



Soggetto promotore: **Gruppo Marseglia**

Soggetto proponente: **Masserie Salentine S.r.l. Società Agricola** (componente agricola)

Soggetto proponente: **Energetica Salentina S.r.l.** (componente fotovoltaica)

IMPIANTO AGRIVOLTAICO

SITO NEI COMUNI DI NARDÒ, SALICE SALENTINO E VEGLIE
IN PROVINCIA DI LECCE

Valutazione di Impatto Ambientale

(artt. 23-24-25 del D.Lgs. 152/2006)

Commissione Tecnica PNRR-PNIEC

(art. 17 del D.L. 77/2021, convertito in L. 108/2021)

Idea progettuale e coordinamento generale: **AG Advisory S.r.l.**

Paesaggio e supervisione generale: **CRETA S.r.l.**

Programma di ricerca "Paesaggi del Futuro", Responsabili scientifici: **Prof. Arch. Paolo Mellano, Prof.ssa Arch. Elena Vigliocco** (Politecnico di Torino)

Programma di ricerca "Ottimizzazione dell'agrivoltaico con oliveti a siepe: analisi numerico matematica", Responsabili scientifici: **PhD Cristiano Tamborrino** (Università degli Studi di Bari), **PhD Elisa Gatto** (Biologa ambientale)

Postproduzione: **Galante – Menichini Architetti per AG Advisory S.r.l.**

Supporto grafico: **Heriscape Progetti S.r.l. STP per AG Advisory S.r.l.**

Progettisti:

Progetto agricolo: **Prof. Massimo Monteleone** (Università degli Studi di Foggia)
Dott. Agr. Barnaba Marinosci

Progetto impianto fotovoltaico: **Ing. Andrea D'Ovidio**

Progetto strutture: **Ing. Giovanni Errico**

Progetto opere di connessione: **Ing. Andrea D'Ovidio**

Contributi specialistici:

Acustica: **Ing. Massimo Rah**

Agronomia: **Dott. Agr. Barnaba Marinosci**

Approvvigionamento idrico: **Geol. Massimiliano Brandi**

Archeologia: **Dott.ssa Caterina Polito**

Clima e PMA: **Dott.ssa Elisa Gatto**

Fauna: **Dott. Giacomo Marzano**

Geologia: **Geol. Pietro Pepe**

Idraulica: **Ing. Luigi Fanelli**

Rilievi: **Studio Tafuro**

Risparmio idrico: **Netafim Italia S.r.l.**

Vegetazione e microclima: **Dott. Leonardo Beccaris**

Cartella
VIA_2/

Identificatore:
5_PAGRVLTCNN02

Relazione impatti elettromagnetici
opere di connessione: cavidotti

Descrizione Relazione sugli impatti elettromagnetici dei cavidotti

Nome del file:
5_PAGRVLTCNN02.pdf

Tipologia
Relazione

Scala
-

Autori elaborato: Ing. Giancarlo Guenzi e Ing. Andrea D'Ovidio

Rev.	Data	Descrizione
00	18/03/24	Prima emissione
01		
02		

Spazio riservato agli Enti:

STUDIO Ing. GUENZI

Giancarlo Guenzi
Dott. Ing., MScEE, MScRE, PhD
TCM A/ICECA, BV FS Eng,

Albo Ingg. Prov. Novara N. 1177
P. IVA 01124100031
C. Fisc. GNZGCR46B08A429P

Via Galileo Ferraris, 32 28100 Novara
Tel. (0321) 612451 energoconsult@yahoo.it



ICEC - International
Cost Engineering Council
Distinguished International
Fellow



IEEE
Life Senior Member

PARCO AGRIVOLTAICO BORGO MONTERUGA

ENERGETICA SALENTINA S.r.l.

MASSERIE SALENTINE S.r.l.

CAVIDOTTO AT

ANALISI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Analisi Elaborata per Conto di: *A&D Ingegneria snc*

Novara, 08/03/2024
Rev. 0



SOMMARIO

- 1. SCOPO 3
- 2. SINTESI 3
- 3. METODOLOGIA 4
- 4. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO 4
- 5. LIMITE DI ESPOSIZIONE 6
- 6. CAVO AT – CARATTERISTICHE, POSA E PORTATA 6
- 7. METODI DI CALCOLO 8
- 8. ALTERNATIVE DI CALCOLO 10
- 9. RISULTATI DEI CALCOLI 10

Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.			Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Dott. Ing. Giancarlo Guenzi Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177
				Novara, 08/03/2024 Rev. 0	2



**PARCO AGRIVOLTAICO BORGO MONTERUGA
ENERGETICA SALENTINA S.r.l.
MASSERIE SALENTINE S.r.l.**

**PARCO AGRIVOLTAICO BORGO MONTERUGA
CAVIDOTTO AT - ANALISI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI**

1. SCOPO

A&D Ingegneria snc ha avuto l'incarico di progettare la componente fotovoltaica del Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga sito nei comuni di Veglie, Salice Salentino e Nardò in provincia di Lecce; fa parte di questo impianto il cavidotto AT che intercollega le sottostazioni AT.

Gli obiettivi di questa analisi, riferiti al cavidotto AT sopraccitato, sono:

1. Calcolo del valore di intensità di campo magnetico per le modalità di posa tipiche del cavo nelle condizioni operative più gravose;
2. Identificazione delle fasce di rispetto relative al campo magnetico corrispondenti al limite di esposizione previsti dalla normativa e legislazione attualmente in vigore.

Non viene invece valutata la intensità del campo elettrico prodotto dai cavi, in quanto esso viene eliminato dalla schermatura dei cavi stessi.

2. SINTESI

➤ **Posa a trifoglio** – Condizione normale lungo il percorso del cavo

A livello del suolo, che è una situazione conservativa, la fascia corrispondente al limite $B = 3 \mu\text{T}$ si estende per 1,6 m a partire dall'asse del cavo, cioè in genere dal centro della carreggiata.

A altezza $h = 0,5 \text{ m}$ la fascia $B = 3 \mu\text{T}$ si estende per solo 60-70 cm, e a $h = 1,0 \text{ m}$ (valore tipico per i calcoli) la induzione magnetica si riduce a meno di $B = 3 \mu\text{T}$ su tutta la carreggiata, perciò non ci sono situazioni di pericolo.

Si noti che sulla strada è in realtà accettabile il valore $B = 100 \mu\text{T}$ perché non vi sono persone residenti, e il valore $B = 3 \mu\text{T}$ si applica invece ai bordi della strada che però dovrebbero essere fuori dalla fascia limite.

➤ **Muffole**

Si è considerato che siano installate alla stessa profondità dei cavi e spaziate di 75 cm. In questo caso il limite $B = 3 \mu\text{T}$ si estende fino a oltre 6 m dal centro del cavo, e si possono avere interferenze con eventuali edifici a bordo strada (larghezza carreggiata almeno 4 m

			Dott. Ing. Giancarlo Guenzi Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177	
Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	3



Conclusioni e Raccomandazioni

Sul percorso del cavo interrato non si prevedono problemi, sempre che il cavo sia posato al centro della carreggiata o comunque ad almeno 2 m da edifici in prossimità.

Per le muffole, è opportuno prevedere che vengano realizzate non in prossimità di edifici o di altri insediamenti. Sarà opportuno prevedere le pezzature di cavo con lunghezza tale da soddisfare questa esigenza.

3. METODOLOGIA

Si riporta di seguito la sequenza della analisi.

1. Identificazione della Normativa e Legislazione applicabile;
2. Identificazione dei valori limite di intensità di campo magnetico;
3. Identificazione delle caratteristiche e della portata di corrente del Cavo AT;
4. Definizione del metodo di calcolo
5. Valutazione della intensità di campo magnetico, nelle seguenti alternative:
 - Configurazione di base con cavi unipolari disposti a triangolo,
Altezza di riferimento $h = 0,0$ m (livello del suolo), $h = 0,5$ m e $h = 1,0$ m
 - Installazione di muffole, che modificano la geometria di posa.
6. Valutazione delle fasce di rispetto corrispondenti a $B = 3 \mu T$
7. Conclusioni e Raccomandazioni

4. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO

Si riportano di seguito i principali riferimenti normativi e tecnici in materia di campi elettrici e magnetici generati da elettrodotti a frequenza industriale:

1. D. Lgs. 81/08 Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro
2. “Decreto Legislativo 81/2008 – Titolo VIII, Capo I, II, III, IV e V sulla Prevenzione e Protezione dai Rischi dovuti alla Esposizione ad Agenti Fisici nei Luoghi di Lavoro – Indicazioni Operative”, Coordinamento Tecnico per la Sicurezza nei Luoghi di Lavoro delle Regioni e delle Provincie Autonome, in collaborazione con INAIL e Istituto Superiore di Sanità.
3. Norma CEI EN 50499 “Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici”, 2009-11.
4. Direttiva 2013/35/UE – “Disposizioni minime di Sicurezza e di Salute relative all'Esposizione dei Lavoratori ai Rischi derivanti dagli Agenti Fisici (Campi Elettromagnetici).

			Dott. Ing. Giancarlo Guenzi Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177	
Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	4



5. D.Lgs. 159 del 01/08/2016, di applicazione della Direttiva [4].
6. Raccomandazione 1999/519/CE, relativa alla Limitazione dell'Esposizione della Popolazione ai Campi Elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz.
7. Guida Non Vincolante di Buona Prassi per l'Attuazione della Direttiva 2013/35/UE relativa ai Campi Elettromagnetici – Vol. 1 e 2, UE Commissione Europea.
8. DPCM 8 luglio 2003, "*Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti*".
9. Decreto 29 maggio 2008, "*Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti*".
10. Circolare interpretativa dell'ISPRA Disposizioni integrative/interpretative ai Decreti 29 maggio 2008 "*Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica*" e "*Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti*" - Versione. 7.4.
11. CEI 11-17 "*Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo*"
12. CEI 103-6, "*Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto*",
13. CEI 106-11, "*Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) - Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo*",
14. CEI 211-4, "*Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche*",.
15. CEI 211-6, "*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*",
16. Legge 36/2001 "*Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*".
17. ENEL – “Distanza di Prima Approssimazione (DPA) da Linee e Cabine Elettriche” – “Linea Guida per l'Applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 [9].
18. CICRE Report n. 104 “Magnetic Field in HV Cable Systems 1 / Systems without Ferromagnetic Component”

			Dott. Ing. Giancarlo Guenzi Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177	
Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	5



5. LIMITE DI ESPOSIZIONE

Come limite di esposizione, viene considerato in questa analisi il valore di induzione magnetica $B = 3 \mu\text{T}$ (microtesla) prescritto dal DPCM 8 Luglio 2003 [8] per la fascia di rispetto di linee elettriche ed in cavo.

Non vengono invece considerati i livelli di induzione magnetica previsti dal D.Lgs. 159/2016 [5], sia per i lavoratori particolarmente a rischio che per i lavoratori normali; si noti che questi livelli sono molto più elevati (100 – 1000 μT) e assolutamente oltre i livelli superficiali che si possono trovare lungo il percorso del cavo interrato.

Si deve notare che il limite $B = 3 \mu\text{T}$ è applicabile solo a Luoghi Tutelati. Si riportano di seguito le definizioni di Luoghi Tutelati:

- Definizione secondo [17]: *Luoghi Tutelati (Legge 36/2001 art.4 c.1, lettera h): aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere.*
- Definizione secondo [16] - Legge 36/2001 art.4 c.1, lettera h: “ ... destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a 4 ore.”

Pertanto, il limite $B = 3 \mu\text{T}$:

- NON è in genere applicabile alla sede stradale, che è un luogo di transito.
- NON è in genere applicabile agli insediamenti industriali, ai lati della sede stradale; diventa applicabile quando la permanenza supera 4 ore giornaliere.
- **È invece applicabile ai lati della sede stradale, quando esistono aree ed edifici delle tipologie riportate nelle definizioni sopra citate.**

In questa analisi è stato considerato pertanto il limite $B = 3 \mu\text{T}$, ed è stata analizzata con cura la intensità del Campo Magnetico ai lati dei cunicoli cavi.

6. CAVO AT – CARATTERISTICHE, POSA E PORTATA

Il collegamento in cavo AT è realizzato con una terna di cavi unipolari; le principali caratteristiche operative sono riportate di seguito, le caratteristiche costruttive sono indicate in dettaglio nell'estratto di catalogo riportato alla pagina seguente.

- Tensione Nominale: 380 kV (ininfluente in questa analisi)
- Formazione: 3 cavi unipolari, sez. 1400 mmq
- Posa: cavi interrati a $h = -1800 \text{ mm}$ (contatto della guaina del cavo a suolo), installati a trifoglio

			Dott. Ing. Giancarlo Guenzi Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177	
Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	6



- Portata: 530 A, chiaramente non continuativa (la corrente dipende dalla generazione, che a sua volta dipende dalla “luce”).



400 kV Single Core XLPE Cables with Copper Wire Screen and APL Sheath									
Type (A)XS(F)2Y 1 x RMS/170 - 230/400 kV with stranded compacted conductor (RM)									
Dimensions/Cross Sections		mm ²	850	800	1000				
Conductor, Cu or Al, round, stranded, Ø	approx.	mm	30,0	34,2	38,1				
XLPE insulation	nom.	mm	30,0	31,0	29,0				
Screen, copper wire, cross section	nom.	mm ²	170	170	170				
Outer diameter	approx.	mm	118	118	118				
Cable weight (Cu/Al)	approx.	kg/m	17/13	18/13	20/14				
Permissible pulling force (Cu/Al)	max.	kN	32/19	40/24	50/30				
Bending radius during laying	min.	m	2,95	2,95	2,45				
	at terminations	min.	m	1,75	1,75	1,75			
Electrical Data									
Cu conductor DC resistance at 20°C	max.	µΩ/m	0,0293	0,0221	0,0178				
Al conductor	max.	µΩ/m	0,0489	0,0367	0,0291				
Cu conductor AC resistance at 80°C	approx.	µΩ/m	0,0385	0,0317	0,0278				
Al conductor	approx.	µΩ/m	0,0622	0,0500	0,0409				
Field strength at U ₁ at conductor screen	approx.	kV/mm	12,8	12,7	12,8				
	at core screen	approx.	kV/mm	4,2	4,7	5,2			
Capacitance per core	approx.	µF/km	0,119	0,134	0,150				
Inductance	approx.	mH/km	0,46	0,44	0,41				
Current Ratings/Power Ratings (continuous load)			triof installation						
Cu conductor cables	1 circuit	A/MVA	594/412	636/441	671/465				
	2 circuits	A/MVA	481/333	512/365	536/373				
Al conductor cables	1 circuit	A/MVA	499/346	545/378	587/407				
	2 circuits	A/MVA	406/281	440/305	471/326				
Type (A)XS(F)2Y 1 x RMS/170 - 230/400 kV with segmental conductor (RM)									
Dimensions/Cross Sections		mm ²	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2500
Conductor, round, stranded, segmental, Ø	approx.	mm	39,0	42,0	45,3	48,5	51,3	54,3	60,0
XLPE insulation	nom.	mm	29,0	27,0	27,0	27,0	26,0	26,0	26,0
Screen, copper wire, cross section	nom.	mm ²	170	170	170	170	170	170	170
Outer diameter	approx.	mm	121	130	123	127	128	131	138
Cable weight (Cu/Al)	approx.	kg/m	20/14	22/14	24/15	26/16	28/17	30/18	36/20
Permissible pulling force (Cu/Al)	max.	kN	50/30	69/38	79/42	89/48	90/54	100/60	125/75
Bending radius during laying	min.	m	3,00	3,00	3,10	3,15	3,20	3,25	3,45
	at terminations	min.	m	1,80	1,80	1,85	1,90	1,90	2,05
Electrical Data									
Cu conductor DC resistance at 20°C	max.	µΩ/m	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,0101	0,0090	0,0072
Al conductor	max.	µΩ/m	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186	0,0165	0,0149	0,0119
Cu conductor AC resistance at 80°C	approx.	µΩ/m	0,0230	0,0201	0,0175	0,0156	0,0143	0,0129	0,0109
Al conductor	approx.	µΩ/m	0,0375	0,0319	0,0275	0,0240	0,0213	0,0193	0,0156
Field strength at U ₁ at conductor screen	approx.	kV/mm	12,5	12,9	12,6	12,4	12,8	12,4	12,0
	at core screen	approx.	kV/mm	5,3	5,9	6,0	6,1	6,5	6,5
Capacitance per core	approx.	µF/km	0,156	0,171	0,180	0,188	0,201	0,209	0,228
Inductance	approx.	mH/km	0,58	0,55	0,53	0,52	0,51	0,50	0,47
Current Ratings/Power Ratings (continuous load)			flat installation						
Cu conductor cables	1 circuit	A/MVA	908/650	1001/694	1070/741	1125/779	1168/809	1212/840	1289/893
	2 circuits	A/MVA	604/567	655/592	692/632	757/663	800/688	826/711	886/753
Al conductor cables	1 circuit	A/MVA	748/518	808/560	868/601	904/640	973/674	1016/704	1112/770
	2 circuits	A/MVA	611/444	690/470	740/513	787/545	826/572	861/597	938/650

Dott. Ing. Giancarlo Guenzi
Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177

Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	7
--	--	--	------------------------------	---



7. METODI DI CALCOLO

Il calcolo avrebbe potuto essere realizzato di principio con il metodo semplificato riportato nella Norma CEI 106-11 e nel Report CIGRE n. 104 (vedi Cap. 4 – Normativa di Riferimento). Però, le dimensioni del conduttore sez. 1400 mmq sono considerevoli, e di conseguenza anche la distanza tra i conduttori è rilevante ed ha un impatto sulla precisione del calcolo semplificato.

Per questa ragione, e vista l'importanza del collegamento, si è preferito realizzare due calcoli come segue:

- Calcolo “canonico” in accordo con le indicazioni della Norma CEI 211-4,
- Calcolo “approssimato” per verificare la congruenza dei risultati e i margini di precisione della analisi, secondo le indicazioni della Norma CEI 106-11.

➤ Calcolo secondo CEI 211-4

Si riportano di seguito alcuni estratti della Norma CEI 211-4; nel nostro caso, viene adottata la configurazione bidimensionale ad elementi filiformi rettilinei, che è adatta per le linee in cavo AT interrato.

4.2.2 Campo magnetico

Per le applicazioni principali della presente Guida (linee elettriche aeree e in cavo, cabine e stazioni elettriche) la schematizzazione delle sorgenti di campo magnetico in una combinazione di conduttori filiformi può essere generalmente accettata per calcolare l'induzione magnetica a distanze relativamente grandi rispetto alle dimensioni dei conduttori reali.

Con riferimento a questa tipologia di conduttori, vengono prima fornite le formule di base, per poi indicare procedimenti più dettagliati, per geometrie bidimensionali e tridimensionali, direttamente implementabili in codici di calcolo.

4.2.2.1 Formule di base

Con riferimento ad un generico circuito c costituito da un conduttore filiforme e percorso dalla corrente $i(t)$ (Figura 4), l'induzione magnetica $\vec{B}(t)$ in un punto P può essere ottenuta, nell'ambito delle frequenze di interesse della presente Guida, mediante la seguente formula generalizzata di Laplace:

$$\vec{B}(t) = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} \cdot i(t) \cdot \int_c \frac{\vec{u}_1 \times \vec{u}_r}{r^2} \cdot dl \quad (12)$$

			Dott. Ing. Giancarlo Guenzi Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177	
Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	8

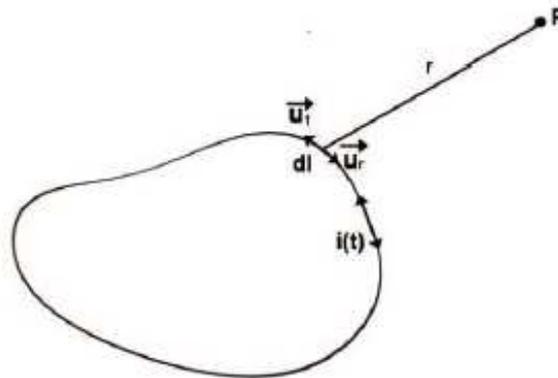


Figura 4 – Schematizzazione di un circuito formato da un conduttore filiforme percorso da corrente e definizione dei simboli della formula (12), corrispondente alla legge generalizzata di Laplace.

In presenza di più circuiti l'induzione magnetica totale nel punto P è ottenuta sommando vettorialmente i contributi in quel punto dovuti alle correnti nei diversi circuiti.

Per le frequenze di interesse della presente Guida possono essere trascurate le correnti immagine rispetto al terreno, considerato con permeabilità pari a quella dell'aria (μ_0).

.....

4.2.2.3 Configurazioni bidimensionali ad elementi filiformi rettilinei

Nel caso di configurazioni semplici, con conduttori rettilinei e paralleli di lunghezza relativamente elevata rispetto alle distanze tra i conduttori stessi (tratti attorno alla mezzeria delle campate di linee elettriche aeree, lunghi tratti rettilinei di linee in cavo interrato), il procedimento può essere semplificato, ricorrendo ad una schematizzazione di tipo bidimensionale.

La formula (14) valida per conduttori di lunghezza infinita è utilizzata per ottenere le componenti spaziali dell'induzione magnetica totale $B_x(t)$, $B_y(t)$ e $B_z(t)$, attraverso le formule qui di seguito riportate:

$$\begin{aligned}
 B_x(t) &= \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i i_i(t) \left[\frac{y_i - y_P}{(x_P - x_i)^2 + (y_P - y_i)^2} \right] \\
 B_y(t) &= \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i i_i(t) \left[\frac{x_P - x_i}{(x_P - x_i)^2 + (y_P - y_i)^2} \right] \\
 B_z(t) &= 0
 \end{aligned} \tag{16}$$

=====

			Dott. Ing. Giancarlo Guenzi Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177	
Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	9

I calcoli del valore di induzione magnetica sono stati elaborati con Software dedicato ELF, che utilizza la metodologia proposta dalle Norme CEI 211-4; il programma calcola l'induzione sia sulla verticale del cavo centrale (valore massimo), che ai lati, alla quota desiderata.

➤ **Calcolo secondo CEI 106-11**

I calcoli sono stati elaborati in accordo con la formula 20; si riporta di seguito un estratto con la indicazione dei parametri. Il metodo è uguale a quello proposto dal Report CIGRE n. 104.

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2} \text{ [\mu T]} \quad R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \text{ [m]} \quad (20)$$

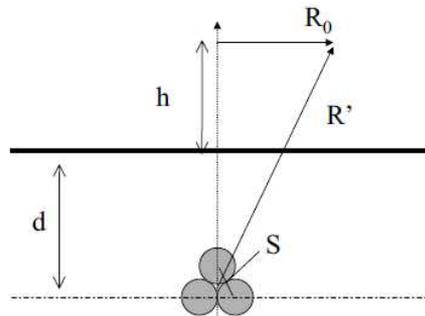


Figura 12 – Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa a trifoglio oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore)

8. ALTERNATIVE DI CALCOLO

L'induzione magnetica, e la fascia di rispetto corrispondente a 3 μT , sono stati valutati a 3 altezze differenti dal suolo, come segue:

- h = 0,0 m situazione conservativa
- h = 0,5 m valore intermedio
- h = 1,0 m valore tipico per l'analisi dei campi elettromagnetici

9. RISULTATI DEI CALCOLI

Si riportano di seguito i risultati dei calcoli, elaborati con le due modalità alternative.

Nel calcolo canonico, con il metodo indicato dalla Norma CEI 211-4, la posizione dei conduttori è calcolata come segue:

- Conduttori inferiori: Distanza dall'asse = 0,5 diametro esterno;
Quota dalla posa (h = -1800 m) = 0,5 diametro esterno
- Conduttore superiore: Distanza dall'asse: 0,0 (centrato)
Quota dalla posa (h = -1800 m) = (0,5 + $\sqrt{3}/2$) diametro esterno

			Dott. Ing. Giancarlo Guenzi Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177	
Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	10

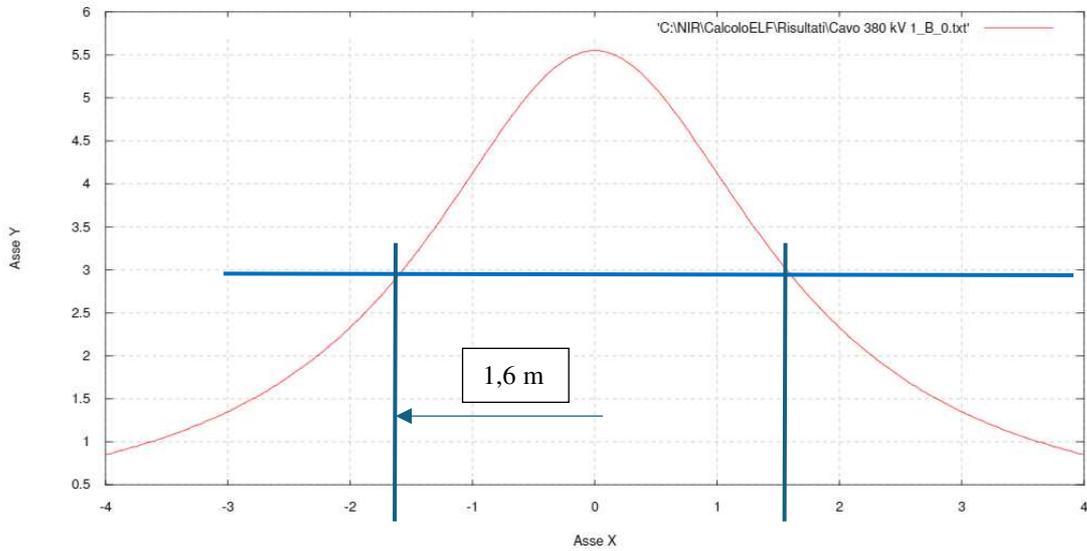


Risultati secondo CEI 211-4

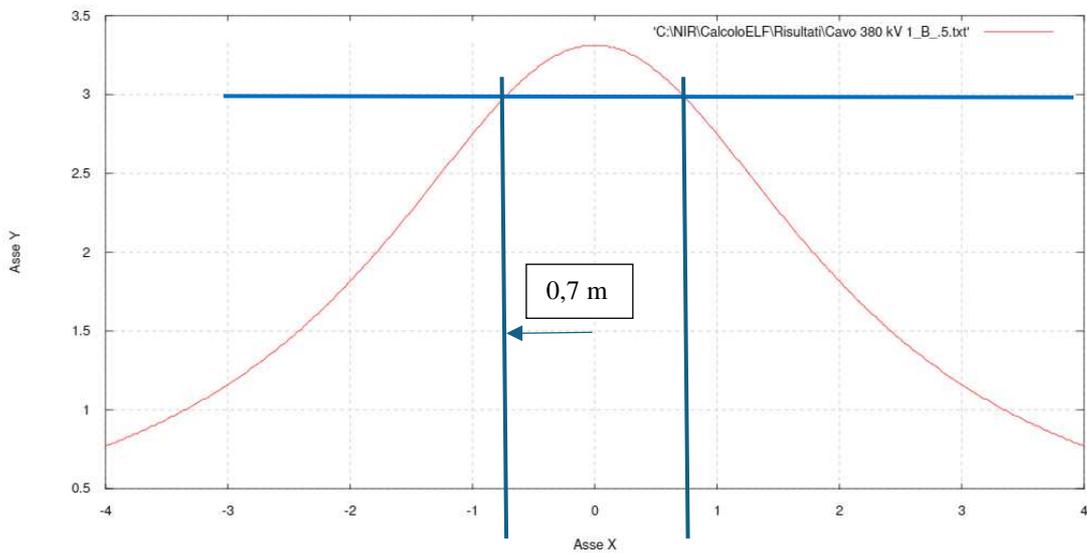
Cavo 380 kV – Posa a Trifoglio

Asse Y: Induzione Magnetica B - μT ;

Asse X: Distanza dal Centro del Cavo d - m



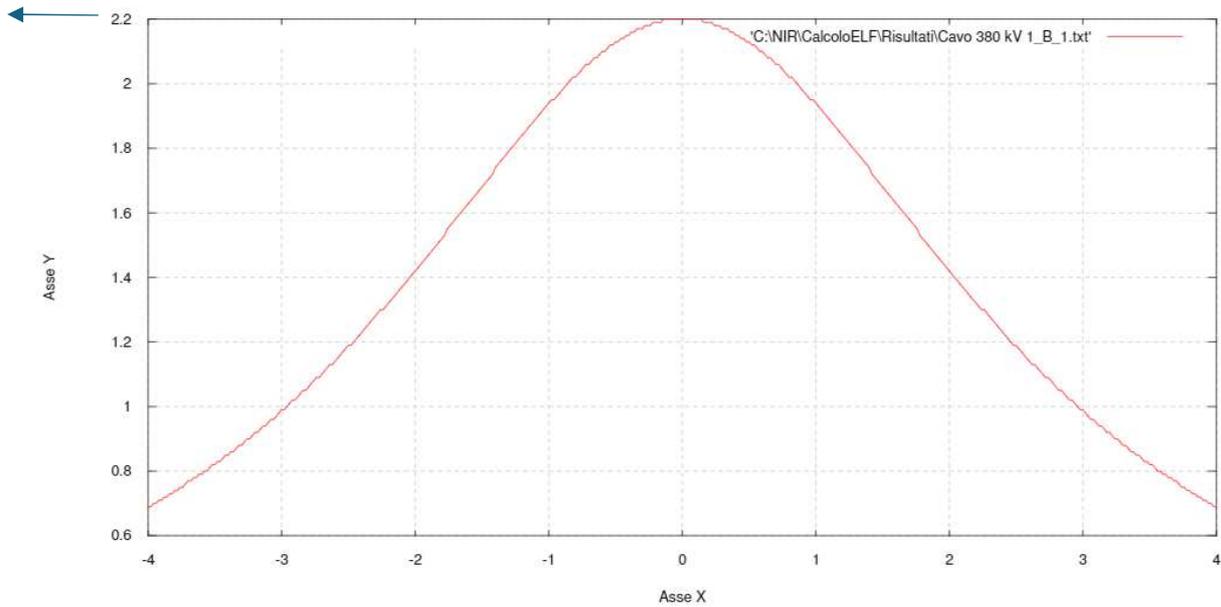
Induzione Magnetica B a h = 0 m (livello del suolo)



Induzione Magnetica B a h = 0,5 m

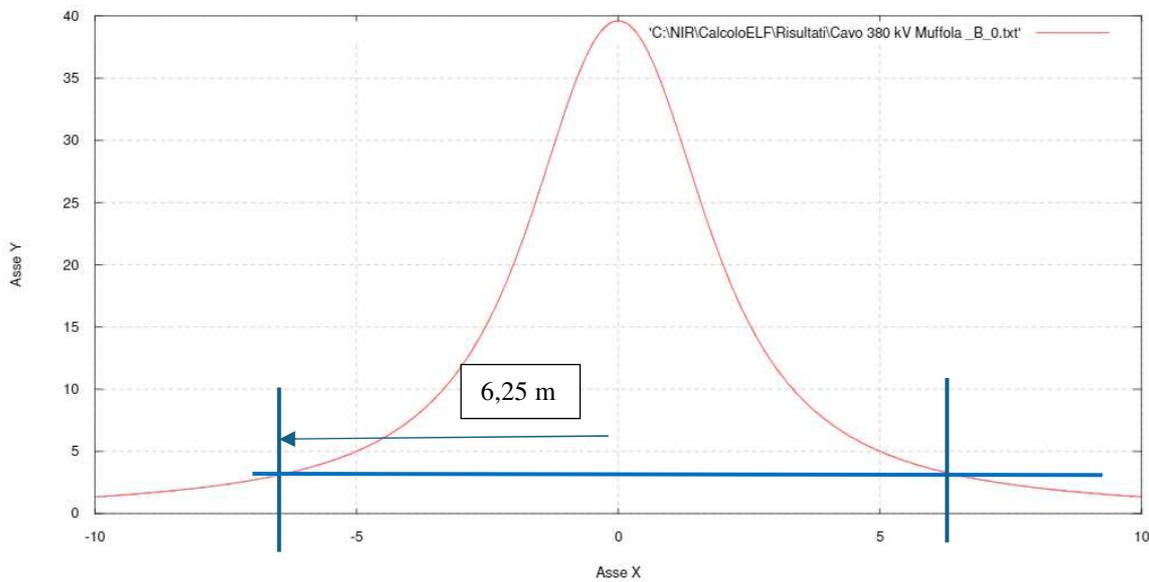
Dott. Ing. Giancarlo Guenzi
Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177

Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	11
---	---	--	------------------------------	----



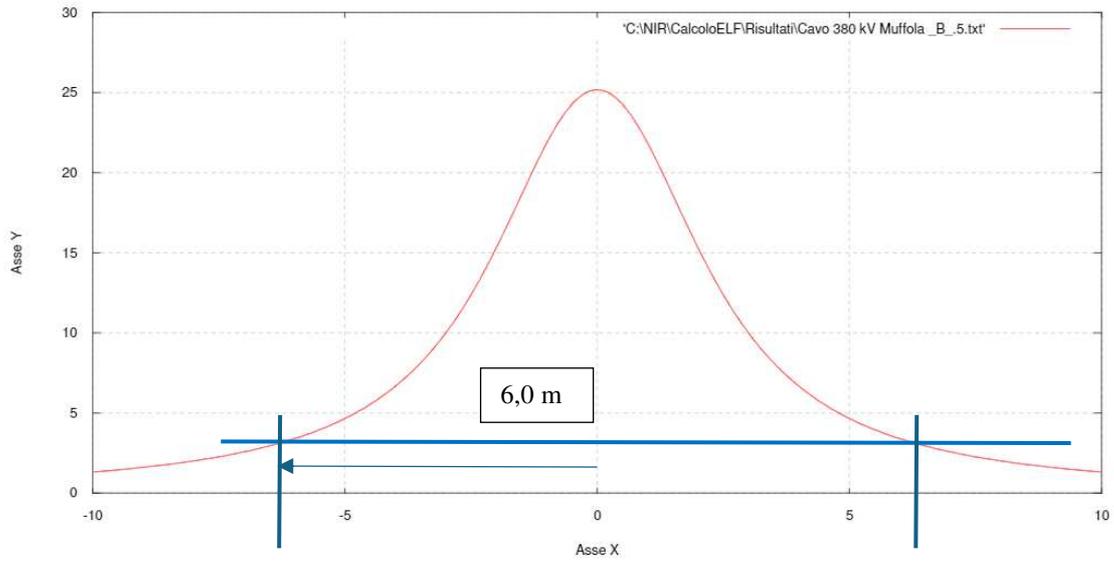
Induzione Magnetica B a h = 1,0 m
 B < 3 μT, pertanto non esiste fascia di rispetto

Cavo 380 kV – Muffola

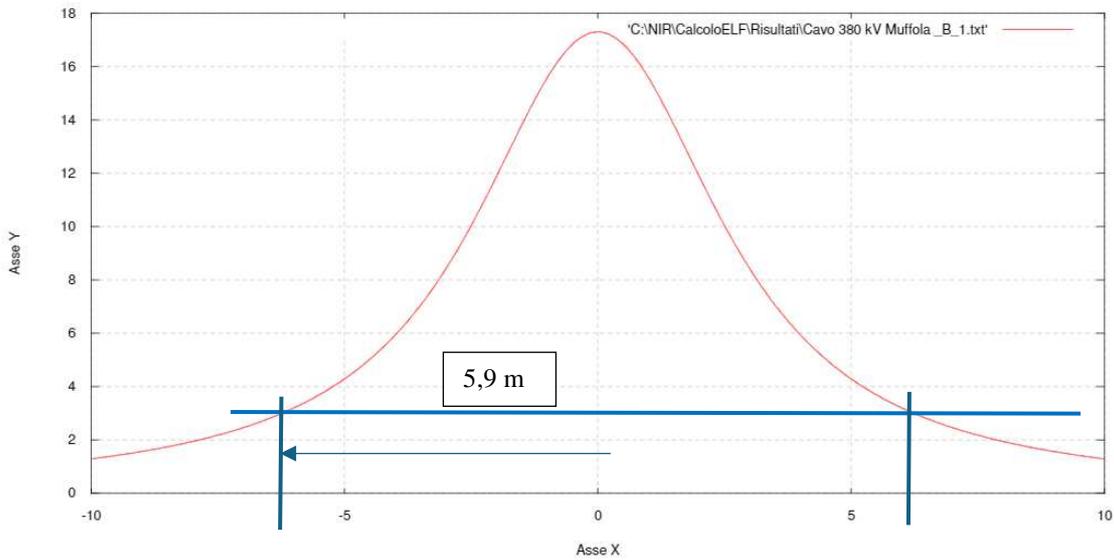


Induzione Magnetica B a h = 0 m (livello del suolo)

Dott. Ing. Giancarlo Guenzi
Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177



Induzione Magnetica B a h = 0,5 m



Induzione Magnetica B a h = 1,0 m



Risultati secondo CEI 106-11

INDUZIONE MAGNETICA - LIMITE 3 μ T

FORMULE SEMPLIFICATE IN ACCORDO CON CEI 106 - 11

$I := 530$ A Corrente nel cavo

$Diam_cavo := 0,123$ m

$prof := 1,800$ m Profondità di posa

$d := prof - \frac{Diam_cavo}{2}$ $d = 1,7385$ m Profondità dei conduttori

$S := Diam_cavo$

Formula semplificata per raggio corrispondente a $B = 3 \mu$ T

$R' := 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I}$ $R' = 2,30917$ m CEI 106 - 11 Formula 20

Formula semplificata per fascia $B = 3 \mu$ T a livello del suolo

$Ro := \sqrt{0,082 \cdot S \cdot I - d^2}$ $Ro = 1,5242$ m distanza dall'asse del cavo CEI 106 - 11 Formula 21

Altezza h dal suolo - Estensione delle formule semplificate

$hlim := R' - d$ $hlim = 0,57067$ sopra questa quota $B < 3 \mu$ T

$h := 0,5$ m

$Rh := \sqrt{R'^2 - (d + h)^2}$ $Rh = 0,56692$

ALTERNATIVA CON DIAMETRO CAVO + 2 mm

$I := 530$ A Corrente nel cavo

$Diam_cavo := 0,125$ m

$prof := 1,800$ m Profondità di posa

$d := prof - \frac{Diam_cavo}{2}$ $d = 1,7375$ m Profondità dei conduttori

$S := Diam_cavo$

Formula semplificata per raggio corrispondente a $B = 3 \mu$ T

$R' := 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I}$ $R' = 2,32787$ m CEI 106 - 11 Formula 20

Formula semplificata per fascia $B = 3 \mu$ T a livello del suolo

$Ro := \sqrt{0,082 \cdot S \cdot I - d^2}$ $Ro = 1,55357$ m distanza dall'asse del cavo

Altezza h dal suolo - Estensione delle formule semplificate

$hlim := R' - d$ $hlim = 0,59037$ sopra questa quota $B < 3 \mu$ T

$h := 0,5$ m

$Rh := \sqrt{R'^2 - (d + h)^2}$ $Rh = 0,64232$

Dott. Ing. Giancarlo Guenzi
Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177

Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	14
---	---	--	------------------------------	----



Analisi dei Risultati

➤ **Posa a trifoglio** – Condizione normale lungo il percorso del cavo

A livello del suolo, che è una situazione conservativa, la fascia corrispondente al limite $B = 3 \mu\text{T}$ si estende per 1,6 m a partire dall'asse del cavo, cioè in genere dal centro della carreggiata.

A altezza $h = 0,5 \text{ m}$ la fascia $B = 3 \mu\text{T}$ si estende per solo 60-70 cm, e a $h = 1,0 \text{ m}$ (valore tipico per i calcoli) la induzione magnetica si riduce a meno di $B = 3 \mu\text{T}$ su tutta la carreggiata, perciò non ci sono situazioni di pericolo.

Si noti che sulla strada è in realtà accettabile il valore $B = 100 \mu\text{T}$ perché non vi sono persone residenti, e il valore $B = 3 \mu\text{T}$ si applica invece ai bordi della strada che però dovrebbero essere fuori dalla fascia limite (larghezza carreggiata almeno 4 m).

➤ **Muffole**

Si è considerato che siano installate alla stessa profondità dei cavi e spaziate di 75 cm. In questo caso il limite $B = 3 \mu\text{T}$ si estende fino a oltre 6 m dal centro del cavo, e si possono avere interferenze con eventuali edifici a bordo strada.

Congruenza dei Risultati

I risultati del calcolo approssimato, realizzati per la sola posa a trifoglio, forniscono risultati prossimi a quelli "precisi", ma di poco più conservativi (fascia $B = 3 \mu\text{T}$ più stretta di pochi centimetri); per comparazione è stato realizzato un calcolo alternativo aumentando di soli 2 mm il diametro dei cavi, e i risultati sono più prossimi.

Si può pertanto ritenere che è stata verificata la congruità dei risultati.

Conclusioni e Raccomandazioni

Sul percorso del cavo interrato non si prevedono problemi, sempre che il cavo sia posato al centro della carreggiata o comunque ad almeno 2 m da edifici in prossimità.

Per le muffole, è opportuno prevedere che vengano realizzate non in prossimità di edifici o di altri insediamenti. Sarà opportuno prevedere le pezzature di cavo con lunghezza tale da soddisfare questa esigenza.

			Dott. Ing. Giancarlo Guenzi Albo Ingg. Prov. Novara n. 1177	
Parco Agrivoltaico Borgo Monteruga Energetica salentina s.r.l.	Centrale Fotovoltaica Masserie Salentine	Cavidotto AT Analisi dei Campi Elettromagnetici	Novara, 08/03/2024 Rev. 0	15