di perforazione posto in testa; tali aste sono guidate alla quota e nella direzione voluta;
2. successivamente, raggiunto il punto di uscita, sulla testa di perforazione viene montato un opportuno alesatore che permette di allargare il diametro del foro fino a raggiungere le dimensioni utili alla posa dei tubi previsti;
3. infine, viene tirata nel foro la colonna della tubazione presaldada, completando il lavoro.

La perforazione viene solitamente favorita dall'uso di fanghi bentonitici, non sono necessari scavi a cielo aperto lungo l'asse di trivellazione e, al termine delle operazioni, l'area di lavoro viene restituita allo status quo ante, mediante il ripristino dei punti di ingresso e di uscita.

In caso di posa di piccole condotte, la fase di alesatura del foro può essere evitata, riducendo quindi, oltre i tempi di lavorazione, anche le dimensioni delle macchine impiegate e, quindi, l'area di cantiere.

Le TOC sono particolarmente adatte per il superamento di ostacoli, quali fiumi, canali, strade di grande comunicazione, aree pubbliche, aree archeologiche etc e trovano impiego anche nel consolidamento di versanti franosi e nel risanamento e contenimento di siti inquinati.

L'impiego di questa tecnologia può essere problematico in caso di presenza di ghiaie sciolte, per cui è necessario uno studio preliminare dei terreni da attraversare.

La progettazione di una TOC implica quindi l'esecuzione di indagini preliminari allo scopo di ricostruire la situazione stratigrafica lungo il profilo di trivellazione e, soprattutto in ambito urbano, per individuare la presenza di eventuali sottoservizi già esistenti.

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 6.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

Doc. : **REL. TEC. SPEC.
CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

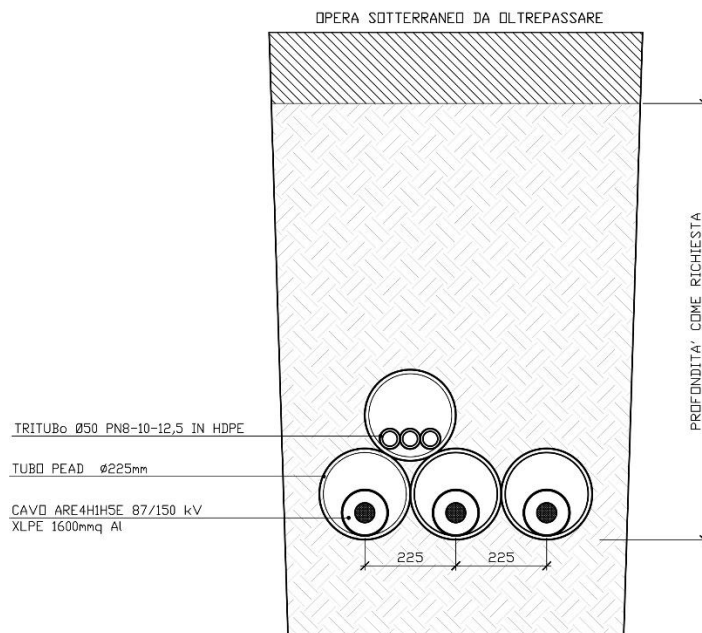


Figura 6 - Semplice terna di cavi a 150 kV interrati in cavidotti posati con TOC

Essendo:

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

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

$d = 113 \text{ mm}$,

si ottiene:

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

Fascia di rispetto fuori terra: 4.9 m

come riportato in Figura 7 e Figura 8.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

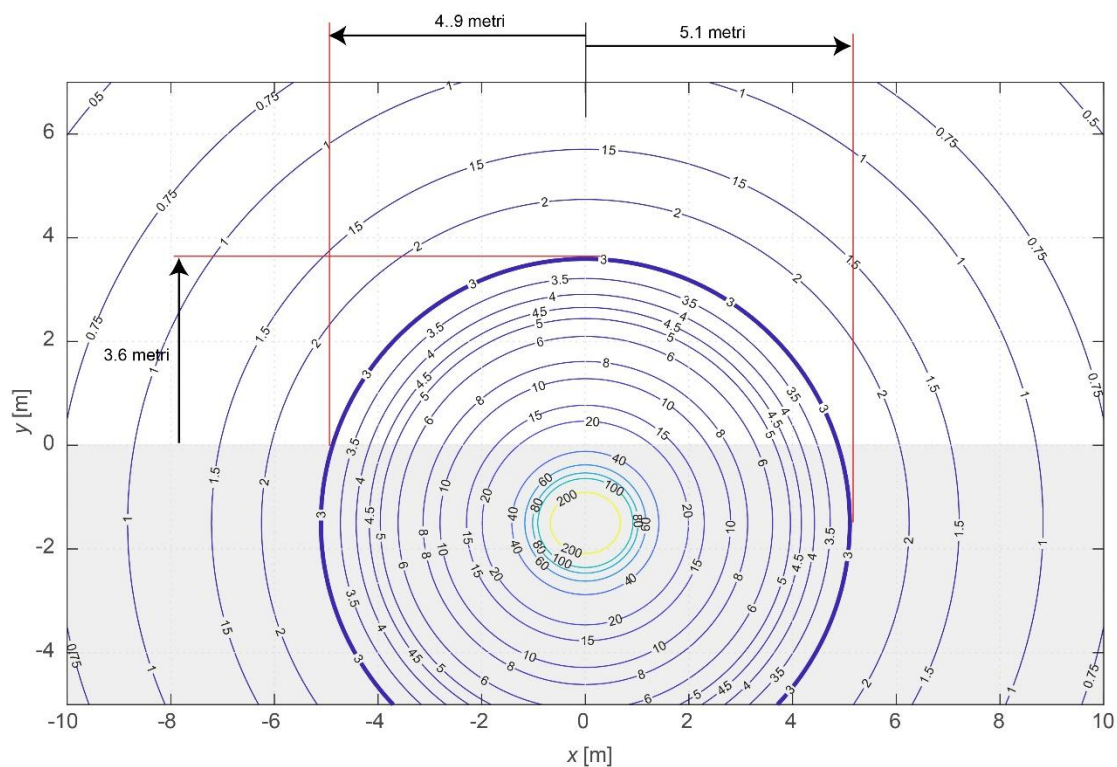


Figura 7 - Calcolo del campo B emesso dalla linea in cavo interrata in TOC a 150 kV con profondità di posa di 1.5 m

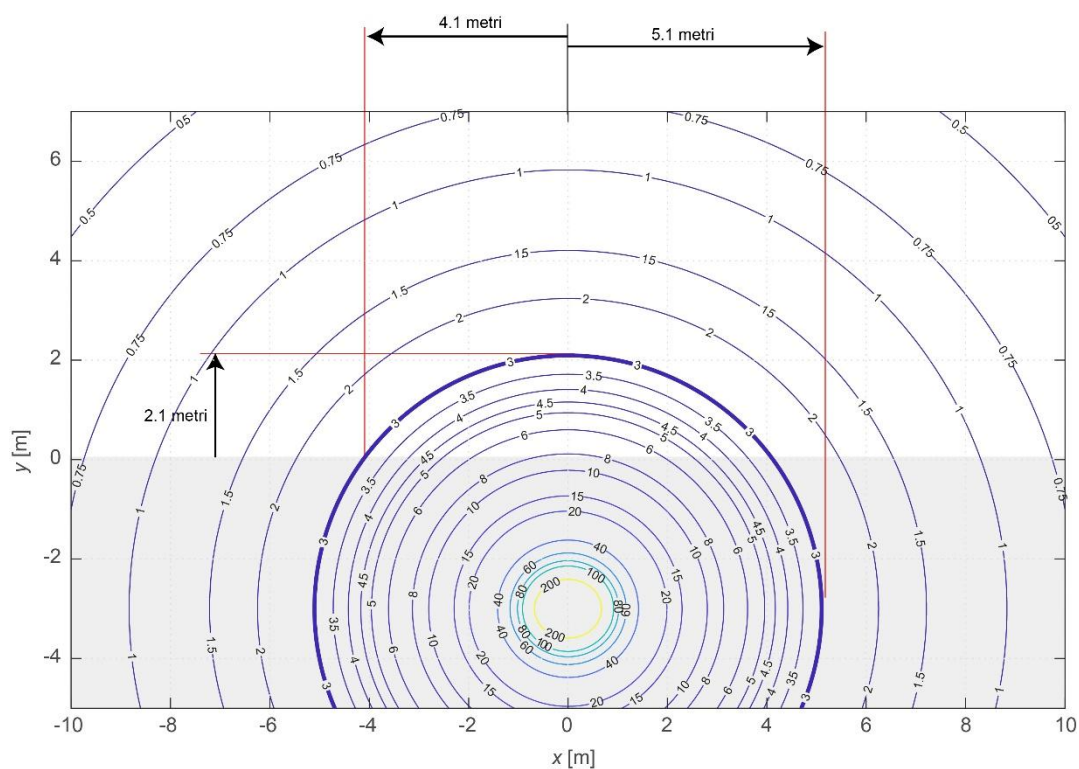


Figura 8 - Calcolo del campo B emesso dalla linea in cavo interrata in TOC a 150 kV con profondità di posa di 3 m



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

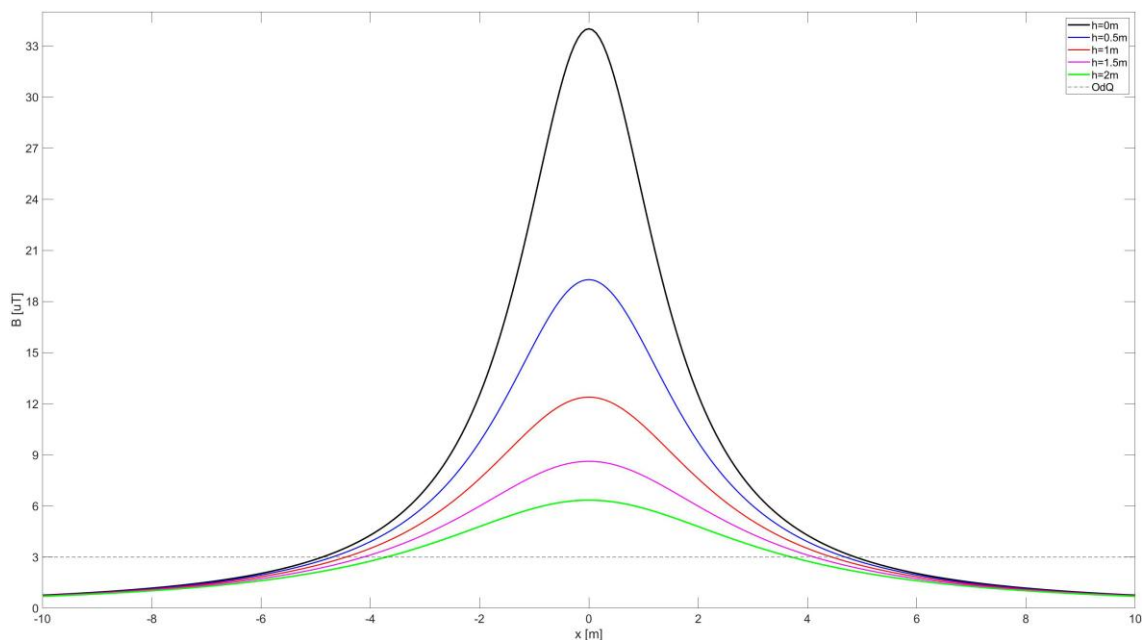
REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

SCHEDA 2: CAVO HV 150kV INTERRATO IN TOC - h=1,5



Distanza x dall'asse della linea interrata [m]					
	Altezza h dal piano di campagna [m]				
B [μT]	0	0,5	1	1,5	2
10	2,361	1,950	1,233		
9	2,538	2,162	1,548		
8	2,744	2,400	1,867	0,841	
7	2,987	2,675	2,211	1,453	
6	3,284	3,003	2,598	1,995	0,838
5	3,658	3,409	3,059	2,567	1,821
4	4,158	3,940	3,642	3,240	2,689
3	4,877	4,693	4,446	4,124	3,707
2	6,064	5,918	5,724	5,478	5,172
1	8,704	8,602	8,470	8,306	8,108

Campo B [μT]					
	Altezza h dal piano di campagna [m]				
x [m]	0	0,5	1	1,5	2
1	23,899	15,520	10,709	7,769	5,867
2	12,516	9,753	7,602	5,990	4,791
3	6,952	6,008	5,117	4,332	3,668
4	4,282	3,905	3,508	3,121	2,760
5	2,866	2,692	2,497	2,295	2,094
6	2,041	1,951	1,847	1,734	1,617
7	1,522	1,472	1,412	1,345	1,273
8	1,177	1,147	1,110	1,068	1,023
9	0,937	0,918	0,894	0,866	0,836
10	0,763	0,750	0,734	0,715	0,695



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

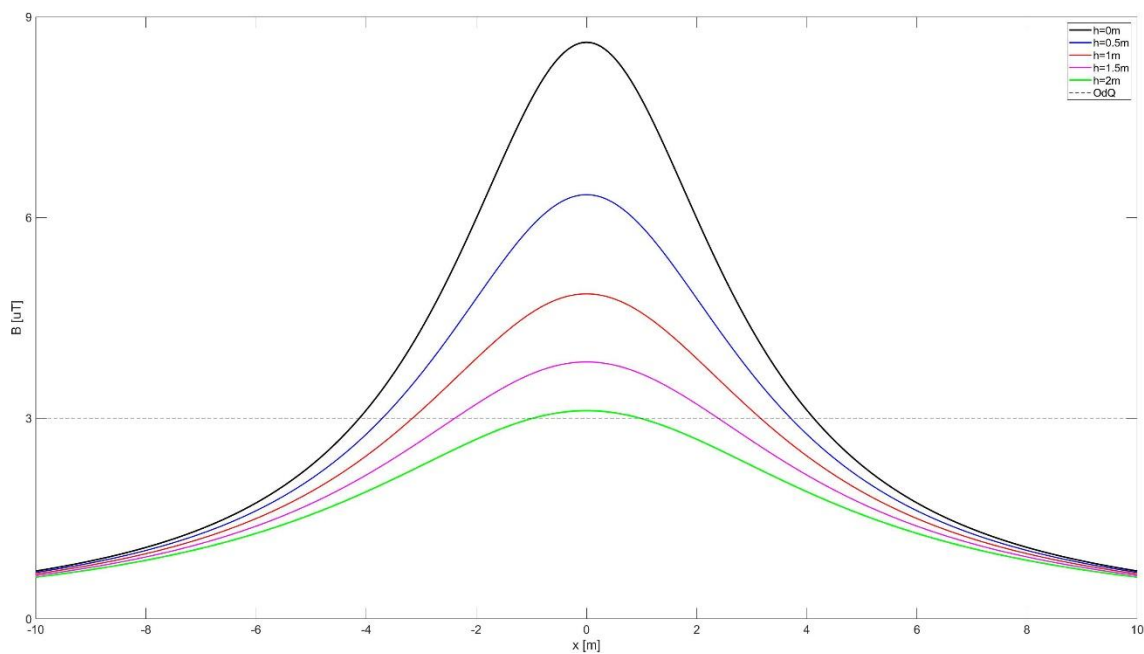
REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

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



Distanza x dall'asse della linea interrata [m]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
B [μT]	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

Campo B [μT]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
x [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



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

3.2.4 Verifica posa aerea su impalcato

Particolare attenzione necessita l'attraversamento di possibili corsi d'acqua. Il passaggio verrà realizzato staffandosi all'impalcato dei ponti esistenti, come mostrato in Figura 9.

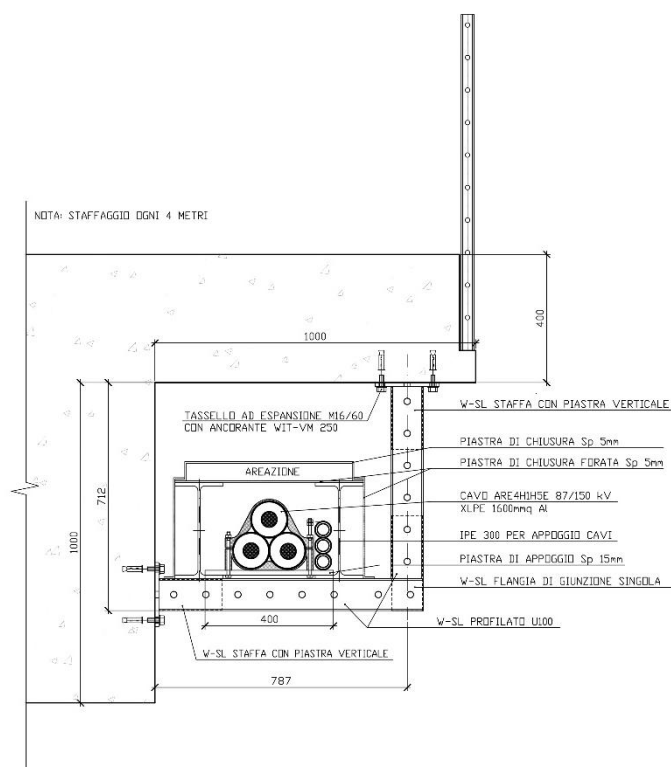


Figura 9 - Semplice terna di cavi a 150 kV posati a trifoglio su via cavi fissata sull'impalcato del ponte sull'Ofanto

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 10.

I risultati mostrati in Figura 11 e Figura 12 mostrano una DPA approssimabile a meno di un metro.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.
Doc. : **CAMPI**
ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

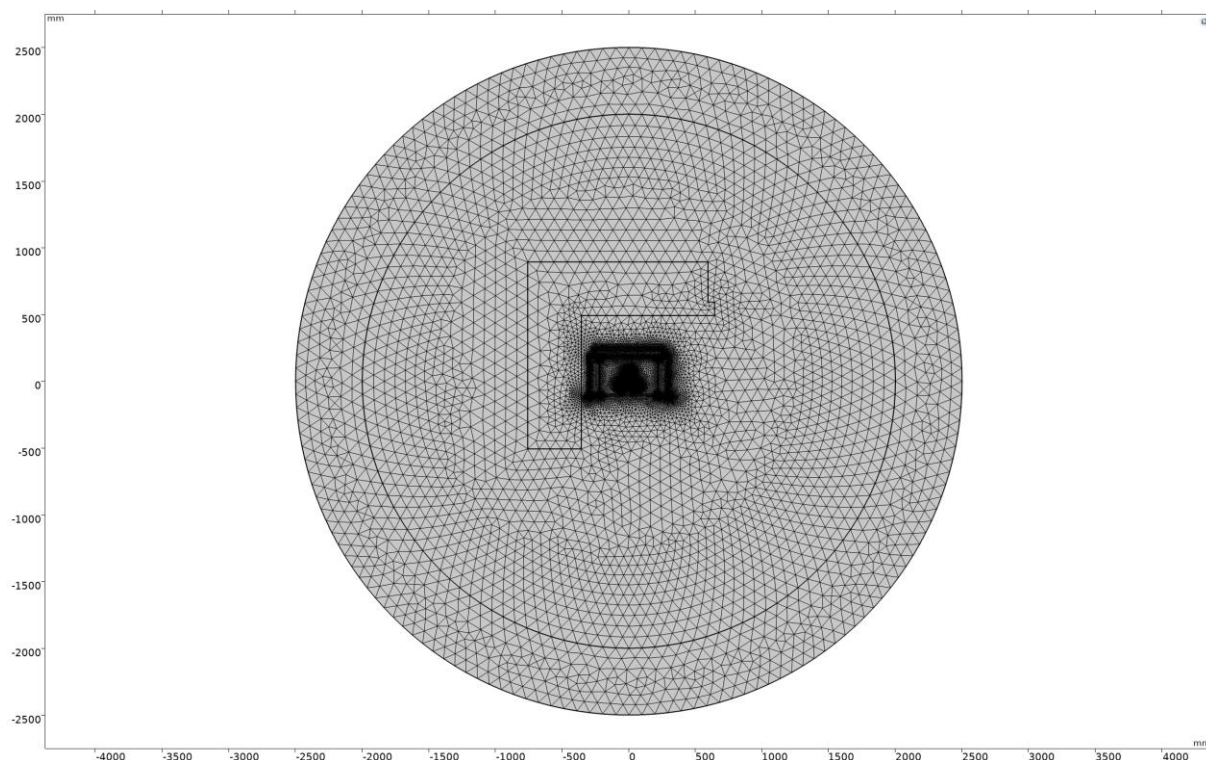


Figura 10 – Modello FEM del passaggio sull'Ofanto

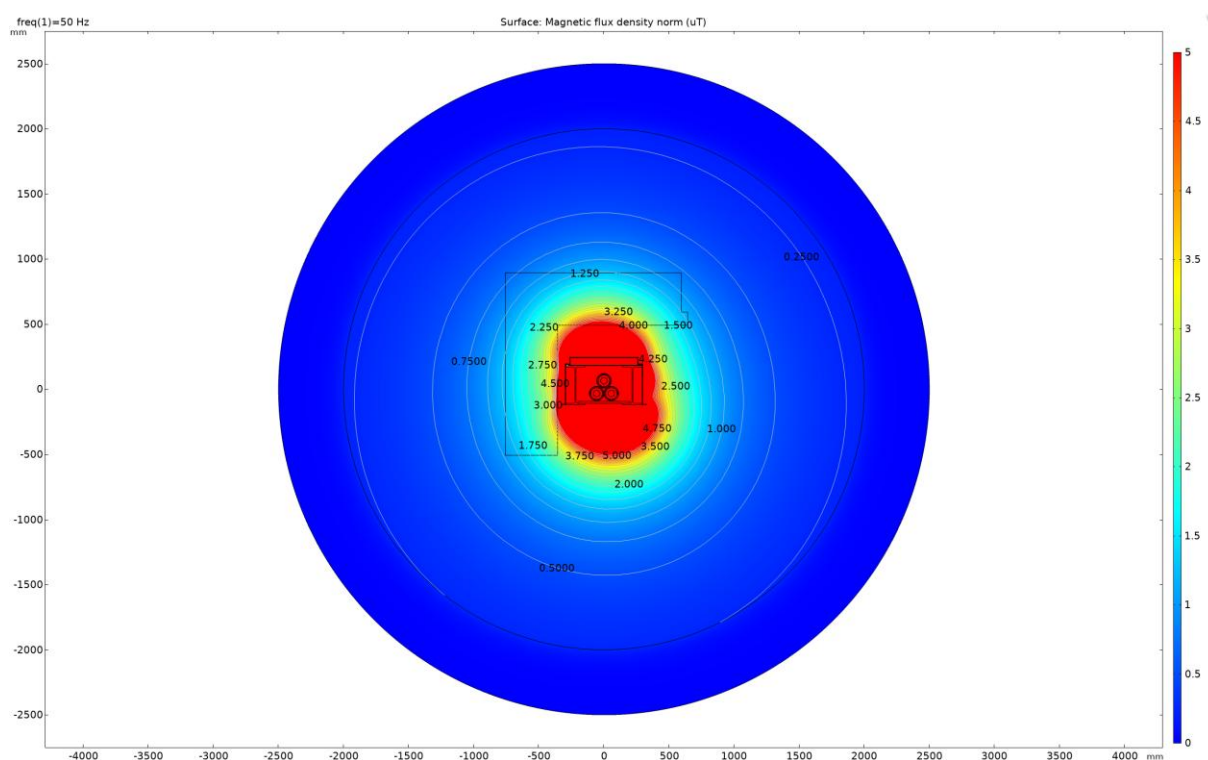


Figura 11 – Mappa del modulo del campo B



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

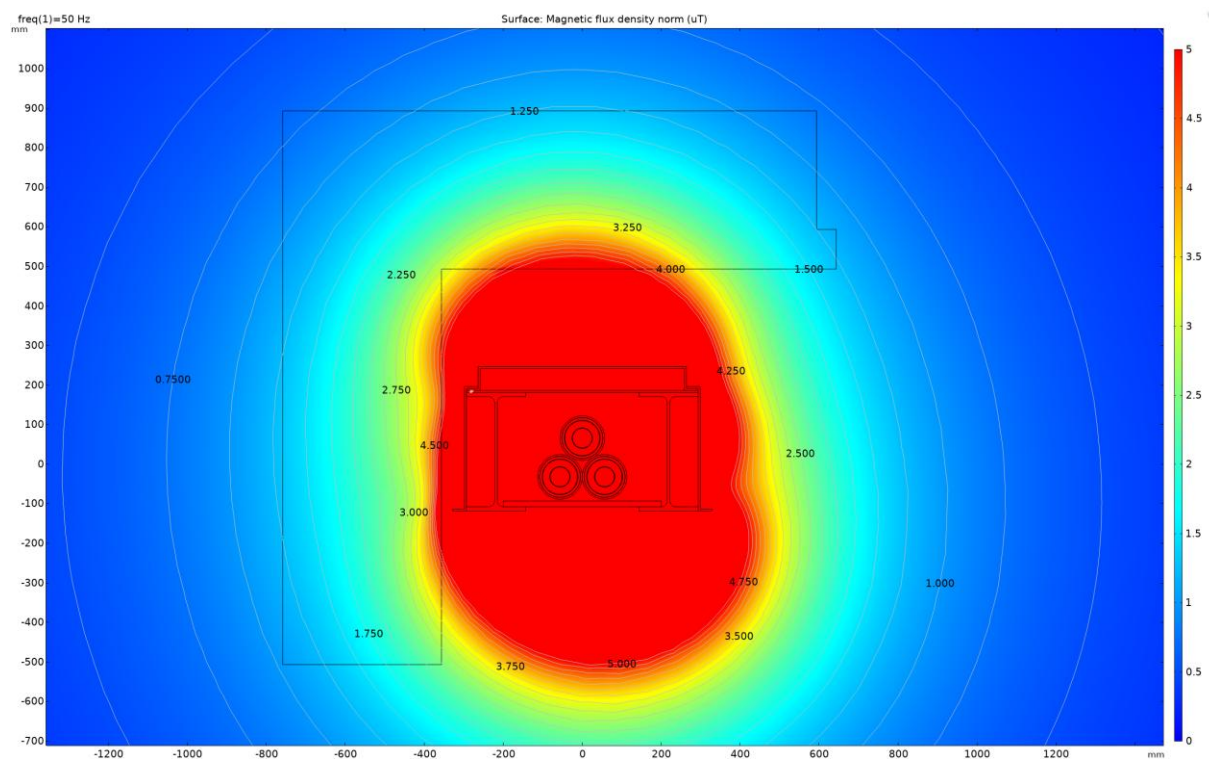


Figura 12 – Ingrandimento della mappa del modulo del campo B

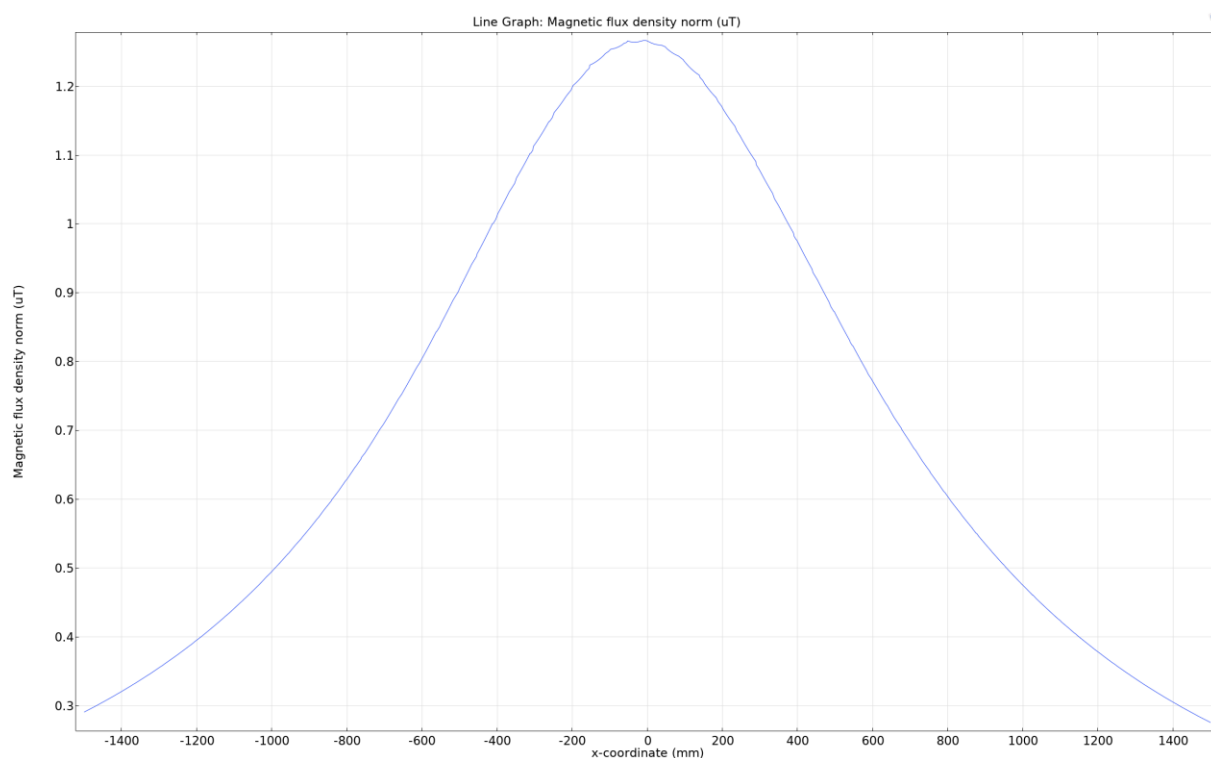


Figura 13 – Andamento del modulo del campo B sul piano stradale del ponte.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

3.3 Linee in cavo a 30 kV

Per i tratti di cavidotto dai parco fotovoltaici alle SSE si utilizzano cavi in media tensione con anima in alluminio del tipo ARG7H1R 18-30 kV, tensione massima di tenuta 36 kV.

I CAVI MT utilizzati per le linee elettriche interrato saranno del tipo idoneo per posa interrata con conduttori in Al, isolamento estruso a spessore ridotto in XLPE o in materiale elastomerico termoplastico, schermo in tubo di Al e guaina in PE. Le sezioni saranno 300 mm² ovvero 630 mm² con più fruste in parallelo per fase secondo gli opportuni dimensionamenti alla portata, alla caduta di tensione e alla tenuta al corto circuito.

La sequenza di posa dei materiali è (vedasi Figura 14 per la generica posa interrata):

- strato di sabbia o inerte prescritto fino a 20 cm sopra i cavi AT;
- cavi posati a trifoglio, ad una profondità di almeno 140 cm;
- protezione meccanica con tegoli in cav;
- nastro monitor con la dicitura "CAVI ELETTRICI", interrato comunque ad una distanza non inferiore a 0.40 m dal tegolo in CAV;
- riempimento con il materiale di risulta dello scavo;
- riempimento finale con il materiale di risulta dello scavo e ripristino del manto stradale ove necessario.

Più terne di cavi saranno installate secondo necessità, in accordo ai calcoli di dimensionamento delle linee elettriche.

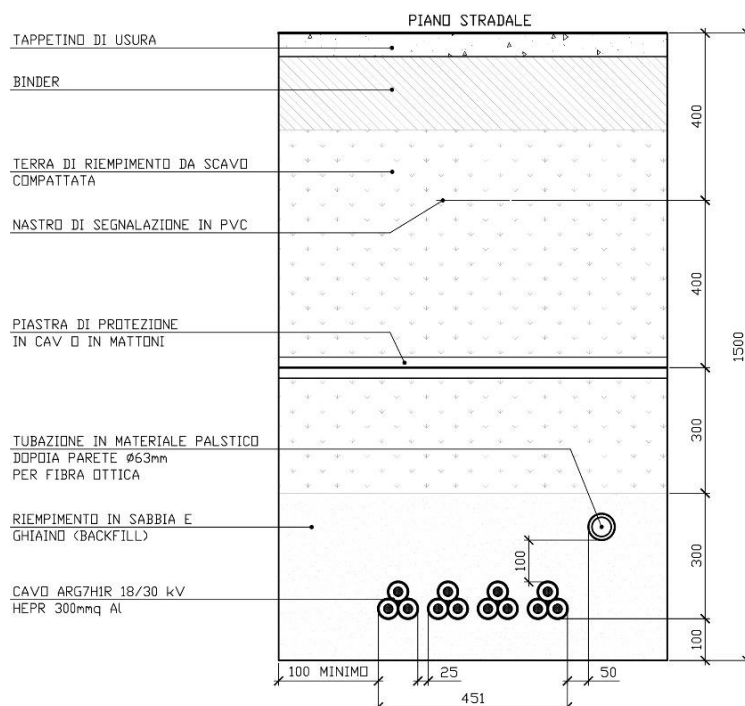


Figura 14 - Terne di cavi a 30 kV interrati disposti a trifoglio



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Nel dettaglio, si considerano le seguenti sezioni:

Formazione 1xmm ²	Ø indicativo conduttore [mm]	Spessore medio isolante [mm]	Ø esterno max [mm]	Peso indicativo cavo [kg/km]	Portata di corrente a trifoglio [A]	Portata di corrente in piano [A]
1x185	15,6	8	44	2.580	361	380
1x300	21	8	47	2.620	472	497
1x630	30.1	8	60.2	4.250	706	743

NOTA portata: Singola terna, resistività termica del terreno 1 Km/W, 20°C, profondità 1 m.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Cables for a moving world



CODICE/CODE
ARG16H1R16 18/30 kV 1X185

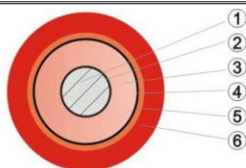
DOCUMENTO / DOCUMENT
ARG16H1R16 18-30 KV 1X185_rev0

DATA/DATE
18/02/2021

REV
0

ARG16H1R16 18/30 kV

DRAWING - GENERAL CONSTRUCTION - COLOUR CODE AND MARKING



1. CONDUCTOR
2. CONDUCTOR SCREEN
3. INSULATION
4. INSULATION SCREEN
5. SCREEN
6. OUTER SHEATH

OUTER SHEATH COLOUR: Red

NORMS OF REFERENCE: CEI 20-13 ; CPR: Cca-s3,d1,a3

OUTER SHEATH MARKING:

TRATOS ARG16H1R16 18/30 kV 1X185 Cca-s3,d1,a3 lot/year metric marking

U.M.

CONDUCTOR		
Material		Stranded aluminium (Cl. 2)
Nominal cross section	mm²	1X185
TRATOS CODE		205384
Nominal diameter	mm	15,60
Max. resistance at 20°C	Ω/km	0,164
CONDUCTOR SCREEN		
Material		Semiconductor layer
Colour		Black
INSULATION		
Material		HEPR (G16)
Nominal thickness	mm	8,0
Colour		Natural
INSULATION SCREEN		
Material		Semiconductor layer strippable
Colour		Black
SCREEN		
Type		Annealed plain copper wires
Nominal cross section	mm²	6
Max. resistance at 20°C	Ω/km	3
OUTER SHEATH		
Material		PVC (R16)
Nominal thickness	mm	2,2
Nominal outer diameter	mm	44,0
Nominal weight	Kg/km	2.580

GENERAL CHARACTERISTICS

Min. bending radius	mm	14 x Ø
Current capacity	Air 30°C	A
	Ground 20°C	330
Nominal reactance	Ω/km	0,124
Nominal capacitance	µF/km	0,290
Voltage test	kVx5'	63

Mod. A-66

Tratos Cavi S.p.A Sede legale - via Stadio, 2 - 52036 - Pieve Santo Stefano (AR) - Italy

Filiale - Strada XIII Zona Industriale, 57 - Catania (CT) - 95121 - Italy

tel. +39 0575 794.1 - fax +39 0575 794246 - e-mail info@tratos.it - www.tratos.eu

Cod.Fisc. e Reg. Imprese 00861640514 P.IVA 02328320516 CCIAA Arezzo REA n° 74421 Capitale Sociale € 12.612.304,20 i.v.

Società soggetta ad attività di direzione e controllo da parte di: Tratos Srl C.F. 01799580400 - Rea CCIA di Ar n. 100195/AR





GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.
Doc. : **CAMPI**
ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Cables for a moving world



Codice/code

ARG7H1R 18/30 kV 1XSEC/6

DOCUMENTO / DOCUMENT

ARG7H1R 18-30 KV 1XSEC-6_rev0A

DATA/DATE

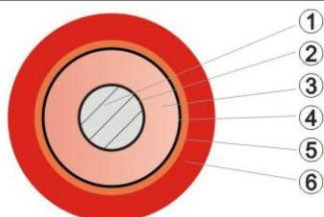
10/05/2021

REV

0A

ARG7H1R 18/30 kV

DRAWING – GENERAL CONSTRUCTION - COLOUR CODE AND MARKING



- 1. CONDUCTOR**
- 2. CONDUCTOR SCREEN**
- 3. INSULATION**
- 4. INSULATION SCREEN**
- 5. SCREEN**
- 6. OUTER SHEATH**

OUTER SHEATH COLOUR:

Red

NORMS OF REFERENCE:

- **CEI EN 60332-1-2**
- **CEI 20-13**

OUTER SHEATH MARKING:

TRATOS ARG7H1R 18/30 kV 1XSEC CEI EN 60332-1-2 lot/year metric marking

Tratos Cavi S.p.A Sede legale - via Stadio, 2 - 52036 - Pieve Santo Stefano (AR) - Italy
Filiale - Strada XIII Zona Industriale, 57 - Catania (CT) - 95121 - Italy
tel. +39 0575 794.1 - fax +39 0575 794246 - e-mail info@tratos.it - www.tratos.eu
Cod.Fisc. e Reg. Imprese 00861640514 P.IVA 02328320516 CCIAA Arezzo REA n° 74421 Capitale Sociale € 12.612.304,20 i.v.
Società soggetta ad attività di direzione e controllo da parte di: Tratos Srl C.F. 01799580400 - Rea CCIA di Ar n. 100195/AR



Mod. A-66



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Cables for a moving world



Codice/code

ARG7H1R 18/30 kV 1XSEC/6

DOCUMENTO / DOCUMENT

ARG7H1R 18-30 KV 1XSEC-6_rev0A

DATA/DATE

10/05/2021

REV

0A

U.M.

CONDUCTOR			
Material		Stranded aluminium (Cl. 2)	
Nominal cross section	mm²	1X70	1X300
TRATOS CODE		211818	211819
Nominal diameter	mm	9,60	20,60
Max. resistance at 20°C	Ω/km	0,443	0,1
CONDUCTOR SCREEN			
Type		Semiconductor layer	
Colour		Black	
INSULATION			
Material		HEPR	
Nominal thickness	mm	8,0	
Colour		Natural	
INSULATION SCREEN			
Type		Semiconductor layer strippable	
Colour		Black	
SCREEN			
Material		Annealed plain copper wires	
Nominal cross section	mm²	6	
Max. resistance at 20°C	Ω/km	3	
OUTER SHEATH			
Material		PVC	
Nominal thickness	mm	2,0	2,4
Nominal diameter	mm	32,3	44,6
Nominal weight	Kg/km	1.310	2.630

GENERAL CHARACTERISTICS				
Min. bending radius		mm	14 x ø	
Current capacity	Air 30°C	A	229	584
	Ground 20°C		192	432
Nominal reactance		Ω/km	0,135	0,108
Nominal capacitance		µF/km	0,213	0,352
Voltage test		kVx5'	63	

Tratos Cavi S.p.A Sede legale - via Stadio, 2 - 52036 - Pieve Santo Stefano (AR) - Italy

Filiale - Strada XIII Zona Industriale, 57 - Catania (CT) - 95121 - Italy

tel. +39 0575 794.1 - fax +39 0575 794246 - e-mail info@tratos.it - www.tratos.eu

Cod.Fisc. e Reg. Imprese 00861640514 P.IVA 02328320516 CCIAA Arezzo REA n° 74421 Capitale Sociale € 12.612.304,20 i.v.

Società soggetta ad attività di direzione e controllo da parte di: Tratos Srl C.F. 01799580400 - Rea CCIA di Ar n. 100195/AR

Mod. A-66





GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

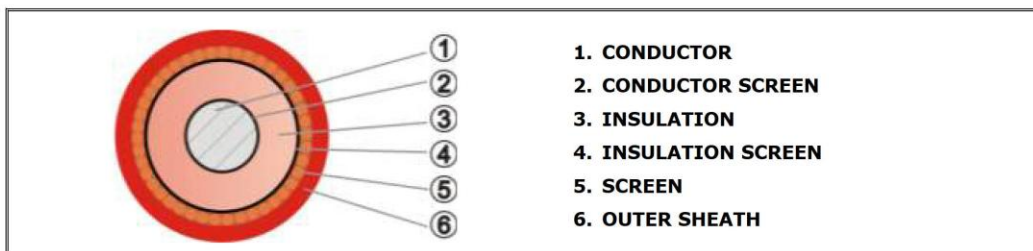
TECHNICAL SPECIFICATION



Codice/code ARG7H1R 12/20 kV 1X630	SP 066000	DOCUMENTO / DOCUMENT ARG7H1R 12-20 KV 1X630_rev0	DATA / DATE 27/01/2011	REV. 0
--	---------------------	--	----------------------------------	--------

ARG7H1R 12/20 kV

DRAWING - COLOUR CODE AND MARKING



OUTER SHEATH COLOUR:

Red

NORMS OF REFERENCE:

- **ENEL DC 4382**

OUTER SHEATH MARKING:

Outside the cable must be placed an external marking as follow:

TRATOS + ARG7H1R 12/20 kV 1X630 + lot production + year of production + metrical marking

MECHANICAL & ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS



TRATOS CAVI® S.P.A. - FABBRICA DI CAVI ELETTRICI

Via Stadio, 2 - 52036 Pieve Santo Stefano (AR) ITALY
Cod.Fisc. e P.IVA 00861640514 - CCIAA Arezzo 74421
Tel. +39 0575 794 Fax +39 0575 798026

Società soggetta ad attività di direzione e controllo da parte di: Alma Srl - C.F. 01799580400 - Rea CCIA di Ar n. 100195/AR





GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.
Doc. : **CAMPI
ELETTRICITÀ**

Rev. : **00**

TECHNICAL SPECIFICATION



Codice/code ARG7H1R 12/20 kV 1X630	SP 066000	DOCUMENTO / DOCUMENT ARG7H1R 12-20 KV 1X630_rev0	DATA / DATE 27/01/2011	REV. 0
--	---------------------	--	----------------------------------	--------

U.M.

CONDUCTOR		
Material		Stranded aluminium (Cl. 2)
Nominal cross section	mm ²	1X630
Nominal diameter	mm	29,8
Max. resistance at 20°C	Ω/km	0,0469
CONDUCTOR SCREEN		
Material		Semiconductor layer
Colour		Black
INSULATION		
Material		HEPR
Colour		Natural
Nominal thickness	mm	5,5
INSULATION SCREEN		
Material		Semiconductor layer strippable
Colour		Black
SCREEN		
Type		Plain copper wires
Nominal cross section	mm ²	6
Max. resistance at 20°C	Ω/km	3
OUTER SHEATH		
Material		PVC
Nominal thickness	mm	2,5
Nominal outer diameter	mm	49,4
Nominal weight	Kg/km	3.410

U.M.

GENERAL CHARACTERISTICS		
Minimum bending radius	mm	14 x Ø

ELECTRICAL CHARACTERISTICS			
Current capacity in air	A	Flat touching	985
		1Trefoil	895
		2Trefoil	805
		14refoil	760
Short circuit current	kAx0,5"	82,0	
Nom. reactance	Ω/km	0,100	




TRATOS CAVI® S.P.A. - FABBRICA DI CAVI ELETTRICI

Via Stadio, 2 - 52036 Pieve Santo Stefano (AR) - ITALY
Cod.Fisc. e P.IVA 00861640514 - CCIAA Arezzo 74421
Tel. +39 0575 794 Fax +39 0575 798026

Società soggetta ad attività di direzione e controllo da parte di: Alma Srl - C.F. 01799580400 - Rea CCIA di Ar n. 100195/AR



 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

La sezione minima di 185 mm² è utilizzata principalmente all'interno del parco fotovoltaico, dove le potenze trasportate sono legate al numero gruppi di conversione collegati a monte delle linee. In generale, per queste piccole sezioni, si può affermare (vedasi successiva Scheda 4) che già al livello del suolo ed in corrispondenza della verticale del cavo si determina una induzione magnetica inferiore a 3 µT e che pertanto non è necessario stabilire una fascia di rispetto (art. 3.2 DM 29/05/08, art. 7.1.1 CEI 106-11).



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

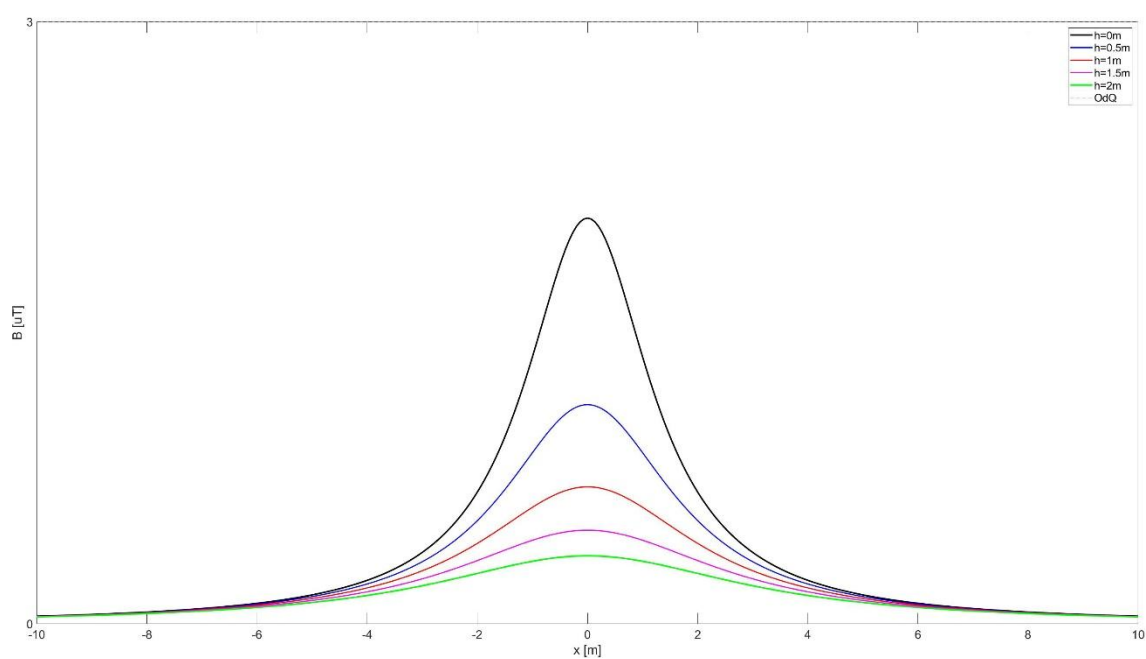
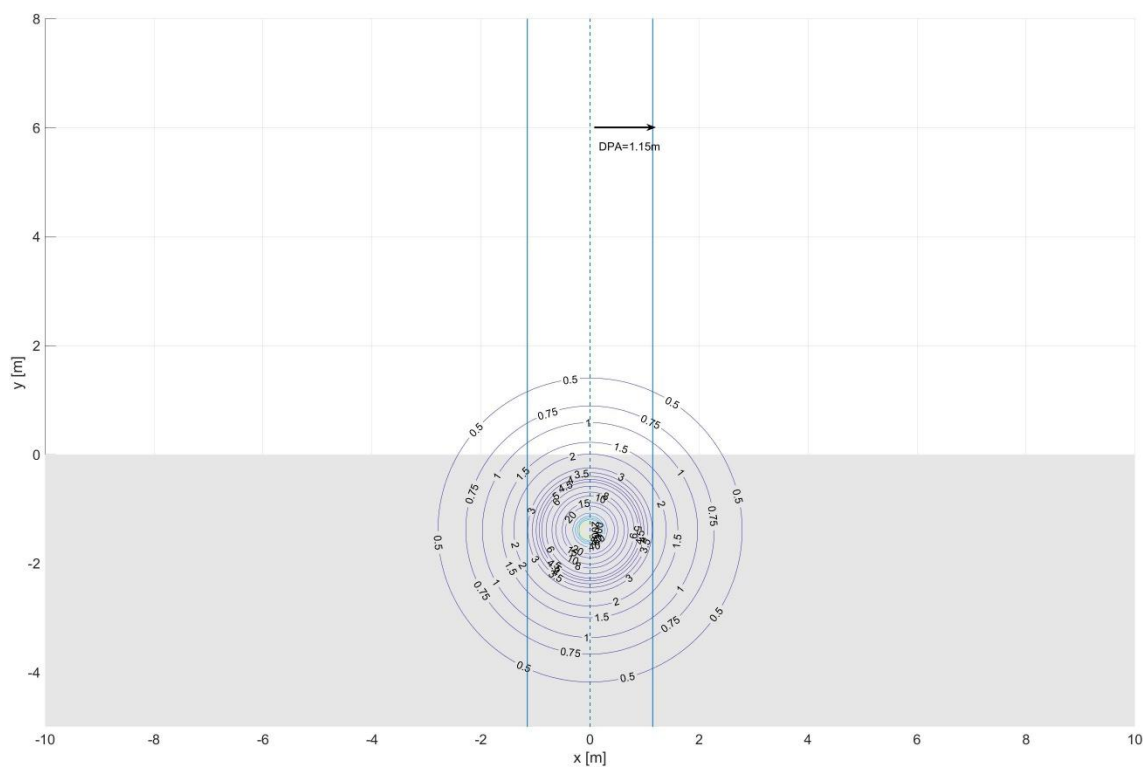
REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

**SCHEDA 4: CAVO MV 36kV INTERRATO A TRIFOGLIO - $h=1,4$
FOMAZIONE 3(1x185) mm²
DPA = 1.15 m**





GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Distanza x dall'asse della linea interrata [m]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
B [μ T]	0	0,5	1	1,5	2
10					
9					
8					
7					
6					
5					
4					
3					
2	0,143				
1	1,402	0,573			

Campo B [μ T]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
x [m]	0	0,5	1	1,5	2
1	1,331	0,853	0,581	0,417	0,312
2	0,657	0,515	0,401	0,315	0,251
3	0,356	0,310	0,265	0,224	0,190
4	0,217	0,199	0,179	0,160	0,142
5	0,145	0,136	0,127	0,117	0,107
6	0,103	0,098	0,093	0,088	0,082
7	0,076	0,074	0,071	0,068	0,064
8	0,059	0,058	0,056	0,054	0,052
9	0,047	0,046	0,045	0,044	0,042
10	0,038	0,038	0,037	0,036	0,035

Non è possibile affermare lo stesso per il tratto di collegamento tra il Parco Fotovoltaico e la stazione di trasformazione MT/AT, costituito da un cavidotto più articolato, con sezioni in parallelo del 300 mm² ovvero del 630 mm².

Si sono redatte le seguenti scede di analisi



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

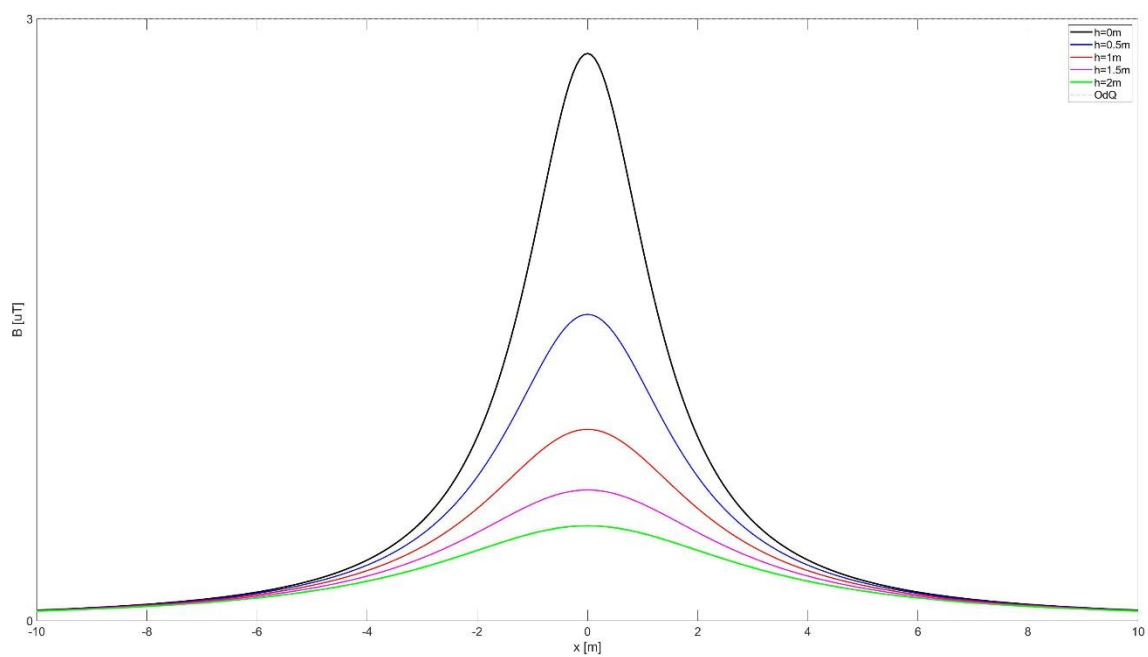
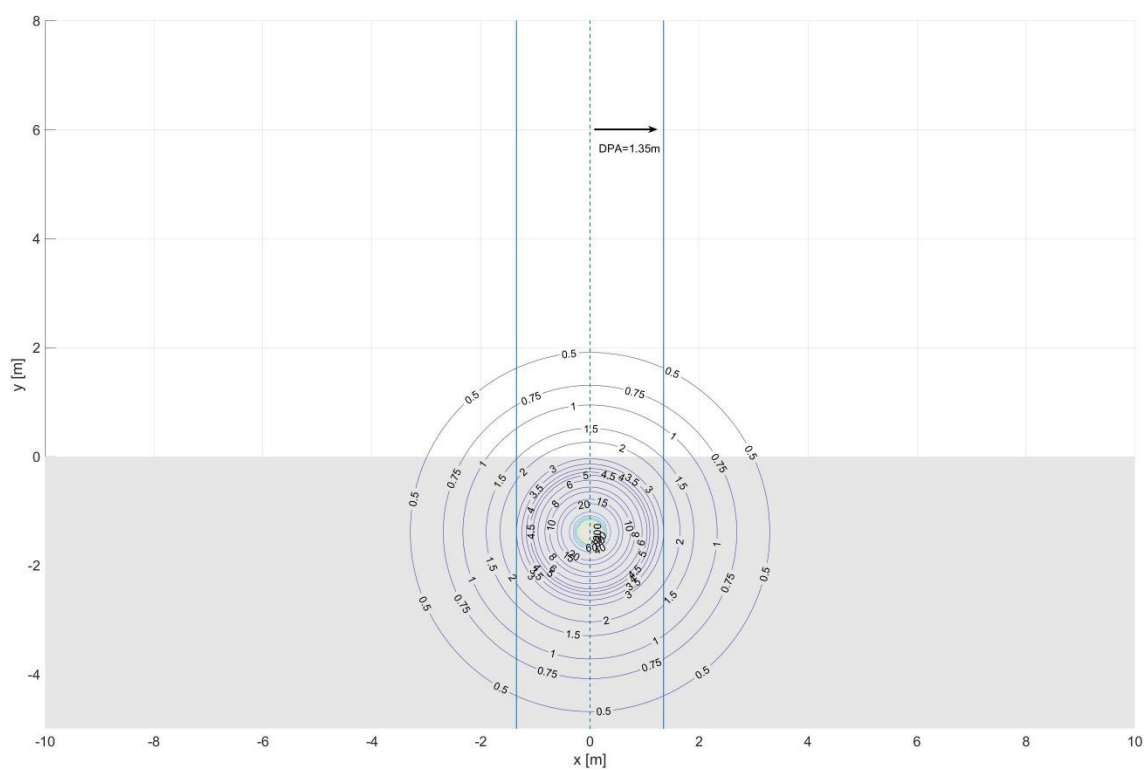
REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

SCHEDA 5: CAVO MV 36kV INTERRATO A TRIFOGLIO - h=1,4
FOMAZIONE 3(1x300) mm²
DPA = 1.35 m





GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Distanza x dall'asse della linea interrata [m]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
B [μ T]	0	0,5	1	1,5	2
10					
9					
8					
7					
6					
5					
4					
3					
2	0,892				
1	1,874	1,370			

Campo B [μ T]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
x [m]	0	0,5	1	1,5	2
1	1,860	1,192	0,812	0,582	0,436
2	0,918	0,719	0,561	0,441	0,351
3	0,498	0,433	0,370	0,314	0,265
4	0,303	0,278	0,250	0,223	0,198
5	0,202	0,190	0,177	0,163	0,149
6	0,143	0,137	0,130	0,123	0,114
7	0,107	0,103	0,099	0,095	0,090
8	0,082	0,080	0,078	0,075	0,072
9	0,066	0,064	0,063	0,061	0,059
10	0,053	0,052	0,051	0,050	0,049



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

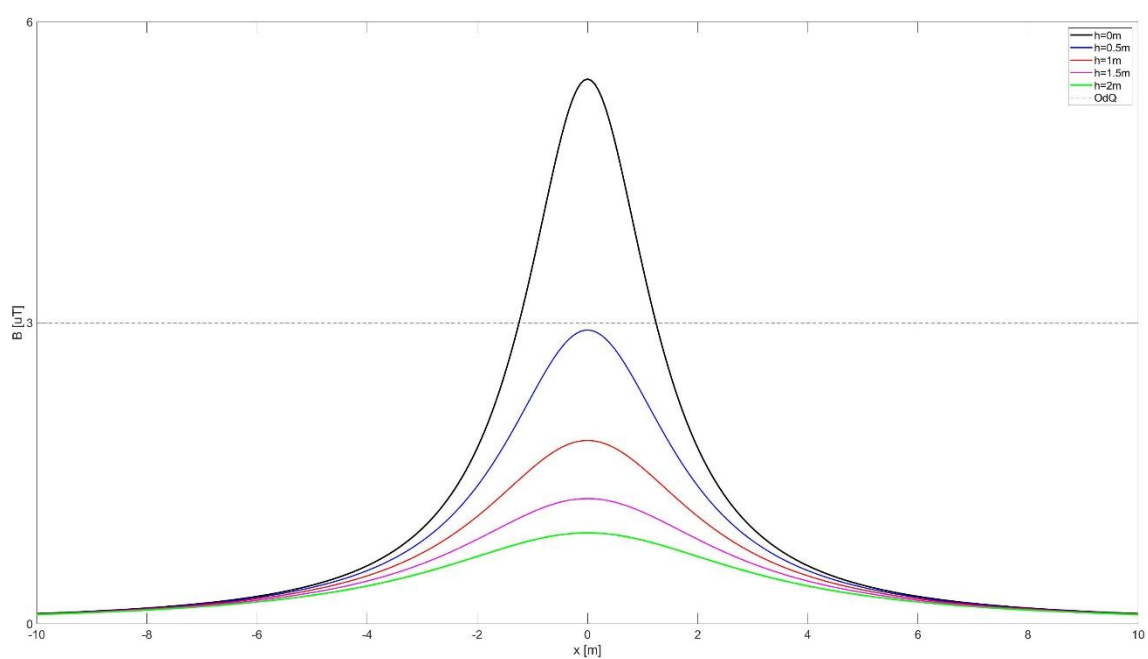
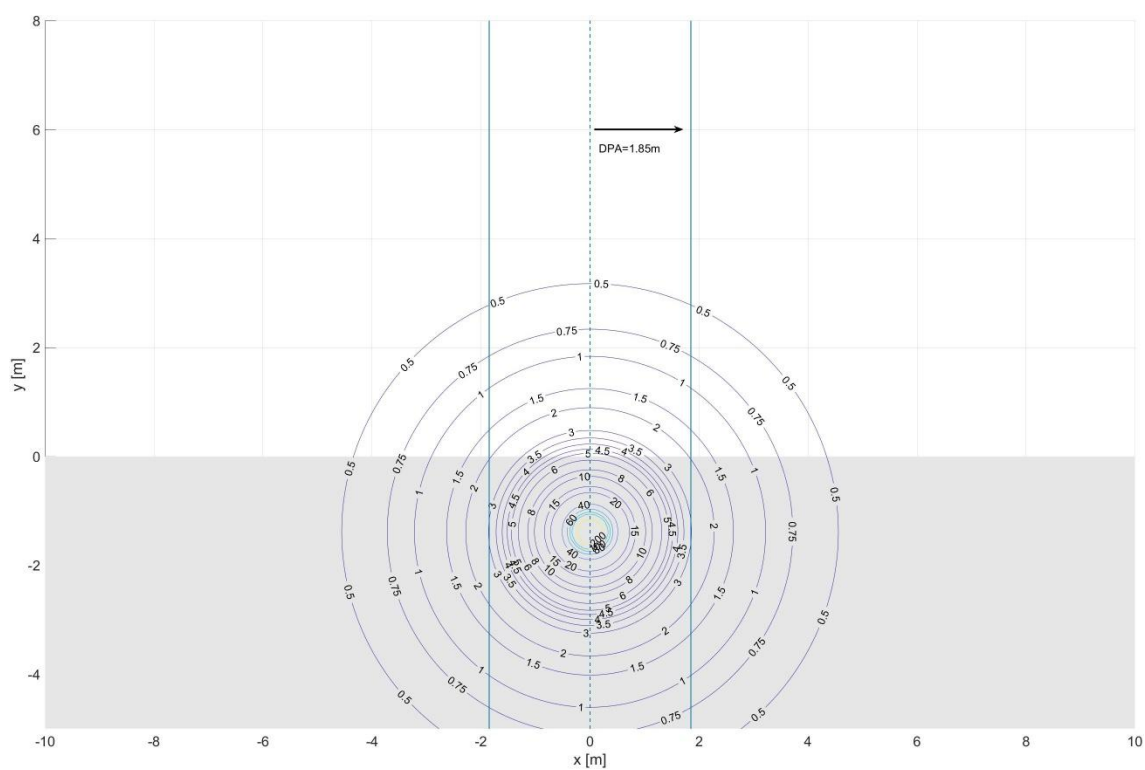
REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

SCHEDA 6: CAVO MV 36KV INTERRATO A TRIFOGLIO - h=1,4
FOMAZIONE 3(1x630) mm²
DPA = 1.85 m





GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Distanza x dall'asse della linea interrata [m]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
B [μ T]	0	0,5	1	1,5	2
10					
9					
8					
7					
6					
5	0,405				
4	0,826				
3	1,244				
2	1,810	1,282			
1	2,910	2,614	2,168	1,438	

Campo B [μ T]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
x [m]	0	0,5	1	1,5	2
1	3,564	2,284	1,554	1,115	0,834
2	1,755	1,375	1,072	0,843	0,672
3	0,951	0,827	0,707	0,599	0,508
4	0,579	0,531	0,479	0,427	0,378
5	0,386	0,364	0,338	0,312	0,285
6	0,274	0,262	0,249	0,234	0,219
7	0,204	0,197	0,190	0,181	0,172
8	0,157	0,154	0,149	0,143	0,138
9	0,125	0,123	0,120	0,116	0,112
10	0,102	0,100	0,098	0,096	0,093



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

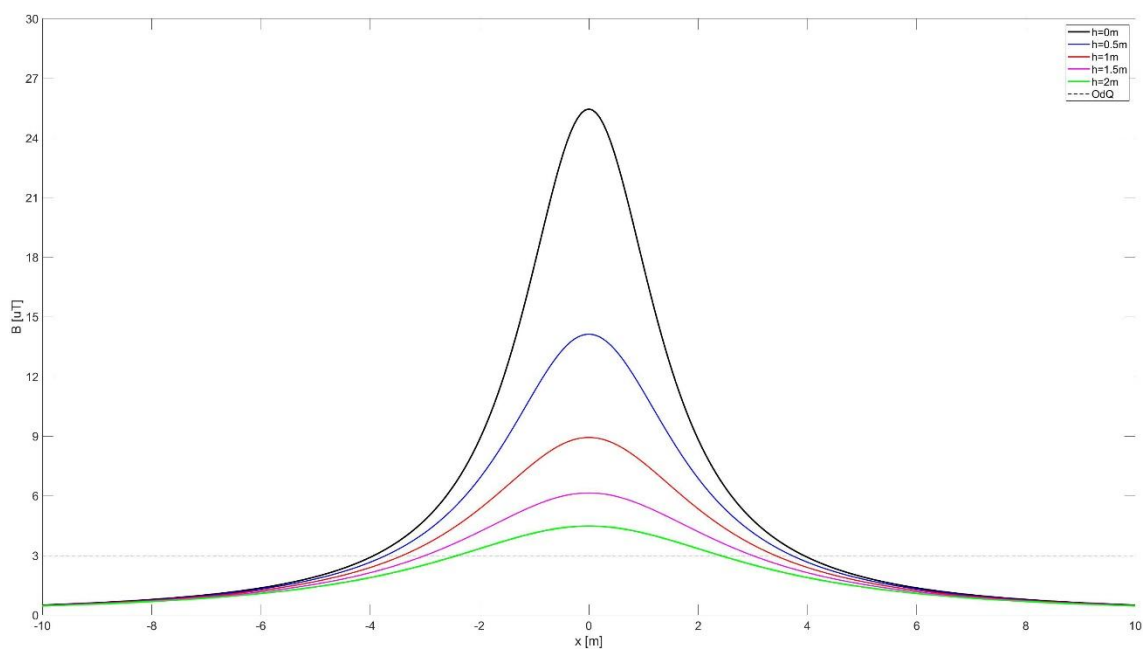
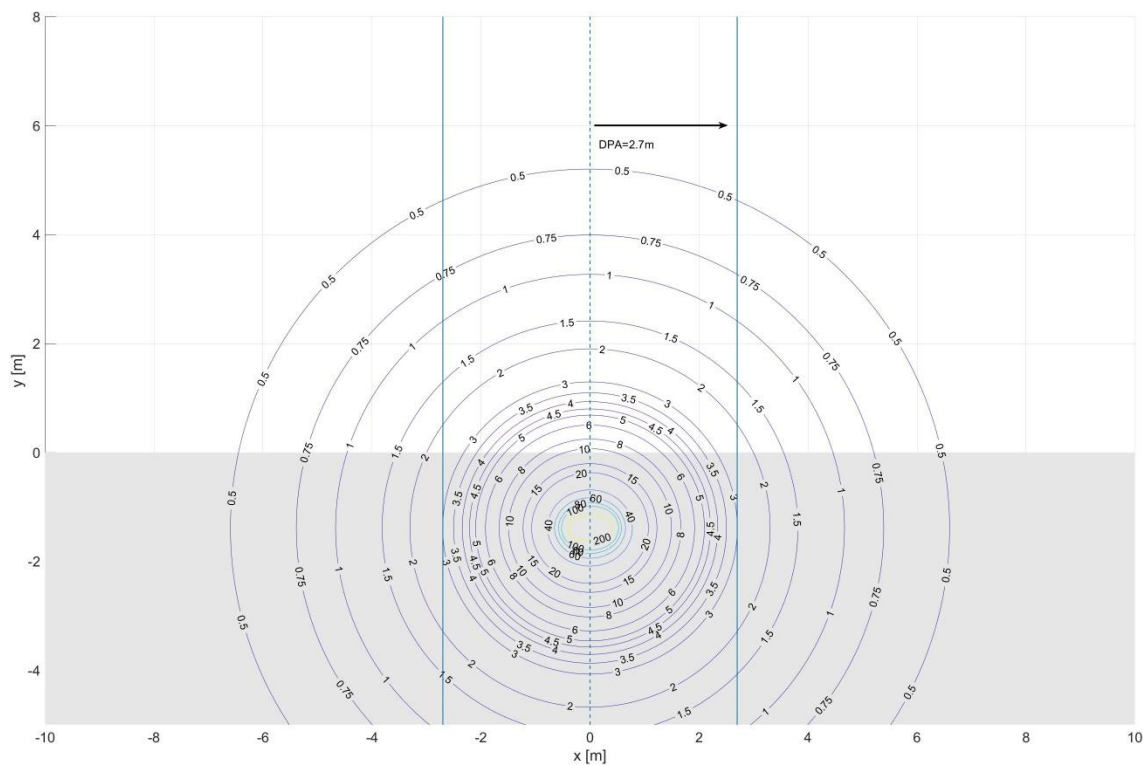
REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

SCHEDA 7: CAVO MV 36kV INTERRATO A TRIFOGLIO - $h=1,4$
FOMAZIONE $4[3(1 \times 300)] \text{ mm}^2$
DPA = 2.70 m





GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

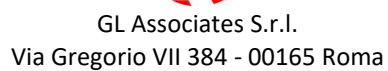
Rev. : **00**

Distanza x dall'asse della linea interrata [m]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
B [μ T]	0	0,5	1	1,5	2
10	0,457				
9	0,678				
8	0,879				
7	1,082				
6	1,303	0,102			
5	1,560	0,868			
4	1,878	1,364			
3	2,313	1,921	1,233		
2	2,997	2,707	2,274	1,584	
1	4,456	4,268	4,008	3,663	3,204

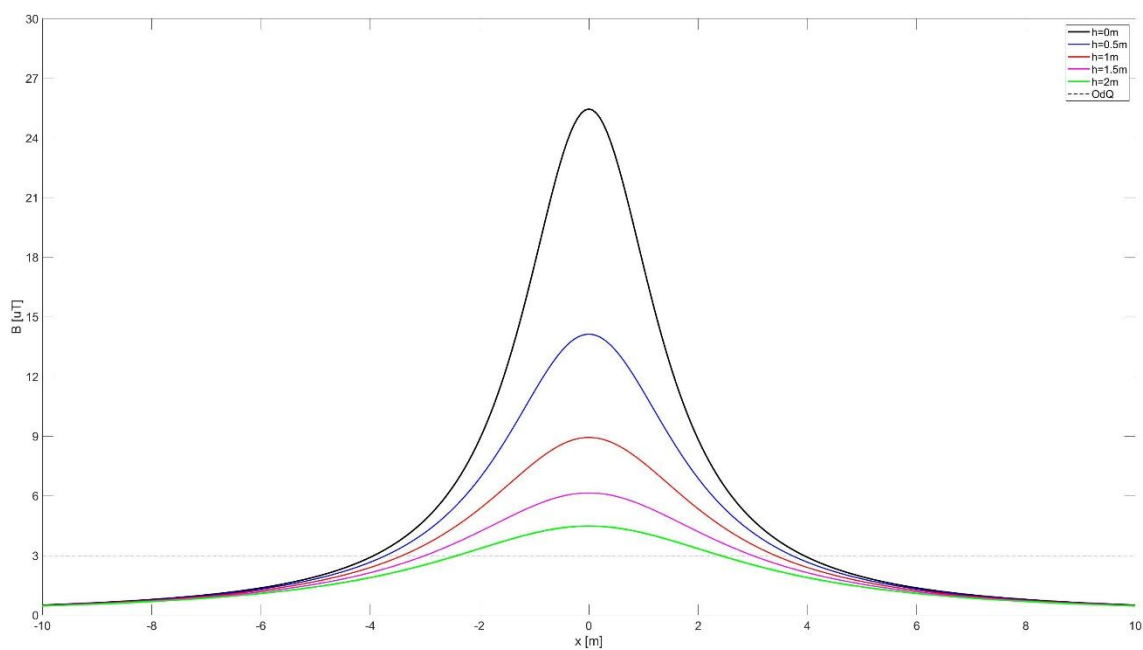
Campo B [μ T]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
x [m]	0	0,5	1	1,5	2
1	7,396	4,737	3,229	2,319	1,737
2	3,682	2,877	2,240	1,760	1,403
3	1,996	1,734	1,480	1,254	1,062
4	1,216	1,113	1,003	0,894	0,792
5	0,809	0,762	0,709	0,653	0,596
6	0,574	0,550	0,522	0,491	0,458
7	0,427	0,414	0,398	0,379	0,360
8	0,330	0,322	0,312	0,301	0,288
9	0,262	0,257	0,251	0,243	0,235
10	0,213	0,210	0,206	0,201	0,195



Del 17/04/2025

Rev. : 00





GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI


Rev. : **00**

Distanza x dall'asse della linea interrata [m]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
B [μ T]	0	0,5	1	1,5	2
10	1,465	0,662			
9	1,615	0,952			
8	1,783	1,219			
7	1,978	1,493	0,160		
6	2,211	1,792	1,009		
5	2,501	2,140	1,549		
4	2,880	2,575	2,111	1,332	
3	3,419	3,167	2,805	2,279	1,421
2	4,298	4,101	3,829	3,465	2,974
1	6,229	6,095	5,917	5,689	5,405

Campo B [μ T]

	Altezza h dal piano di campagna [m]				
x [m]	0	0,5	1	1,5	2
1	17,569	11,240	7,668	5,514	4,135
2	8,842	6,883	5,349	4,199	3,346
3	4,791	4,154	3,542	2,998	2,536
4	2,913	2,665	2,400	2,138	1,892
5	1,936	1,824	1,696	1,560	1,425
6	1,373	1,315	1,248	1,173	1,095
7	1,021	0,989	0,951	0,907	0,859
8	0,789	0,769	0,746	0,718	0,688
9	0,627	0,614	0,599	0,582	0,562
10	0,510	0,502	0,491	0,479	0,466

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

I risultati ottenuti mostrano che, in corrispondenza dell'asse del cavidotto nel tratto dove sono presenti le terne e nel caso di formazione di sezione maggiore, a livello del suolo si raggiunge il valore massimo di induzione magnetica pari a circa 20 μ T, e che i valori si riducono al di sotto del valore di qualità di 3 μ T ad una distanza di circa 2,5 m dall'asse.

Utilizzando sistemi di mitigazione come successivamente illustrato, i valori di induzione magnetica rimangono al di sotto del valore di qualità di 3 μ T ad una distanza dall'asse di posa del cavidotto ben inferiore a quella calcolata.

3.4 **Stazione di trasformazione MT/AT**

L'architettura della stazione di trasformazione è conforme ai moderni standard di stazioni AT, sia per quanto riguarda le apparecchiature sia per quanto concerne le geometrie dell'impianto.

La sottostazione prevede uno stallo per un trasformatore 150/30 kV con potenza nominale 20 MVA e tre stalli per uscita in cavo a 150 kV.

Così come espresso all'art. 5.2.2 "Stazioni primarie" del DM 29/05/08, si può concludere che le fasce di rispetto di questa tipologia di impianti rientrano nei confini dell'area di pertinenza dei medesimi. Il campo elettromagnetico alla recinzione è sostanzialmente riconducibile ai valori generati dalle linee entranti.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

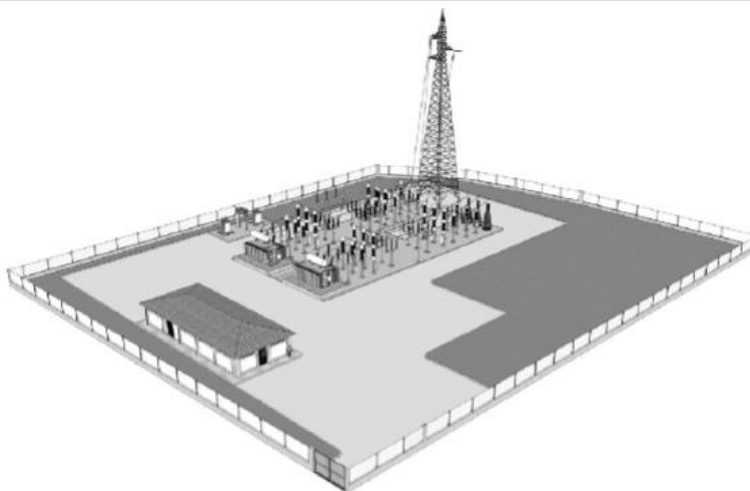
REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

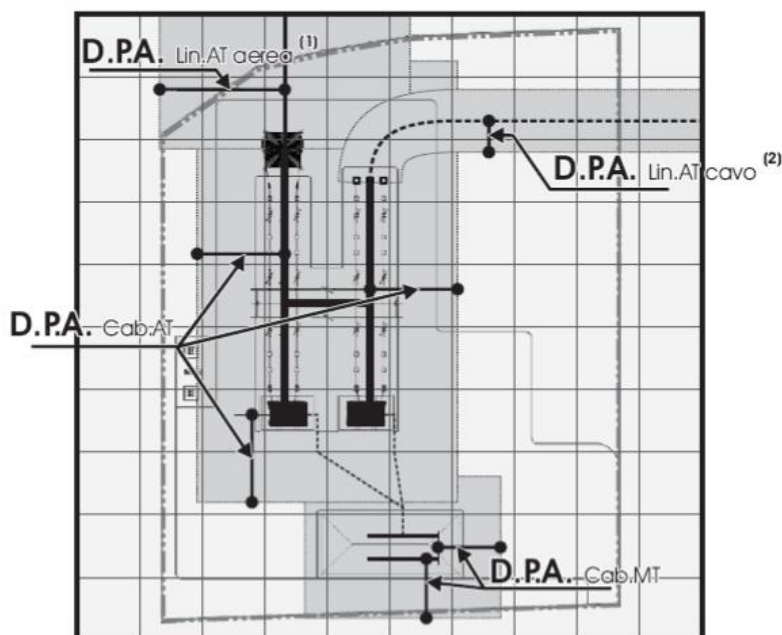
A16 - Cabina primaria isolata in aria (132/150-15/20 kV)




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

- ☐ $< 3\mu T$
- ☐ $> 3\mu T$

(1) Per la D.P.A. Linea AT aerea vedi schede da A1 a A8
(2) Per la D.P.A. Linea AT in cavo interrato vedi schede A14 e A15




Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						
	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	Riferimento
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

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. La isolina dei 3 μ T rimane sufficientemente all'interno dell'area della sottostazione.

È comunque facoltà dell'Autorità competente richiedere il calcolo, qualora lo ritenga opportuno, delle fasce di rispetto relativamente agli elementi perimetrali (es. portali, sbarre, ecc.).

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

4. CAMPO ELETTRICO

4.1 Cavidotti

Il campo elettrico generato dal cavidotto MT/AT ha valori minori di quelli imposti dalla legge. Questa affermazione deriva dalle seguenti considerazioni:

- i cavi utilizzati sono costituiti da un'anima in alluminio (il conduttore elettrico vero e proprio), da uno strato di isolante e semiconduttore, da uno schermo elettrico in rame, e da una guaina in PVC. Lo schermo elettrico in rame confina il campo elettrico generato nello spazio tra il conduttore e lo schermo stesso,
- il terreno ha un ulteriore effetto schermante,
- il campo elettrico generato da una installazione a 30 kV ovvero 150 kV è minore di quello generato da una linea, con conduttore non schermato (corda), a 400 kV, il quale è minore ai limiti imposti dalla legge.

Non si effettua quindi un'analisi puntuale del campo generato ritenendolo trascurabile.

4.2 Linee at e stazione MT/AT

Il campo elettrico prodotto da una linea è proporzionale alla tensione di linea. Considerando che per una linea di 400 kV si ottiene un valore 4 kV/m prossimo al limite di 5 kV/m, quello emesso dalla linea a 150 kV e dalle sbarre a 30 kV risulta essere molto minore dei limiti di emissione imposti dalla normativa. In particolare il valore tipico associato ad una linea a 150 kV è minore di 1 kV/m.

Per quanto concerne il campo elettrico nelle stazioni elettriche, i valori massimi si presentano in corrispondenza delle uscite delle linee AT con punte di circa 12 kV/m che si riducono a meno di 0,5 kV/m già a circa 20 m di distanza dalla proiezione dell'asse della linea.

Non si effettua quindi un'analisi puntuale del campo generato ritenendolo trascurabile.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

5. ANALISI DELLE TECNICHE DI MITIGAZIONE DEI CAMPI

Per quanto riguarda gli elettrodotti e gli apparati alimentati in corrente alternata a frequenza industriale, si parla di campi magnetici e di campi elettrici, considerando le due grandezze disgiunte l'una dall'altra, differentemente dalla situazione in alta frequenza in cui si opera con campi elettromagnetici (i.e., campi elettrici e magnetici interdipendenti).

Come è ben noto, e già più volte ricordato, l'intensità del campo elettrico (misurato in V/m o più usualmente in kV/m) cui si trova esposto un soggetto è direttamente proporzionale al potenziale (tensione o voltaggio) cui si trova il conduttore e inversamente proporzionale alla distanza, espressa in metri, cui si trova la persona, purché, nello spazio interposto tra la sorgente e il corpo non vi siano degli ostacoli (ad es. pareti di un fabbricato), che schermino parzialmente o totalmente il campo elettrico.

L'intensità del campo magnetico è direttamente proporzionale alla corrente che fluisce nel conduttore e decresce con la distanza che separa il conduttore dalla persona. Deve essere quindi chiaro ed evidente che non si hanno campi magnetici se non c'è circolazione di corrente: ad esempio un elettrodotto a 380 kV nel quale non circoli corrente, perché le linee, ad esempio, sono aperte ad un'estremità ma sia in tensione, non emette campi magnetici significativi!


Come già indicato in precedenza, per ridurre l'esposizione ai campi elettrico e magnetico è necessario in ambedue i casi allontanarsi il più possibile dalla sorgente ovvero attenuare l'entità della sorgente ovvero a parità di intensità interporre tra la persona o la cosa, un opportuno schermo. Esaminando in generale le tre alternative, si può osservare quanto segue:

1. Nel primo caso, cioè l'allontanamento dalla sorgente, il campo (elettrico e/o magnetico) si attenua con legge inversamente proporzionale alla distanza " R " dalla sorgente ma non è sempre detto che ciò sia possibile ovvero questa scelta potrebbe risultare molto onerosa, si pensi ad esempio ad una fascia di rispetto attorno ad un elettrodotto ed al corrispondente vincolo di utilizzo del territorio con tutti gli annessi e connessi. Pertanto, questa tecnica è utilizzabile esclusivamente per i campi magnetici prodotti dai conduttori all'interno di un fabbricato o alle apparecchiature (utensili od elettrodomestici) presenti nelle abitazioni.
2. La seconda tecnica è quella di utilizzare configurazioni geometriche appositamente studiate; ad esempio, in caso dei cavi si utilizza il *cavo ad elica visibile*.
3. L'uso di schermi è la strategia vincente e quella più immediata; per i campi elettrostatici l'interposizione di uno schermo è certamente idoneo a ridurre i kV/m cui risulta esposta una persona; per i campi magnetici la schermatura non è altrettanto semplice anche se efficace.
4. Infine, l'uso della schermatura attiva con linee di compensazione è un'ulteriore tecnica estremamente efficace, soprattutto nella riduzione locale del campo magnetico.

5.1 Sistemi di schermatura

La schermatura del campo prodotto da una linea, aerea od in cavo, può essere di tipo passivo o attivo.

La schermatura passiva è più tradizionale e sicuramente più affidabile dell'altra che, fino ad oggi, non ha trovato ancora largo impiego, anche se, nei casi molto particolari in cui è stata applicata, ha prodotto l'attenuazione del campo magnetico.

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

5.1.1 Schermatura passiva.

Nel caso di elettrodotto la schermatura passiva consiste nell'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti prodotte dall'accoppiamento magnetico con il campo generato dalle linee aeree e quindi necessariamente antagonista.

L'intensità e la fase della corrente di schermo dipendono, a parità di f.e.m. indotta, dalla reattanza della spira, eventualmente compensata da una capacità e dalla resistenza della spira stessa. Il campo generato da questa spira passiva tende a ridurre il campo magnetico al suolo. Questa soluzione ovviamente presenta un pessimo impatto paesistico e soprattutto può trovare applicazione in tratti di linea molto limitati, laddove la presenza di edifici lo richieda, ma non può essere generalizzata lungo tutto il percorso dell'elettrodotto.

Nel caso di cavidotto la schermatura può essere effettuata mediante una piastra conduttrice posta al di sopra dei cavi, ovvero da un cilindro metallico, meglio se in ferro, all'interno del quale vanno posti i cavi

5.1.2 Schermatura attiva.


In linea di principio, la schermatura attiva si può realizzare in tre modi:

1. Utilizzo di conduttori aggiuntivi, oltre i tre di fase, percorsi da correnti di opportuno valore e fase, in modo che il campo magnetico in una zona precisa e ben circoscritta possa risultare attenuato fino ad un valore di soglia prefissato.
2. Utilizzo di conduttori attivi, cioè gli stessi conduttori che portano la potenza, opportunamente frazionati e disposti spazialmente in modo da compensare parzialmente il campo da essi prodotto.
3. Una soluzione più generale rispetto alla precedente - caso 2) – è la linea “split-phase”, cioè una linea trifase con una o più fasi suddivise in due o più conduttori. Rispetto ad una linea trifase tradizionale, il campo magnetico prodotto da una “split-phase” è considerevolmente più basso, ma si può produrre un innalzamento del livello del rumore acustico per effetto corona nelle linee aeree.

C'è da tenere ben presente che le due metodiche di schermatura, passiva ed attiva mediante circuiti monofasi aggiuntivi, sono atte a ridurre il campo magnetico associato all'elettrodotto, ma sono soluzioni valide per tratti limitati (500 – 1000 m) in corrispondenza di insediamenti degni di particolare attenzione: non avrebbero senso nella totalità dell'estensione della linea, in quanto associata a ciascuna soluzione ci sono problematiche di gestione non semplici, che talvolta potrebbero vanificare parzialmente o del tutto lo sforzo messo in atto.

5.1.3 Schermatura ibrida.

La schermatura ibrida prevede l'impiego simultaneo delle due tecniche di schermatura di cui sopra (i.e., la schermatura attiva e quella passiva). Questa tecnica produce risultati, in termini di mitigazione del campo magnetico, che sono decisamente superiori a quelli ottenibili mediante l'impiego della schermatura attiva o della schermatura passiva quando queste sono usate separatamente. Parimenti, risulta decisamente superiore la complessità sia della realizzazione che, ancor prima, della progettazione ottimizzata (rispetto al raggiungimento di prefissati limiti di campo in delimitate aree prossimali alla sorgente). Un tipico esempio di impiego di questa tecnica può

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

essere quello finalizzato alla mitigazione del campo magnetico prodotto dalle linee in cavo uscenti da una cabina di trasformazione MT/BT. Tipicamente queste linee sono a ridosso di ambiente dove è alta la permanenza di persone (abitazioni e/o uffici), per di più, queste linee alimentano in genere un carico irregolare (il campo è pertanto prevedibilmente superiore a quello che si può calcolare sotto l'ipotesi semplificativa di carico regolare, e conseguentemente correnti equilibrate). È quindi necessaria una particolare cura nella mitigazione del campo magnetico, sia per i severi vincoli normativi imposti, sia per la complessità della valutazione del campo prodotto dalla sorgente. Il problema può essere adeguatamente risolto mediante l'adozione di un loop attivo (energizzato in funzione del campo istantaneo da cancellare) coadiuvato da uno schermo passivo (che in questo caso può anche essere di dimensioni alquanto ridotte): il loop abbate, per quanto possibile, il campo generato dalla sorgente, la parte residuale è attenuata dallo schermo, ottenendo così valori di campo ben al disotto dei limiti imposti dalla legge.

5.2 Esempio di configurazioni delle linee in cavo

A titolo di esempio, il modello di simulazione FEM è stato applicato ad una linea in cavo a 150 kV.

Le tipiche configurazioni di posa delle linee in cavo a 150 kV consistono in uno scavo (trincea) di dimensioni standard e nel quale vengono posti, usualmente in configurazione piana, tre cavi unipolari. Nelle aree urbane, i cavi sono posati direttamente sul terreno sul fondo della trincea. Questi vengono coperti con tegole protettive per segnalare la loro presenza in caso di successivi scavi. Quindi, la trincea viene ricoperta con terreno vegetale e alla fine chiusa con uno strato di binder. Spesso, nelle aree rurali, i cavi elettrici vengono posti all'interno di un cavidotto posato sul fondo della trincea. Quindi la trincea viene riempita con terra di riporto.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.
Doc. : **CAMPI**
ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

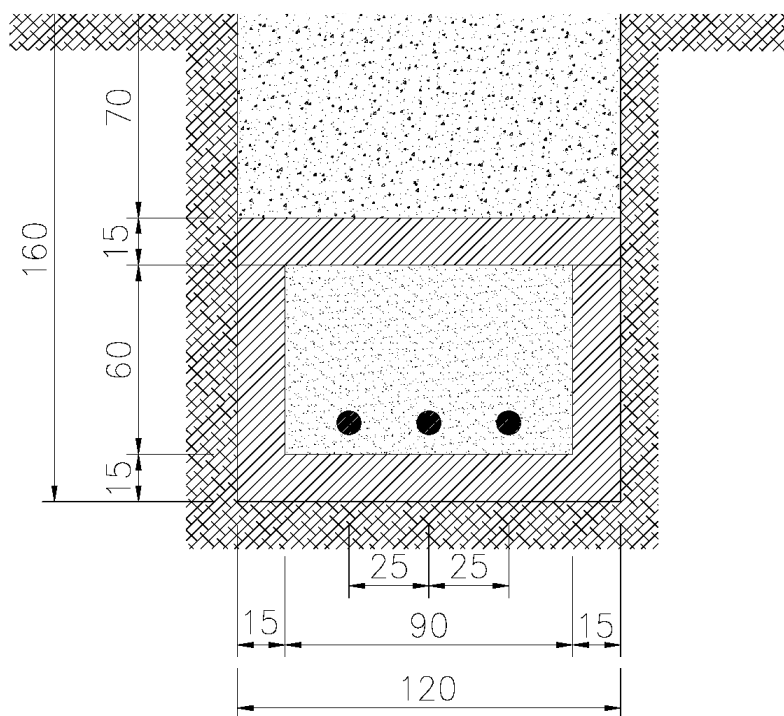
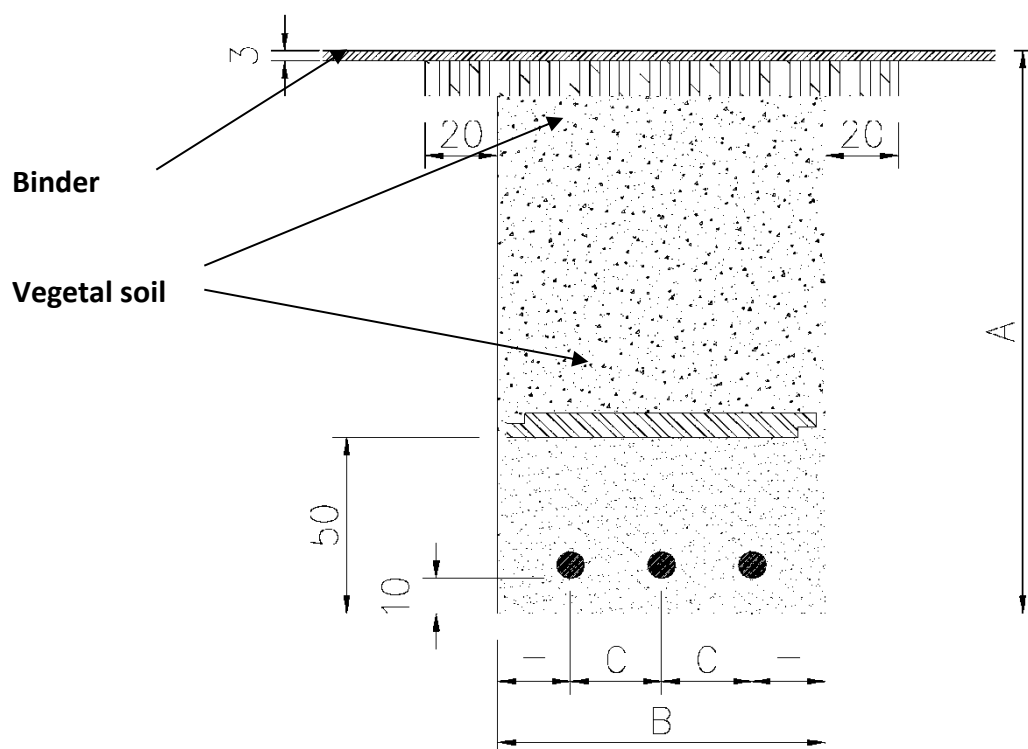


Figura 15 - Vista schematica della sezione trasversale di due tipiche configurazioni di posa: a) in aree urbane; b) in aree rurali.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

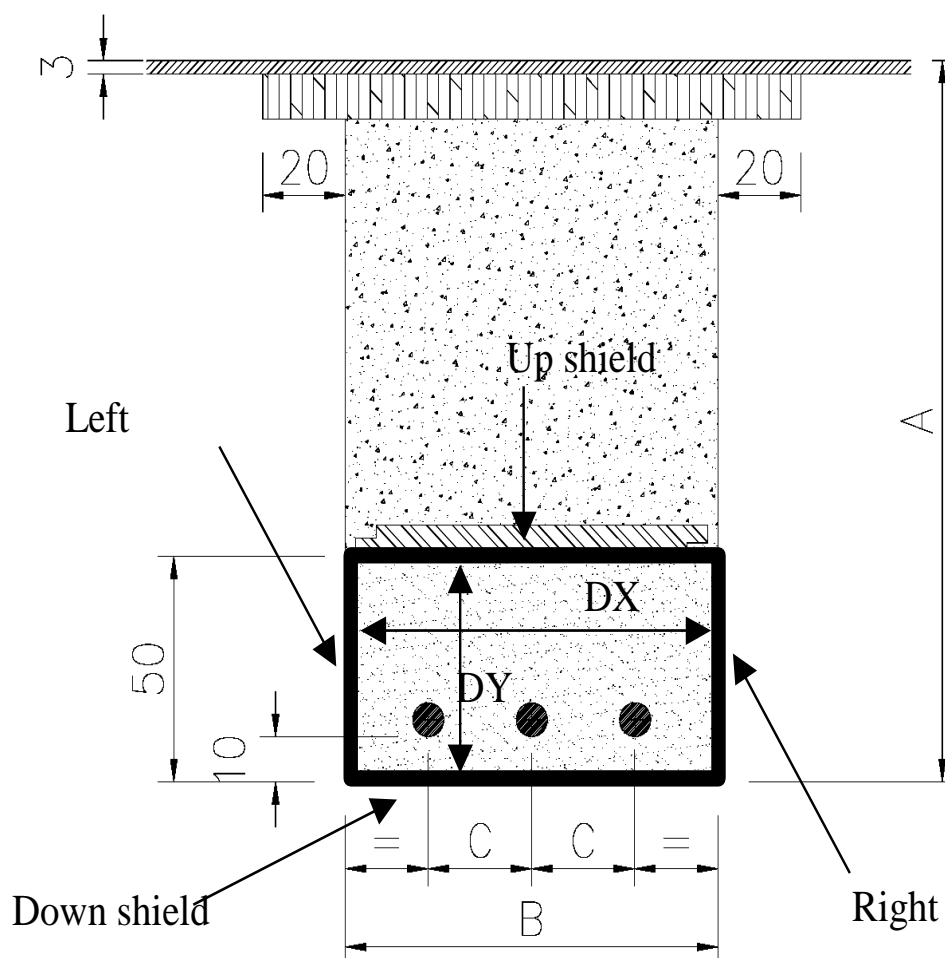
REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI


Rev. : **00**

La configurazione geometrica degli schermi piani utilizzati nell'analisi parametrica è mostrata in Figura 16.



Configurazione	A	B	C
T1	160 cm	90 cm	25 cm
T2	200 cm	90 cm	25 cm
T3	250 cm	100 cm	30 cm
T4	300 cm	100 cm	30 cm

Figura 16 - Cross section sketch of a 150 kV underground power cable line laid in urban areas: typical geometrical configurations and planar shield arrangements.

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

In particolare sono state studiate le prestazioni delle seguenti configurazioni

- ALL all shields schermo rettangolare chiuso;
- UU up shield schermo piano superiore
- RR right shield schermo piano laterale destro
- LL left shield schermo piano laterale sinistro
- DD down shield schermo piano inferiore
- ULR up, left and right shields schermo ad U rovesciata;
- DR down and right shields schermo piano ad L inversa (i.e., _|)

al variare della loro dimensioni (spessore e larghezze), e delle caratteristiche dei materiali impiegati (alluminio, rame e ferro).

Tutte le simulazioni sono state effettuate riferendosi all'unica configurazione piana linea (perché di solito, per ragioni pratiche, viene scelta questa configurazione anche se il trifoglio sarebbe stata la soluzione migliore allo scopo di ridurre i livelli di campo magnetico nell'area sovrastante la linea in cavo).

Lo studio è stato condotto avvalendosi di un modello 2D di simulazione, i.e., la linea che emette è stata ipotizzata di lunghezza infinita, sviluppato con il software commerciale HFSS-ANSYS e basato sul Finite Element Method (FEM). Gli schermi piani sono stati considerati aventi conduttività elettrica costante per tutti i materiali; mentre, la permeabilità magnetica è stata considerata uguale a μ_0 per gli schermi di alluminio e per quelli di rame, e variabile, secondo la curva B-H di prima magnetizzazione per gli schermi di ferro.

Tutte le simulazioni sono state effettuate prendendo in considerazione sia l'effetto pelle e che di prossimità, nonché il comportamento non lineare degli schermi di ferro.

Allo scopo di confrontare le prestazioni schermanti delle diverse configurazioni e dei diversi materiali, è stato calcolato il profilo laterale del flusso di induzione magnetica in due condizioni, i.e., senza lo schermo (B_{\max}^{inc}) e con lo schermo (B_{\max}^{sh}), quindi è stata calcolata l'efficienza schermate (SE, Shielding effectiveness) così definita

$$SE = 20 \log_{10} \left(\frac{B_{\max}^{inc}}{B_{\max}^{sh}} \right) \quad (0.5)$$

I risultati numerici ottenuti sono stati riassunti nelle tabelle 1 e successive, dove è riportata la SE calcolata al variare della configurazione geometrica e delle caratteristiche fisiche degli schermi, nonché della corrente d'impiego della linea a150 kV.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

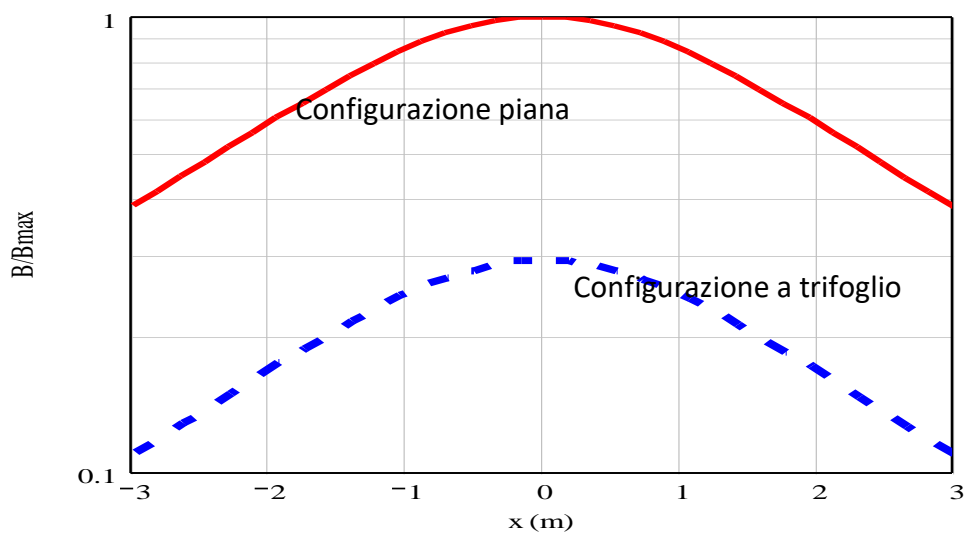


Figura 17 - Lateral profile of the magnetic flux density (in p.u.) generated by: the flat configuration (continuous line) or the trefoil configuration (broken line).

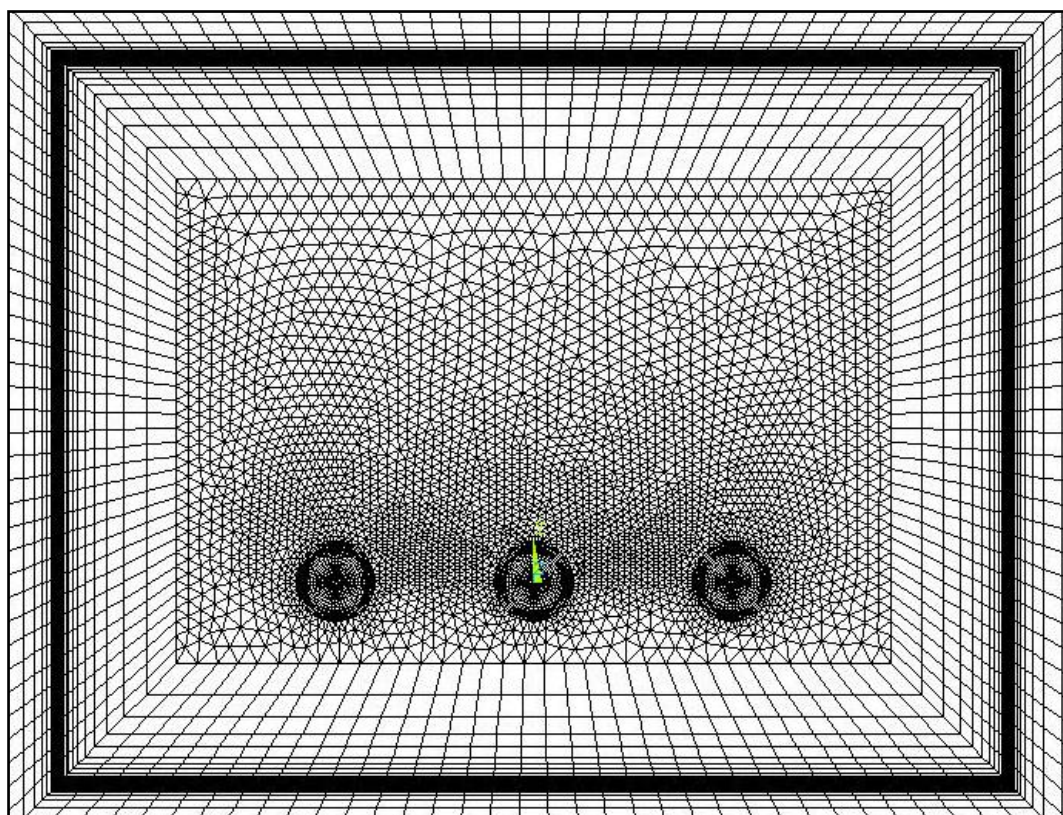


Figura 18 - Particolare della mesh generata mediante ANSYS nella regione circostante i conduttori ed in prossimità degli schermi piani.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Rame (conduttori/schermi)	$\sigma_{Cu} = 5.56 \cdot 10^7 \text{ 1}/\Omega\text{m}$	$\mu_r = 1$
Alluminio (schermi)	$\sigma_{Al} = 3.85 \cdot 10^7 \text{ 1}/\Omega\text{m}$	$\mu_r = 1$
Ferro (schermi)	$\sigma_{Fe} = 0.75 \cdot 10^7 \text{ 1}/\Omega\text{m}$	BH curve
Rame (conduttori/schermi)	$\sigma_{Cu} = 5.56 \cdot 10^7 \text{ 1}/\Omega\text{m}$	$\mu_r = 1$
Alluminio (schermi)	$\sigma_{Al} = 3.85 \cdot 10^7 \text{ 1}/\Omega\text{m}$	$\mu_r = 1$
Ferro (schermi)	$\sigma_{Fe} = 0.75 \cdot 10^7 \text{ 1}/\Omega\text{m}$	BH curve

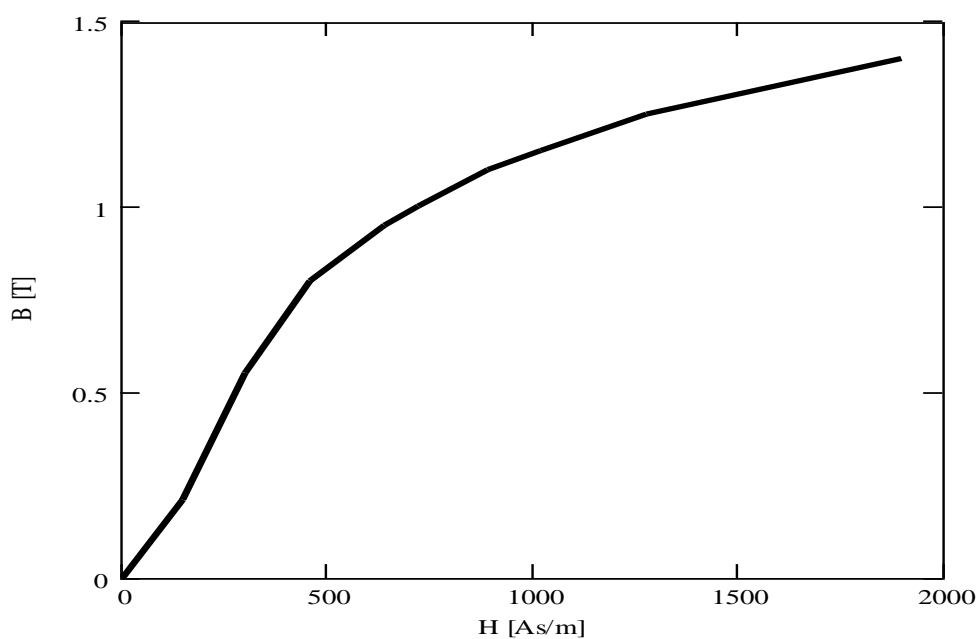


Figura 19 - Tipica curva di magnetizzazione B-H di un “ferro” commerciale usato per realizzare lo schermo.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

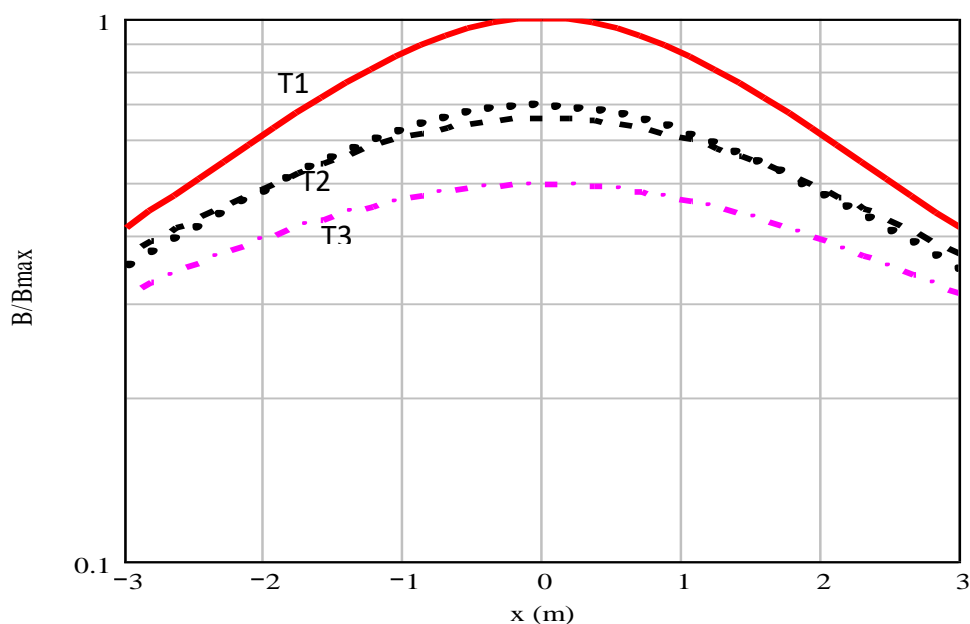


Figura 20 - Profilo laterale del flusso di induzione magnetica (in p.u.) generato da linee in cavo aventi tipiche configurazioni geometriche (i.e., T1, T2, T3 and T4 in Figura 16).

Tabella 1 – Risultati numerici

Shape	Material	DX	DY	μ_r	Δ	B_{Max} (500 A)	SE
						$6,96 \cdot 10^{-6}$ T	
ALL	Fe	90 cm	50 cm	1000	6 mm	$6,15 \cdot 10^{-9}$ T	61,08
ALL	Fe	90 cm	50 cm	B-H curve	6 mm	$1,39 \cdot 10^{-8}$ T	54,01
ALL	Fe	90 cm	50 cm	500	6 mm	$4,94 \cdot 10^{-8}$ T	42,98
ALL	Cu	90 cm	50 cm	1	14 mm	$5,02 \cdot 10^{-8}$ T	42,84
ALL	Cu	90 cm	50 cm	1	10 mm	$7,62 \cdot 10^{-8}$ T	39,21
ALL	Al	90 cm	50 cm	1	14 mm	$7,65 \cdot 10^{-8}$ T	39,18
ALL	Al	90 cm	50 cm	1	10 mm	$1,12 \cdot 10^{-7}$ T	35,85
ALL	Cu	90 cm	50 cm	1	6 mm	$1,32 \cdot 10^{-7}$ T	34,44
ALL	Al	90 cm	50 cm	1	6 mm	$1,93 \cdot 10^{-7}$ T	31,13
ALL	Cu	90 cm	50 cm	1	2 mm	$4,24 \cdot 10^{-7}$ T	24,31
ALL	Al	90 cm	50 cm	1	2 mm	$6,37 \cdot 10^{-7}$ T	20,77
ALL	Fe	90 cm	50 cm	1000	2 mm	$7,98 \cdot 10^{-7}$ T	18,82



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

ULR	Cu	90 cm	50 cm	1	6 mm	$8,08 \cdot 10^{-7} \text{ T}$	18,70
ULR	Al	90 cm	50 cm	1	6 mm	$8,51 \cdot 10^{-7} \text{ T}$	18,26
ALL	Fe	90 cm	50 cm	B-H curve	2 mm	$9,26 \cdot 10^{-7} \text{ T}$	17,52
DR	Cu	90 cm	50 cm	1	6 mm	$1,53 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	13,15
ALL	Fe	90 cm	50 cm	500	2 mm	$1,55 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	13,04
DR	Al	90 cm	50 cm	1	6 mm	$1,55 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	13,02
ULR	Fe	90 cm	50 cm	B-H curve	6 mm	$2,24 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	9,84
DD	Cu	90 cm		1	6 mm	$2,26 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	9,77
DD	Al	90 cm		1	6 mm	$2,30 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	9,62
UU	Cu	90 cm		1	6 mm	$4,51 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	3,78
UU	Al	90 cm		1	6 mm	$4,55 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	3,70
UU	Cu	90 cm		1	2 mm	$4,72 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	3,38
UU	Al	90 cm		1	2 mm	$4,87 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	3,11
UU	Fe	90 cm		500	6 mm	$6,06 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	1,21
UU	Fe	90 cm		500	2 mm	$6,13 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	1,11
UU	Fe	90 cm		B-H curve	6 mm	$6,18 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	1,03
UU	Fe	90 cm		1000	2 mm	$6,20 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	1,01
UU	Fe	90 cm		1000	6 mm	$6,23 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	0,97
UU	Fe	90 cm		1000	4 mm	$6,23 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	0,96

Tabella 2 – Risultati numerici

Shape	Material	DX	DY	μ_r	Δ	$B_{\text{Max}} (1000 \text{ A})$	SE
						$1,39 \cdot 10^{-5} \text{ T}$	
ALL	Fe	90 cm	50 cm	1000	6 mm	$1,23 \cdot 10^{-8} \text{ T}$	61,08
ALL	Fe	90 cm	50 cm	B-H curve	6 mm	$2,40 \cdot 10^{-8} \text{ T}$	55,27
ALL	Fe	90 cm	50 cm	500	6 mm	$9,88 \cdot 10^{-8} \text{ T}$	42,98
ALL	Cu	90 cm	50 cm	1	14 mm	$1,00 \cdot 10^{-7} \text{ T}$	42,84
ALL	Cu	90 cm	50 cm	1	10 mm	$1,52 \cdot 10^{-7} \text{ T}$	39,21
ALL	Al	90 cm	50 cm	1	14 mm	$1,53 \cdot 10^{-7} \text{ T}$	39,18
ALL	Al	90 cm	50 cm	1	10 mm	$2,25 \cdot 10^{-7} \text{ T}$	35,85



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.


Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

ALL	Cu	90 cm	50 cm	1	6 mm	$2,64 \cdot 10^{-7}$ T	34,44
ALL	Al	90 cm	50 cm	1	6 mm	$3,87 \cdot 10^{-7}$ T	31,13
ALL	Cu	90 cm	50 cm	1	2 mm	$8,48 \cdot 10^{-7}$ T	24,31
ALL	Al	90 cm	50 cm	1	2 mm	$1,27 \cdot 10^{-6}$ T	20,77
ALL	Fe	90 cm	50 cm	1000	2 mm	$1,60 \cdot 10^{-6}$ T	18,82
ULR	Cu	90 cm	50 cm	1	6 mm	$1,62 \cdot 10^{-6}$ T	18,70
ALL	Fe	90 cm	50 cm	B-H curve	2 mm	$1,64 \cdot 10^{-6}$ T	18,60
ULR	Cu	90 cm	50 cm	1	6 mm	$1,70 \cdot 10^{-6}$ T	18,26
DR	Cu	90 cm	50 cm	1	6 mm	$3,06 \cdot 10^{-6}$ T	13,15
ALL	Fe	90 cm	50 cm	500	2 mm	$3,10 \cdot 10^{-6}$ T	13,04
DR	Al	90 cm	50 cm	1	6 mm	$3,11 \cdot 10^{-6}$ T	13,02
DD	Cu	90 cm		1	6 mm	$4,52 \cdot 10^{-6}$ T	9,77
ULR	Fe	90 cm	50 cm	B-H curve	6 mm	$4,58 \cdot 10^{-6}$ T	9,67
DD	Al	90 cm		1	6 mm	$4,60 \cdot 10^{-6}$ T	9,62
UU	Cu	90 cm		1	6 mm	$9,01 \cdot 10^{-6}$ T	3,78
UU	Al	90 cm		1	6 mm	$9,09 \cdot 10^{-6}$ T	3,70
UU	Cu	90 cm		1	2 mm	$9,44 \cdot 10^{-6}$ T	3,38
UU	Al	90 cm		1	2 mm	$9,74 \cdot 10^{-6}$ T	3,11
UU	Fe	90 cm		500	6 mm	$1,21 \cdot 10^{-5}$ T	1,21
UU	Fe	90 cm		500	2 mm	$1,23 \cdot 10^{-5}$ T	1,11
UU	Fe	90 cm		1000	2 mm	$1,24 \cdot 10^{-5}$ T	1,01
UU	Fe	90 cm		B-H curve	6 mm	$1,24 \cdot 10^{-5}$ T	1,00
UU	Fe	90 cm		1000	6 mm	$1,25 \cdot 10^{-5}$ T	0,97
UU	Fe	90 cm		1000	4 mm	$1,25 \cdot 10^{-5}$ T	0,96

I materiali con un'alta conduttività elettrica (rame ed alluminio) o con un'alta permeabilità magnetica (ferro) attenuano il campo magnetico in bassa frequenza con meccanismi diversi: la cancellazione del flusso per correnti indotte nel primo caso, la deviazione del flusso nel secondo caso. Le prestazioni di questi materiali, e quindi dagli schermi con essi realizzati, sono pertanto molto variabili. Quest'aspetto è stato messo in rilievo grazie alle molte simulazioni fatte, e i risultati più importanti sono stati riassunti nella tabella 1 e 2.

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

Per gli schermi in alluminio e per quelli in rame, lo SE cresce notevolmente all'aumentare dello spessore da 2 mm a 6 mm; per valori più alti di spessore, lo SE cresce più lentamente. Alti valori dello SE possono essere ottenuti usando schermi chiusi in ferro aventi uno spessore pari a circa $\frac{1}{4}$ della profondità di penetrazione. Le prestazioni degli schermi in alluminio ed in rame sono migliori di quelle degli schermi in ferro.

Lo schermo in rame può essere vantaggiosamente impiegato al posto di quello in alluminio perché esso ha migliori prestazioni ed inoltre ha una buona capacità di resistenza alla corrosione.

È inoltre interessante osservare che, in accordo con i risultati disponibili in letteratura, lo SE dei materiali magnetici decresce all'aumentare di μ_r (e.g., quando questo valore cresce da 500 a 1000). Tuttavia, quando gli schermi in ferro sono modellati in accordo con la curva B-H, il loro comportamento è intermedio rispetto a quello constatato imponendo μ_r rispettivamente pari a 500 o a 1000.

I risultati delle simulazioni effettuate mostrano che alcune configurazioni di semplici schermi piani possono essere vantaggiosamente impiegati per ridurre i livelli di campo magnetico al disotto dei limiti di esposizioni fissati dalla legge.

Quando i valori della corrente sono più bassi di 500 A, potrebbe essere sufficiente, per ridurre il campo magnetico al di sotto del limite meno restrittivo di 10 μ T, l'installazione di un semplice schermo piano (e.g., di tipo UU con uno spessore di 2 mm) avente un'alta conduttività o una buona permeabilità magnetica. Invece, per valori di corrente superiori a 1000 A, un livello di campo inferiore a 10 μ T potrebbe essere ottenuto mediante schermi piani di alluminio, di rame o di ferro aventi configurazioni più complesse (e.g. ad u rovesciata).

Lo schermo rettangolare chiuso (realizzato mediante materiali ad alta conducibilità o ad alta permeabilità magnetica) avente uno spessore di 2 mm è invece adeguato per ottenere un'attenuazione del campo al disotto del limite di esposizione più restrittivo (i.e., di 3 μ T), anche per alti valori della corrente d'impiego.

5.3 Cavo ad elica visibile



Figura 21 – Cavo ad elica visibile



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

I conduttori avvolti ad elica vengono spesso utilizzati per il trasporto di energia in media tensione (MT) e bassa tensione (BT). Ad esempio è frequente il loro utilizzo per il trasporto di energia in uscita da cabine di trasformazione del gestore di rete, da cabine di trasformazione nei pressi di aerogeneratori facenti parte di un parco eolico e da moduli inverter ed eventuali trasformatori demandati all'emissione in rete di energia generata da grossi impianti fotovoltaici.

Il calcolo del campo di induzione magnetica nelle immediate vicinanze di cavi elicordati è una attività indispensabile sia per valutare l'impatto magnetico di terne interrate molto vicine a recettori sensibili, sia per calcolare la distanza di rispetto di un dato valore limite massimo ammissibile di induzione magnetica (ad esempio il valore di attenzione di $10 \mu\text{T}$ o l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$), sia quando la corrente che attraversa i cavi ha un valore relativamente basso e, quindi, genera un livello di induzione magnetica rilevante solo in zone vicine ai cavi.

Per il calcolo dell'induzione magnetica generata da una terna di conduttori avvolti ad elica non è possibile utilizzare la semplice trattazione basata sull'ipotesi di conduttori rettilinei e paralleli. Per questo calcolo esiste in bibliografia una formula approssimata utilizzabile a partire da una certa distanza dall'asse della terna di conduttori. Generalmente, già a distanze paragonabili al passo dell'elica, la formula approssimata fornisce una buona approssimazione, ed è infatti utilizzata spesso in queste condizioni. All'avvicinarsi ai conduttori del punto-campo la formula approssimata comporta invece errori sempre maggiori ed in tal caso è necessario rivolgersi alla formulazione esatta. La formula esatta fa uso delle funzioni di Bessel modificate del primo e secondo tipo e delle loro derivate in un iniziale sistema di riferimento con coordinate cilindriche.

Per il calcolo del campo B emesso da una terna di cavi avvolti ad elica, è possibile riferirsi agli studi di Mazzanti, Landini, Kandia e precedenti autori.

Con riferimento alla Figura 22, il campo B è calcolato come:

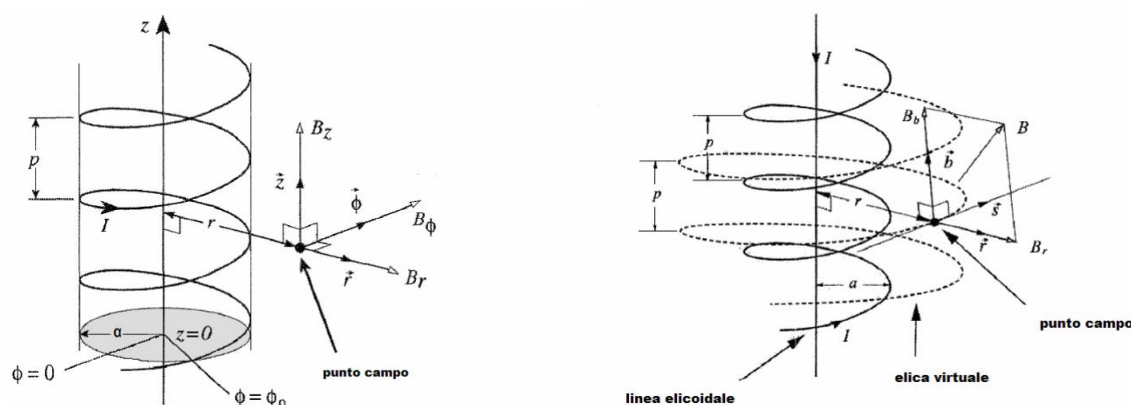



Figura 22 - Componenti del campo magnetico in coordinate cilindriche

 <p>GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma</p>	<p>Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN</p> <p>Del 17/04/2025</p>	<p>Account Code : E-002-RTD</p> <p>REL. TEC. SPEC.</p> <p>Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI</p> <p>Rev. : 00</p>
--	---	--

$$B = \frac{3}{2} B_0 \gamma^2 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} n m I'_n(n\eta) I'_m(m\eta) \left[(\mp(\pm)1)(\mp 1) K'_n(n\gamma) K'_m(m\gamma) + \frac{1+\gamma^2}{\gamma^2} K_n(n\gamma) K_m(m\gamma) \right] \cos[(\pm n \mp m)\Phi]$$

(0.6)

dove

p helix pitch [m]
 α helix radius [m]

$$k = \frac{2\pi}{p}$$

$$B_0 = \mu_0 \frac{I\alpha}{\pi r^2}$$

$I_n(z), K_n(z)$ Funzioni di Bessel modificate del primo e secondo tipo di ordine n

$I'_n(z), K'_n(z)$ Derivata prima delle funzioni di Bessel

$$\eta = k\alpha$$

$$\gamma = kr$$

$$\Phi = \phi - \phi_0 - kz$$

La sommatoria su n e m è fatta con indici non multipli di tre, cioè $n=1,2,4,5,7,8,10...$

\pm, \mp Il segno posto superiormente vale per gli indici 2,5,8..., altrimenti si prende il segno posto al di sotto

Dai calcoli riportati in Figura 23, si osserva che la elica visibile abbatte sostanzialmente il campo B già alla distanza di 0.8 m, cioè al di sotto del terreno. A tale proposito si richiama il paragrafo 3.2 dell'allegato al DM 29/5/2008 in cui si sottolinea che "le linee MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree)" costituiscono uno dei casi di esclusione di applicazione di detta metodologia poiché in questo caso le fasce associabili hanno ampiezza ridotta inferiori alle distanze previste dal Decreto Interministeriale n° 449/88 e dal decreto del Ministro dei lavori Pubblici del 16 Gennaio 1991. Pertanto nel caso in esame la determinazione della DPA associata del suddetto collegamento elettrico non risulta necessaria.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

Doc. : **CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

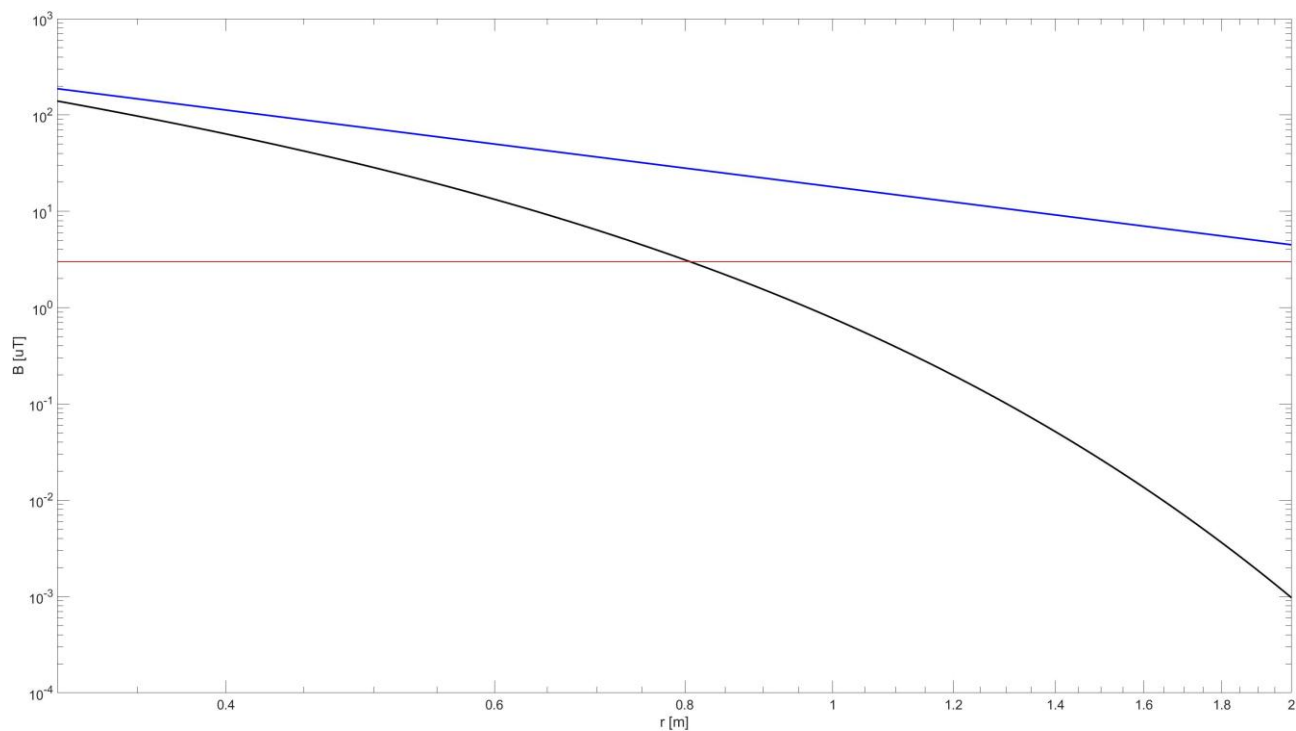


Figura 23 – Confronto tra il campo emesso lungo il piano di giacenza da una terna a trifoglio (curva blu) di cavi MV 1x630 e una terna cordata ad elica (curva nera).



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI
ELETTROMAGNETICI**

Rev. : **00**

6. RISCHIO DI ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI DEI LAVORATORI

Con la presente sezione si relaziona, in via preliminare e compatibile con lo stato di progettazione definitiva, in merito ai rischi da esposizione a campo elettromagnetico dei lavoratori, rinviando alla successiva fase di progettazione esecutiva la valutazione dei rischi specifici legati alle singole attività lavorative per la costruzione e l'esercizio di tutte le componenti dell'impianto in progetto.

Il criterio adottato per la valutazione dei rischi derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici è quello definito nell'ambito del titolo VIII, capo IV, del D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81.

Il capo IV determina i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai Campi Elettromagnetici (da 0 Hz a 300 GHz) durante il lavoro. Le disposizioni riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti nocivi a breve termine conosciuti nel corpo umano derivanti dalla circolazione di correnti indotte e dall'assorbimento di energia, nonché da correnti di contatto. Il capo IV non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine e i rischi risultanti dal contatto con i conduttori in tensione.

Agli effetti delle disposizioni del Capo IV si intendono per:

- **Campi elettromagnetici:** campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo di frequenza inferiore o pari a 300 GHz;
- **Valori limite di esposizione:** limiti all'esposizione a campi elettromagnetici che sono basati direttamente sugli effetti sulla salute accertati e su considerazioni biologiche. Il rispetto di questi limiti garantisce che i lavoratori esposti ai campi elettromagnetici sono protetti contro tutti gli effetti nocivi a breve termine per la salute conosciuti;
- **Valori di azione:** l'entità dei parametri direttamente misurabili, espressi in termini di intensità di campo elettrico (E), intensità di campo magnetico (H), induzione magnetica (B), corrente indotta attraverso gli arti (IL), e densità di potenza (S), che determina l'obbligo di adottare una o più delle misure specificate nel presente capo. Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei pertinenti valori limite di esposizione.


6.1 Normativa di riferimento

La valutazione del rischio specifico è stata effettuata ai sensi della normativa italiana vigente:

- D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81, "Attuazione dell'art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro".

Testo coordinato con:

- D.L. 3 giugno 2008, n. 97, convertito con modificazioni dalla L. 2 agosto 2008, n. 129;
- D.L. 25 giugno 2008, n. 112, convertito con modificazioni dalla L. 6 agosto 2008, n. 133;
- D.L. 30 dicembre 2008, n. 207, convertito con modificazioni dalla L. 27 febbraio 2009, n. 14;
- L. 18 giugno 2009, n. 69;
- L. 7 luglio 2009, n. 88;
- D.lgs. 3 agosto 2009, n. 106;

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

- D.L. 30 dicembre 2009, n. 194, convertito con modificazioni dalla L. 26 febbraio 2010, n. 25; D.L. 31 maggio 2010, n. 78, convertito con modificazioni dalla L. 30 luglio 2010, n. 122;
- L. 4 giugno 2010, n. 96;
- L. 13 agosto 2010, n. 136;
- Sentenza della Corte costituzionale 2 novembre 2010, n. 310;
- D.L. 29 dicembre 2010, n. 225, convertito con modificazioni dalla L. 26 febbraio 2011, n. 10; D.L. 12 maggio 2012, n. 57, convertito con modificazioni dalla L. 12 luglio 2012, n. 101;
- L. 1 ottobre 2012, n. 177;
- L. 24 dicembre 2012, n. 228;
- D.lgs. 13 marzo 2013, n. 32;
- D.P.R. 28 marzo 2013, n. 44;
- D.L. 21 giugno 2013, n. 69, convertito con modificazioni dalla L. 9 agosto 2013, n. 98;
- D.L. 28 giugno 2013, n. 76, convertito con modificazioni dalla L. 9 agosto 2013, n. 99;
- D.L. 14 agosto 2013, n. 93, convertito con modificazioni dalla L. 15 ottobre 2013, n. 119;
- D.L. 31 agosto 2013, n. 101, convertito con modificazioni dalla L. 30 ottobre 2013, n. 125;
- D.L. 23 dicembre 2013, n. 145, convertito con modificazioni dalla L. 21 febbraio 2014, n. 9;
- D.lgs. 19 febbraio 2014, n. 19;
- D.lgs. 15 giugno 2015, n. 81;
- L. 29 luglio 2015, n. 115;
- D.lgs. 14 settembre 2015, n. 151;
- D.L. 30 dicembre 2015, n. 210 convertito con modificazioni dalla L. 25 febbraio 2016, n. 21;
- D.lgs. 15 febbraio 2016, n. 39;
- D.lgs. 1° agosto 2016, n. 159;
- Accordo 7 luglio 2016;
- D.L. 30 dicembre 2016, n. 244 convertito con modificazioni dalla L. 27 febbraio 2017, n. 19;
- D.D. 6 giugno 2018, n. 12.


e conformemente agli indirizzi operativi del Coordinamento Tecnico Interregionale della Prevenzione nei Luoghi di Lavoro:

- Indicazioni Operative del CTIPL (Rev. 2 del 11 marzo 2010), "Decreto legislativo 81/2008, Titolo VIII, Capo I, II, III, IV e V sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro - indicazioni operative".

6.2 Valutazione del rischio

Nell'ambito della valutazione dei rischi occorre valutare e, quando necessario, misurare o calcolare livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori. I valori dei livelli dei campi elettromagnetici ottenuti saranno confrontati con i valori d'azione e nel caso questi siano stati superati con i valori limite di esposizione riportati nell'allegato XXXVI del D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81. Nell'ambito della valutazione del rischio si presterà particolare attenzione ai seguenti elementi:

- il livello, lo spettro di frequenza, la durata e il tipo dell'esposizione;
- i valori limite di esposizione e i valori di azione;

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	<p align="center">Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN</p> <p align="center">Del 17/04/2025</p>	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	---	--

- tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio;
- qualsiasi effetto indiretto quale:
 - a) interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri dispositivi impiantati);
 - b) rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici con induzione magnetica superiore a 3 m;
 - c) innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori);
 - d) incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;
 - e) l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;
 - f) la disponibilità di azioni di risanamento volte a minimizzare i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;
 - g) per quanto possibile, informazioni adeguate raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria, comprese le informazioni reperibili in pubblicazioni scientifiche;
 - h) sorgenti multiple di esposizione;
 - i) esposizione simultanea a campi di frequenze diverse.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**

ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Intervallo di frequenza	Densità di corrente per capo e tronco J	SAR mediato sul corpo intero	SAR localizzato su capo e tronco	SAR localizzato sugli arti	Densità di potenza
	[mA/m ²]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/m ²]
Fino a 1 Hz	40	-	-	-	-
1 Hz - 4 Hz	40/f	-	-	-	-
4 Hz - 1000 Hz	10	-	-	-	-
1000 Hz - 100 kHz	f/100	-	-	-	-
100 kHz - 10 MHz	f/100	0,4	10	20	-
10 MHz - 10 GHz	-	0,4	10	20	-
10 GHz - 300 GHz	-	-	-	-	50

Note:

- f è la frequenza in Hertz.
- I valori limite di esposizione per la densità di corrente si prefiggono di proteggere dagli effetti acuti, risultanti dall'esposizione, sui tessuti del sistema nervoso centrale nella testa e nel torace. I valori limite di esposizione nell'intervallo di frequenza compreso fra 1 Hz e 10 MHz sono basati sugli effetti nocivi accertati sul sistema nervoso centrale. Tali effetti acuti sono essenzialmente istantanei e non v'è alcuna giustificazione scientifica per modificare i valori limite di esposizione nel caso di esposizioni di breve durata. Tuttavia, poiché i valori limite di esposizione si riferiscono agli effetti nocivi sul sistema nervoso centrale, essi possono permettere densità di corrente più elevate in tessuti corporei diversi dal sistema nervoso centrale a parità di condizioni di esposizione.
- Data la non omogeneità elettrica del corpo, le densità di corrente dovrebbero essere calcolate come medie su una sezione di un cm² perpendicolare alla direzione della corrente.
- Per le frequenze fino a 100 kHz, i valori di picco della densità di corrente possono essere ottenuti moltiplicando il valore efficace rms per $(2)^{1/2}$.
- Per le frequenze fino a 100 kHz e per i campi magnetici pulsati, la massima densità di corrente associata agli impulsi può essere calcolata in base ai tempi di salita/discesa e al tasso massimo di variazione dell'induzione magnetica. La densità di corrente indotta può essere confrontata con il corrispondente valore limite di esposizione. Per gli impulsi di durata tp la frequenza equivalente per l'applicazione dei limiti di esposizione va calcolata come $f = 1/(2tp)$.
- Tutti i valori di SAR devono essere ottenuti come media su un qualsiasi periodo di 6 minuti.
- La massa adottata per mediare il SAR localizzato è pari a ogni 10 g di tessuto contiguo. Il SAR massimo ottenuto in tal modo
- costituisce il valore impiegato per la stima dell'esposizione. Si intende che i suddetti 10 g di tessuto devono essere una massa di tessuto contiguo con proprietà elettriche quasi omogenee. Nello specificare una massa contigua di tessuto, si riconosce che tale concetto può essere utilizzato nella dosimetria numerica ma che può presentare difficoltà per le misurazioni fisiche dirette. Può essere utilizzata una geometria semplice quale una massa cubica di tessuto, purché le grandezze dosimetriche calcolate assumano valori conservativi rispetto alle linee guida in materia di esposizione.
- Per esposizioni pulsate nella gamma di frequenza compresa fra 0,3 e 10 GHz e per esposizioni localizzate del capo, allo scopo di limitare ed evitare effetti uditivi causati da espansione termoelastica, si raccomanda un ulteriore valore limite di esposizione. Tale limite è rappresentato dall'assorbimento specifico (SA) che non dovrebbe superare 10 mJ/kg calcolato come media su 10 g di tessuto.
- Le densità di potenza sono ottenute come media su una qualsiasi superficie esposta di 20 cm² e su un qualsiasi periodo di $68/f$ 1,05 minuti (f in GHz) per compensare la graduale diminuzione della profondità di penetrazione con l'aumento della frequenza. Le massime densità di potenza nello spazio, mediate su una superficie di 1 cm², non dovrebbero superare 20 volte il valore di 50 W/m².
- Per quanto riguarda i campi elettromagnetici pulsati o transitori o in generale per quanto riguarda l'esposizione simultanea a campi di frequenza diversa, è necessario adottare metodi appropriati di valutazione, misurazione e/o calcolo in grado di analizzare le caratteristiche delle forme d'onda e la natura delle interazioni biologiche, tenendo conto delle norme armonizzate europee elaborate dal CENELEC.



GL Associates S.r.l.
Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma

**Progetto per la realizzazione e
l'esercizio delle opere di connessione
alla RTN**

Del 17/04/2025

Account Code : **E-002-RTD**

REL. TEC. SPEC.

Doc. : **CAMPI**


ELETTROMAGNETICI

Rev. : **00**

Intervallo di frequenza	Intensità di campo elettrico E	Intensità di campo magnetico H	Induzione magnetica B	Densità di potenza di onda piana S _{eq}	Corrente di contatto I _C	Corrente indotta attraverso gli arti I _L
	[V/m]	[A/m]	[μT]	[W/m ²]	[mA]	[mA]
0 - 1 Hz	-	1,63 * 10 ⁵	2 * 10 ⁵	-	1,0	-
1 - 8 Hz	20000	1,63 * 10 ⁵ /f ²	2 * 10 ⁵ /f ²	-	1,0	-
8 - 25 Hz	20000	2 * 10 ⁴ /f	2,5 * 10 ⁴ /f	-	1,0	-
0,025 - 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	-	1,0	-
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1,0	-
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-	0,4 * f	-
65 - 100 kHz	610	1600/f	2000/f	-	0,4 * f	-
0,1 - 1 MHz	610	1,6/f	2/f	-	40	-
1 - 10 MHz	610/f	1,6/f	2/f	-	40	-
10 - 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10	-	-
400 - 2000 MHz	3 * f ^{1/2}	0,008 * f ^{1/2}	0,01 * f ^{1/2}	f/40	-	-
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50	-	-

Note:

- f è la frequenza espressa nelle unità indicate nella colonna relativa all'intervallo di frequenza.
- Per le frequenze comprese fra 100 kHz e 10 GHz, Seq, E2, H2, B2 e IL devono essere calcolati come medie su un qualsiasi periodo di 6 minuti.
- Per le frequenze che superano 10 GHz, Seq, E2, H2 e B2 devono essere calcolati come medie su un qualsiasi periodo di 68/f1,05 minuti (f in GHz).
- Per le frequenze fino a 100 kHz, i valori di azione di picco per le intensità di campo possono essere ottenuti moltiplicando il valore efficace rms per (2)^{1/2}. Per gli impulsi di durata tp la frequenza equivalente da applicare per i valori di azione va calcolata come f = 1/(2tp).
- Per le frequenze comprese tra 100 kHz e 10 MHz, i valori di azione di picco per le intensità di campo sono calcolati moltiplicando i pertinenti valori efficaci (rms) per 10a, dove a = (0,665 log (f/10) + 0,176), f in Hz.
- Per le frequenze comprese tra 10 MHz e 300 GHz, i valori di azione di picco sono calcolati moltiplicando i valori efficaci (rms) corrispondenti per 32 nel caso delle intensità di campo e per 1000 nel caso della densità di potenza di onda piana equivalente.
- Per quanto riguarda i campi elettromagnetici pulsati o transitori o in generale l'esposizione simultanea a campi di frequenza diversa, è necessario adottare metodi appropriati di valutazione, misurazione e/o calcolo in grado di analizzare le caratteristiche delle forme d'onda e la natura delle interazioni biologiche, tenendo conto delle norme armonizzate europee elaborate dal CENELEC.
- Per i valori di picco di campi elettromagnetici pulsati modulati si propone inoltre che, per le frequenze portanti che superano 10 MHz, Seq valutato come media sulla durata dell'impulso non superi di 1000 volte i valori di azione per Seq, o che l'intensità di campo non superi di 32 volte i valori di azione dell'intensità di campo alla frequenza portante.

 GL Associates S.r.l. Via Gregorio VII 384 - 00165 Roma	Progetto per la realizzazione e l'esercizio delle opere di connessione alla RTN Del 17/04/2025	Account Code : E-002-RTD REL. TEC. SPEC. Doc. : CAMPI ELETTROMAGNETICI Rev. : 00
---	--	--

6.3 Elenco delle analisi da eseguire in fase di progettazione esecutiva

Nell'ambito della fase di progettazione esecutiva, nel caso di valutazioni superiori ai valori limite di esposizione dei lavoratori e per ogni singola mansione saranno previste le misure da adottare che di seguito si elencano:

1. Metodi di lavoro da adottare per l'ottenimento di una minore esposizione a campi elettromagnetici;
2. Dispositivi di sicurezza, schermatura o analoghi meccanismi di protezione dai campi elettromagnetici;
3. Attrezzature di lavoro che emettono campi elettromagnetici a minore intensità;
4. Predisposizione di opportuni programmi di manutenzione delle attrezzature, dei luoghi di lavoro e delle postazioni di lavoro;
5. Progettazione dei luoghi e delle posizioni di lavoro al fine di ridurre l'esposizione a campi elettromagnetici;
6. Durata delle attività lavorative allo stretto necessario nel caso di esposizione a livelli di campo elettromagnetico superiori ai valori limite;

6.4 Fasi e requisiti dei luoghi di lavoro

Le fasi di realizzazione delle opere in progetto sono di seguito raggruppate come segue:

1. Fase di apertura cantiere, pulizia e sistemazione delle aree, realizzazione della viabilità interna;
2. Realizzazione di recinzione perimetrale, siepe, cancelli, impianto di illuminazione e videosorveglianza;
3. Trasporto di strutture;
4. Trasporto di cabine prefabbricate;
5. Posa in opera di cabine prefabbricate;
6. Montaggio strutture;
7. Trasporto moduli FV;
8. Posa in opera moduli FV;
9. Realizzazione di cavidotti interni interrati per rete BT, MT
10. Realizzazione sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT e collegamento alla Stazione Elettrica con cavidotto in AT.

L'organizzazione del cantiere tutte le misure di prevenzione e protezione anche nei confronti di eventuali rischi derivanti da esposizione a campi elettromagnetici dei lavoratori impiegati, precisando che nella fase di cantiere l'impianto fotovoltaico e le opere connesse (generatore, sistemi di conversione, cabine di trasformazione e cavidotti) si troverà in assenza di tensione elettrica e che pertanto detto rischio sarà eventualmente limitato esclusivamente ad impianti elettrici e macchine di cantiere. Eventuali interferenze di lavorazioni con zone o aree in tensione saranno esaminate nella fase di progettazione esecutiva precisando sin da ora che i luoghi di lavoro con rischio esposizione a campi elettromagnetici (con valori di azione superiori ai limiti sopracitati) saranno indicati con un'apposita segnaletica. Tali aree saranno identificate e l'accesso alle stesse sarà limitato laddove ciò sia tecnicamente possibile.