



## **Comunicazione ESTI N. 2023-1201** **13 dicembre 2023**

# **Distanze in caso di vicinanze e incroci di linee elettriche con condotte**

## **Contenuti**

1. Introduzione.....	1
2. Aspetti dell'interazione ohmica.....	2
2.1 Tensione di scarica distruttiva nel terreno.....	2
2.2 Differenza: incrocio e parallelismo.....	3
3. Distanze minime in caso di interazione ohmica.....	4
3.1 Distanze orizzontali minime in caso di vicinanze e parallelismi di impianti elettrici a corrente forte e condotte.....	4
3.2 Distanze minime tra linee elettriche in cavo interrate e condotte.....	6
4. Bibliografia.....	6

## **1. Introduzione**

Le condotte e altre strutture longitudinalmente conduttive possono essere influenzate ohmicamente, in presenza di vicinanza, dalle installazioni elettriche a corrente forte in caso di guasto:

- In caso di guasto a terra, una linea elettrica a corrente forte esercita un'interazione ohmica attraverso la messa a terra. Se le distanze sono inadeguate, un arco elettrico può colpire le condotte e danneggiarle.
- Le condotte realizzate in materiale longitudinalmente conduttivo possono causare una migrazione di potenziale in caso di guasto a terra nella linea elettrica.

Non parte integrante nella presente comunicazione:

- Effetti induttivi
- Accensione di miscele di gas esplosive da parte di scintille elettriche
- Sistemi ausiliari delle condotte (tutti i circuiti, gli edifici, le installazioni, le saracinesche, le chiuse PIG, le stazioni di distribuzione, di riduzione della pressione e di prelievo necessarie per il funzionamento della condotta)
- Distanze di protezione da costruzioni senza sistemi di condotte.

Si prevede di regolamentare questi problemi relativi alla vicinanza tra impianti elettrici a corrente forte e condotte in una futura direttiva ESTI. Fino ad allora, questa comunicazione intende fare chiarezza sugli aspetti più importanti in relazione alle distanze di avvicinamento.

Dal 1994 al 2021, l'Ordinanza sulle linee elettriche (OLEI) [2], [3] conteneva prescrizioni relative alla distanza minima tra linee elettriche e condotte soggette alla Legge sugli impianti di trasporto in condotta (LITC) (art. 124, art. 133 e allegato 19). Le stesse distanze erano contenute anche nell'Ordinanza sulle prescrizioni di sicurezza per gli impianti di trasporto in condotta (OSITC) fino al 2021 (art. 11 e allegato). Durante questo periodo, i valori di distanza sono stati leggermente inaspriti a partire dal 2007.

Nel corso dei nuovi adeguamenti, tutti i valori di distanza contenuti nelle suddette ordinanze sono stati cancellati nel 2021, il che ha portato a incertezze da parte degli operatori sia degli impianti elettrici a corrente forte sia delle condotte. Nel 2023 l'ESTI e la SVGW (Società Svizzera dell'Industria del Gas e delle Acque) hanno organizzato una stretta collaborazione con esperti di entrambi i settori per sviluppare una linea guida per le questioni aperte.

## 2. Aspetti dell'interazione ohmica

La sezione seguente tratta degli aspetti determinanti per il dimensionamento delle distanze di sicurezza tra gli impianti elettrici a corrente forte e le condotte.

### 2.1 Tensione di scarica distruttiva nel terreno

Uno dei primi studi sulla tensione di scarica distruttiva tra parti metalliche nel terreno è stato condotto da K. Berger [10], [11]. I lavori successivi, ad esempio [13], [14] e [15], sono giunti a risultati simili, che possono essere sintetizzati come segue:

- Le distanze di scarica più basse si verificano a una resistività del terreno compresa tra 10 e 25 k $\Omega$ cm (100 ... 250  $\Omega$ m, conduttività 40 ... 100  $\mu$ S/cm). Questo intervallo di resistenza specifica del terreno si ottiene in terreni con un contenuto d'acqua del 30% - 50% (sabbia e miscela di sabbia/terriccio/humus).
- In [10] è stato studiato il valore del campo di scarica distruttivo  $E_0 = u_0/a$  medio in base alla distanza di scarica "a" utilizzando test di scarica su spinterometri sferici nel terreno. I valori minimi sono di 7 kV/cm nel terreno umido (30% - 50% di contenuto d'acqua) e aumentano solo moderatamente nei terreni più asciutti (fattore massimo 2). Sono stati usati impulsi con tempi di salita da pochi  $\mu$ s a 1 ms. I valori minimi determinati possono essere utilizzati come valori di riferimento per le semionde di corrente alternata (nel caso di guasti a terra), ma anche per le correnti impulsive causate da fulmini.
- A differenza degli spinterometri sferici, tuttavia, i conduttori di terra standard hanno degli spigoli in cui questo valore minimo viene rapidamente superato. Pertanto, non è il valore medio del campo di scarica distruttivo a essere decisivo per misurare la distanza dagli immobili nel terreno, ma la forza del campo in cui una scarica già iniziata si propaga ulteriormente. Da [10] può essere ricavato un valore del campo di propagazione  $E_i$  pari a 2,5-3 kV/cm. Con picchi di corrente di ampiezza crescente, la resistenza di terra inizia a scendere al di sotto della resistenza di tensione alternata misurata, se questo valore viene superato in modo significativo. Si verificano, quindi, scariche che praticamente cortocircuitano elettricamente il terreno per una certa distanza. Il fattore decisivo sembra essere un valore del campo di 2,5 kV/cm che può verificarsi nell'area di un sistema di condotte in caso di guasti a terra e fulmini. Va notato che questo valore è di circa un fattore 2 inferiore alla forza del campo richiesta per estendere il canale di una scarica nell'aria (la propagazione delle scariche elettriche nell'aria richiede un valore pari a 4 ... 5 kV/cm in corrispondenza della testa di scarica).

Evitare le scariche sui sistemi di condotte e, quindi, scariche sotterranee tra la messa a terra della corrente forte e la messa a terra delle condotte è particolarmente importante per i

sostegni delle linee aeree, poiché nel terreno si verificano alte densità di corrente e, quindi, alte intensità di campo.

Se la corrente viene introdotta localmente nel terreno, si ottiene un raggio definibile entro il quale si verificano tali scariche (raggio di ionizzazione), a seconda dell'ampiezza della corrente e della resistenza specifica del terreno. Se un oggetto messo a terra con potenziale neutro si trova all'interno di questo raggio, non si può escludere una scarica distruttiva nel terreno tra la messa a terra del sistema di messa a terra dell'oggetto (sostegno/ traliccio) e l'impianto in condotta. La Tabella 1 contiene i raggi di ionizzazione calcolati per le gamme di ampiezze di corrente e resistenze di terra che si verificano nella pratica. A titolo di confronto, sono elencati i valori specificati come distanze tra i sistemi di messa a terra dei sostegni superiori a 1 kV e le condotte in conformità con l'Ordinanza sulle linee elettriche 1994-2006 [3] (0,5 m/kA, con un valore minimo di 3 m). Quest'ultima regola consente, quindi, distanze al di fuori del raggio di ionizzazione per una resistenza specifica del terreno fino a 5.000 Ωm.

Nota: la corrente di passaggio nel terreno non deve essere considerata uguale alla corrente di guasto unipolare. Nel caso delle linee aeree, una parte considerevole della corrente di guasto unipolare di solito scorre attraverso i cavi di terra e non contribuisce all'imbuto di tensione intorno ai dispersori del sostegno. La componente di corrente di guasto a terra è ancora più bassa per le linee di cavi elettrici a corrente forte (cavi ad alta tensione o cavi elettrici a bassa tensione). La maggior parte della corrente di guasto unipolare torna al nodo della rete di alimentazione nella schermatura del cavo. Solo la componente di corrente di guasto che fluisce nella schermatura del cavo o nelle parti messe a terra del sistema, crea un imbuto di tensione nel terreno, che può portare a una scarica distruttiva verso altre infrastrutture longitudinalmente conduttive.

Raggio di isolamento r [m]	Corrente di passaggio al terreno $I_{eff}$ [A]				
	1'000 A	5'000 A	10'000 A	20'000 A	40'000 A
Resistività del terreno $\rho$ [Ωm]	Ampiezza elettrica della corrente di passaggio al terreno $\hat{I}$ [A]				
	1'414 A	7'071 A	14'142 A	28'284 A	56'569 A
100 Ωm	0.30	0.67	0.95	1.3	1.9
200 Ωm	0.42	0.95	1.3	1.9	2.7
500 Ωm	0.67	1.5	2.1	3.0	6.0
1'000 Ωm	0.9	2.1	3.0	4.2	8.5
2'000 Ωm	1.3	3.0	4.2	6.0	13.4
5'000 Ωm	2.1	4.7	6.7	9.5	19.0
0.5 m/kA( $I_{eff}$ ) (almeno 3 m)	3.0	3.0	5.0	10.0	20.0

Tabella 1 Raggio di ionizzazione calcolato r nel terreno a diverse ampiezze della corrente di passaggio al terreno  $\hat{I}$  e a diversi valori della resistività del terreno  $\rho$ , ipotizzando che l'intensità del campo di ionizzazione  $E_i = 2,5$  kV/cm (secondo Berger [10]) e che la corrente si propaghi in modo semisferico nel terreno:

$$\text{Relazione: } r = \sqrt{\hat{I} \rho / (E_i 2 \pi)}, \text{ si veda anche [10]}$$

Ultima riga: confronto con la regola per le distanze tra condotte e i sostegni secondo OLEI 1994-2006 [3].

## 2.2 Differenza: incrocio e parallelismo

Secondo OLEI [3] esiste una differenza significativa nelle distanze di sicurezza tra condotte e cavi a corrente forte, in caso di incroci e parallelismi.

Nel caso di incroci, la probabilità che si verifichi un guasto a terra del cavo a corrente forte nell'area di influenza della condotta è molto più bassa rispetto al caso in cui i due sistemi corrano paralleli per molti metri a breve distanza uno dall'altro.

### 3. Distanze minime in caso di interazione ohmica

#### 3.1 Distanze orizzontali minime in caso di vicinanze e parallelismi di impianti elettrici a corrente forte e condotte

La Tabella 2 definisce le distanze orizzontali minime tra impianti elettrici a corrente forte e condotte. Se la distanza dipende dalla corrente, per la valutazione della corrente di passaggio al terreno deve essere presa in considerazione il valore della corrente di guasto a terra che passa nel terreno. I valori della corrente che passano attraverso cavi sotterranei o le schermature dei cavi possono essere trascurate.

Impianto a corrente forte (tensione operativa)	Distanza orizzontale minima dalla condotta
Conduttori nudi o isolati di linee elettriche aeree:	<b>d1</b>
Fino a 50 kV	3 m
Oltre 50 kV	10 m
Sostegni, incluse le messe a terra*	<b>d2</b>
Fino a 50 kV	3 m
Oltre 50 kV	0,5 m per kA di corrente di passaggio al terreno, almeno 3 m
Centrali elettriche, sottostazioni, impianti di distribuzione, incluse le messe a terra	<b>d3</b>
Fino a 100 kV	0,5 m per kA di corrente di passaggio al terreno, almeno 10 m
Oltre 100 kV	30 m

Tabella 2 Distanze orizzontali minime per vicinanze e parallelismi degli impianti a corrente forte e dei sistemi di condotte in relazione all'interazione ohmica (Figura 1)

\*: Le fondazioni in cemento armato dei piloni fanno completamente parte della messa a terra del pilone.

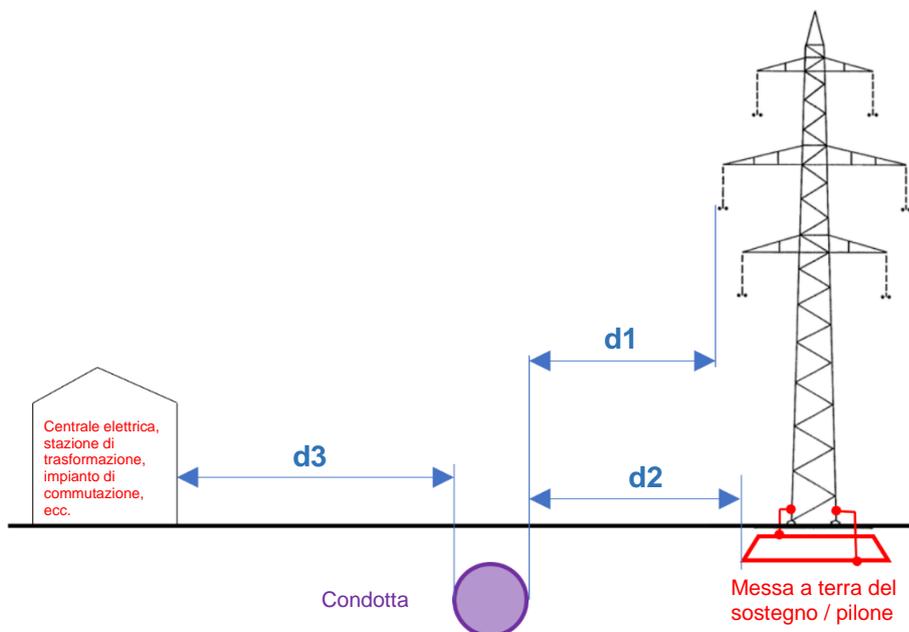


Figura 1 Vicinanza di impianti elettrici a corrente forte a condotte

Secondo l'art. 127 OLEI [1], agli incroci con le linee aeree a corrente forte, le condotte devono essere interrate e coperte da almeno 1 m di terra (Figura 2).

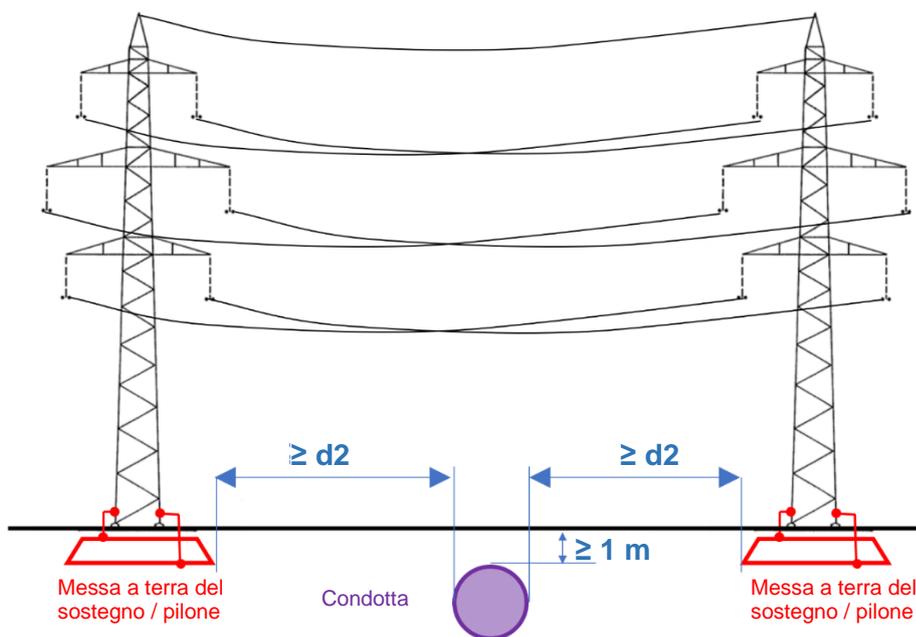


Figura 2 Incrocio tra linea aerea e condotta

### 3.2 Distanze minime tra linee elettriche in cavo interrato e condotte

Linee in cavo (tensione operativa)	Fino a 50 kV	Oltre 50 kV	
Linee in cavo parallele alla condotta (Figura 3)	2 m di strato di terra	0,5 m per kA di corrente di passaggio al terreno, almeno 3 m	<b>d4</b>
Incrocio tra una linea elettrica in cavo a corrente debole o forte e una condotta (Figura 4)	0,5 m		

Se la linea in cavo presenta un isolamento aggiuntivo (ad esempio, tubazioni di protezione in materiale plastico, blocco di tubazioni\*), la distanza può essere ridotta a 0,5 m di strato di terra (Figura 3). Viene fatto salvo l'articolo 11 OSITC.

Tabella 3 Distanze minime tra le linee elettriche interrate in cavo a corrente debole o forte e i sistemi di condotte

\*: Le tubazioni per cavi in materiale plastico sono considerate un isolamento aggiuntivo. Le distanze d4 si applicano alle costruzioni di pozzetti che presentano durante il funzionamento collegamenti di messa a terra all'impianto di messa a terra della linea elettrica a corrente forte (mantello dei cavi, scaricatori, ecc.).

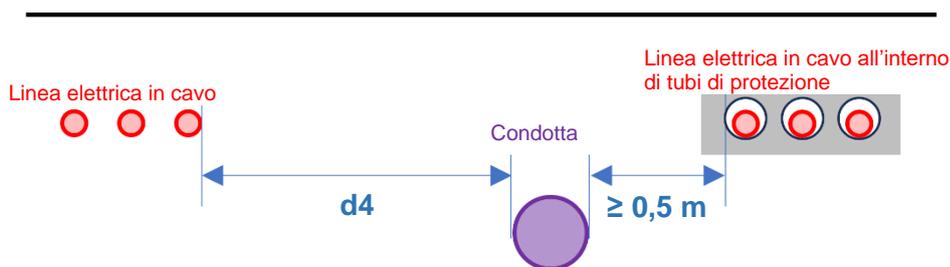


Figura 3 Vicinanza tra linea elettrica in cavo a corrente forte e sistemi di condotte

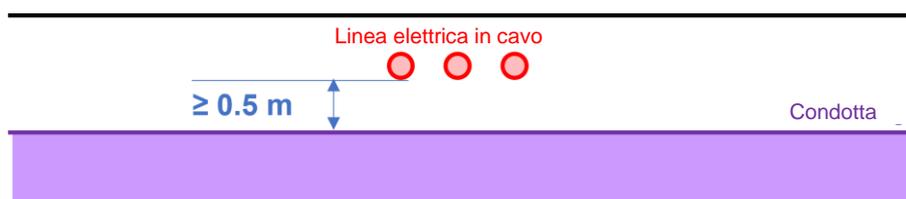


Figura 4 Incrocio tra linea elettrica in cavo e condotta

## 4. Bibliografia

- [1] RS 734.31 « Ordinanza sulle linee elettriche (OLEI) » del 30 marzo 1994 (stato 1° luglio 2021)
- [2] RS 734.31 « Ordinanza sulle linee elettriche (OLEI) » del 30 marzo 1994 (stato 1° settembre 2009)
- [3] RS 734.31 « Ordinanza sulle linee elettriche (OLEI) » del 30 marzo 1994 (stato 30 marzo 1994)

- [4] RS 746.11 «Ordinanza sugli impianti di trasporto in condotta di combustibili o carburanti liquidi o gassosi (Ordinanza sugli impianti di trasporto in condotta, OITC)» del 26 giugno 2019 (stato 1° luglio 2023)
- [5] RS 746.12 «Ordinanza sulle prescrizioni di sicurezza per gli impianti di trasporto in condotta (OSITC)» del 4 giugno 2021 (stato del 1° luglio 2023)
- [6] RS 746.12 «Ordinanza sulle prescrizioni di sicurezza per gli impianti di trasporto in condotta (Ordinanza sulla sicurezza degli impianti di trasporto in condotta, OSITC)» del 4 aprile 2007 (stato 1° agosto 2019)
- [7] SfB, TE7 “Maßnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflussbereich von Hochspannungs-Drehstromanlagen und Wechselstrom-Bahnanlagen (Misure nella costruzione e nel funzionamento di condotte nella zona di influenza di impianti elettrici in corrente trifase ad alta tensione e impianti ferroviari in corrente alternata)”, Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen SfB, Deutsche Bahn AG, Deutsche Telekom AG, Verband der Elektrizitätswirtschaft VDEW e.V., TE7 ottobre 2006, testo corrispondente alla raccomandazione n. 3 dell’AfK, Arbeitsgemeinschaft DVGW/VDE für Korrosionsfragen (AfK), DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. 53123 Colonia, Josef-Wirmer-Strasse 1-3,
- [8] SNEN IEC 60071-1:2019-10 «Coordinamento dell’isolamento - Parte 1: Definizioni, principi e regole)»
- [9] Swissgas, “Merkblatt Sicherheits- und Mindestabstände zu Rohrleitungsanlagen” del 30.06.2010
- [10] Berger K., “Das Verhalten von Erdungen unter hohen Stossströmen”, Bull. SEV vol. 37, (1946), fasc. 8, pp. 197-211
- [11] Berger K.; «Le comportement des prises de terre sous courants de choc de grande intensité»; Cigré Session 1946, Paper 320
- [12] Berger K., Baumann W.; “Die Gefährdung von Rohrleitungen im Spannungstrichter von Hochspannungs-Erdungen”; Bull. SEV vol. 60 (1969), fasc. 12, pp. 525-534
- [13] Mousa A. M.; “The soil ionization gradient associated with discharge if high currents into concentrated electrodes”; IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, (1994), pp 1669-1677
- [14] Nor N. M., Haddad A., Griffiths H.; “Determination of threshold electric field EC of soil under high impulse currents”; IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 3, pp. 2108-2113, luglio 2005
- [15] Nixon K. J., Jandrell I. R., Philips A. J.; “A simplified model of the lightning performance of a driven rod earth electrode in multi-layer soil that includes the effect of soil ionisation”; Conference Record of the IEEE Industry Applications Conference on the occasion of the 41st IAS Annual Meeting; 2006, pp. 1821-1825
- [16] Sprecher E.; “Untersuchungen über den Erdungswiderstand verschiedener Bodenarten und die Vorausberechnung der Elektroden”; Bull. SEV vol. 25, fasc. 15, 1934
- [17] SNEN 50443: 2012-08; “Effetti delle interferenze elettromagnetiche sulle tubazioni causate da sistemi di trazione elettrica ad alta tensione in corrente alternata e/o da sistemi di alimentazione ad alta tensione in corrente alternata”

**Autori:**

ESTI:	Günther Storf, Daniel Otti
IFO:	Roger Bächtiger, Stephan Messerschmid
SVGW:	Matthias Hafner, Tobias Mühle
Axpo:	Toni Wunderlin

FKH: Reinhold Bräunlich, Philipp Alff

SKG: Markus Büchler