



Zeno Martini (admin)

LINEE DI TRASMISSIONE - 4: COSTANTI FONDAMENTALI DELLE LINEE

5 April 2012

Abstract

Nei due precedenti articoli ([1](#) e [2](#)) si è visto che per schematizzare una linea di trasmissione è necessario conoscerne le costanti fondamentali. Sono la **resistenza** r , la **reattanza** x , la **suscettanza** b e la **conduttanza** g per unità di lunghezza. In questo si vedrà come calcolarle, sia per linee aeree che in cavo. I costruttori di cavi, ed anche di corde nude, ne forniscono in genere il valore; occorre però ricordare che esso è riferito alla configurazione geometrica, specificata dal costruttore.

resistenza chilometrica: $r \rightarrow \Omega/\text{km}$

linee aeree

La resistenza chilometrica è proporzionale al rapporto tra la resistività ρ del materiale (rame o alluminio) che dipende dalla temperatura, e la sua sezione S . Quindi, a 20 °C si può porre

$$r_{20} = K \frac{\rho_{20}}{S} \quad [1]$$

$$\rho_{Cu_{20}} = 17,8 \Omega \text{ mm}^2/\text{km}$$

$$\rho_{Al_{20}} = 28,4 \Omega \text{ mm}^2/\text{km}$$

$K = 1,02 \div 1,05$ è un coefficiente di maggiorazione per tenere conto:

- della maggiore lunghezza del conduttore rispetto alla lunghezza topografica;
- di perdite aggiuntive nelle giunzioni;
- dell'effetto pelle;
- delle perdite per isteresi e correnti parassite nell'eventuale anima in acciaio.

Nel caso di conduttori a fascio (vedi paragrafo successivo) la sezione da considerare è la somma delle sezioni dei conduttori che costituiscono il fascio.

Si deve poi tenere in conto la dipendenza dalla temperatura

$$r_{\vartheta} = r_{20} [1 + \alpha (\vartheta - 20)]$$

$$\alpha_{Cu} = 0,0039 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; \alpha_{Al} = 0,0040 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

I costruttori ne forniscono il valore per diverse temperature, come si può vedere ad esempio nel foglio dati della corda 3M ACCR, riportato nel paragrafo finale sui Dati tecnici.

cavi

anche per i cavi vale una formula simile a quella per le linee aeree con un K che tiene conto della cordatura e dell'effetto pelle.

Sono però da contabilizzare anche le perdite addizionali negli schermi. Gli schermi sono sede di forza elettromotrice indotta dalla corrente nelle fasi. Se sono aperti ad un'estremità, non sono percorsi da corrente, quindi non influiscono sul valore delle costanti. Se però si chiudono in corto da entrambi i lati, la fem indotta fa circolare correnti che dipendono dalla resistenza degli schermi. Aumentano complessivamente le perdite per effetto Joule e tutto avviene come se la resistenza dei conduttori aumentasse del (50% ÷ 90%).

La messa in cortocircuito degli schermi può essere fatta per diminuire la reattanza (vedi paragrafo successivo) dei conduttori del (30% ÷ 50%).

reattanza chilometrica: $x = \omega l \rightarrow \Omega/\text{km}$

E' calcolabile con la formula

$$x = \omega \left(\frac{l_i}{n} + 0,46 \log \frac{2D}{d_{eq}} \right) 10^{-3} \quad [2]$$

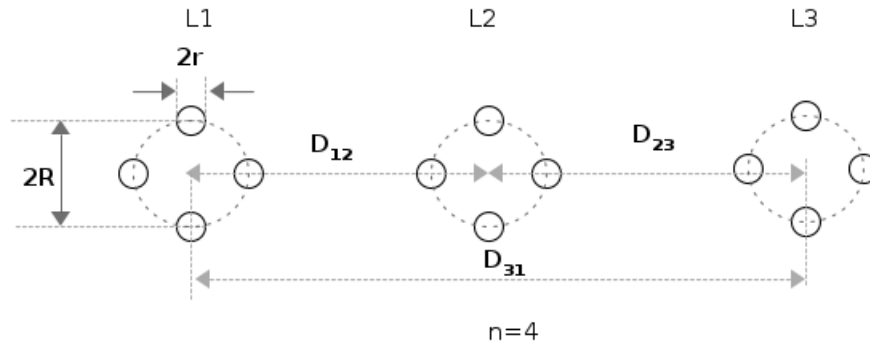
dove, indicando con D_{ij} la distanza tra i conduttori i e j

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{13}D_{23}}$$

è la media geometrica delle distanze e

$$d_{eq} = 2R \sqrt[n]{\frac{nr}{R}}$$

è il diametro equivalente quando una fase è suddivisa in un fascio di n conduttori ciascuno di raggio r disposti su una circonferenza di raggio R , come mostrato in figura e la terna di conduttori è simmetricamente disposta ed opportunamente trasposta (scambio regolare della posizione delle fasi)



- se il conduttore è unico ed $n = 1$, $r = R \rightarrow d_{eq} = 2r$
- Il fascio di conduttori è in genere usato per linee a 380 kV

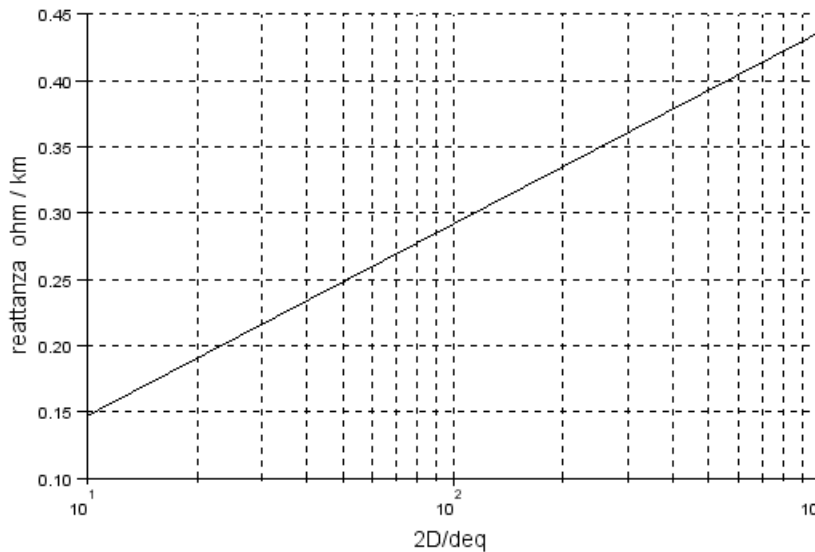
l_i è l'induttanza corrispondente al flusso magnetico interno al conduttore. Se la densità di corrente è uniforme si assume

- $l_i = 0,05$ per conduttori in rame o alluminio o lega di alluminio
- $l_i = 0,033$ per conduttori alluminio acciaio.

Da osservare che esso vale zero se la resistività è nulla. In tal caso infatti la corrente è completamente superficiale, come se il conduttore fosse cavo ed all'interno non esiste campo magnetico.

Il flusso interno fa variare la reattanza dall'1% al 4%.

In base alla [2] si ha il seguente grafico



reattanza chilometrica - $f=50$ Hz

Si può anche scrivere in modo più compatto la [2] modificando l'argomento del logaritmo per tenere conto del flusso interno. Introducendo il concetto di diametro equivalente, indicato con 2δ , come il valore che deve soddisfare all'uguaglianza

$$0,46 \log \frac{2D}{2\delta} = \frac{l_i}{n} + 0,46 \log \frac{2D}{d_{eq}}$$

si ottiene

$$0,46 \log \frac{d_{eq}}{2\delta} = \frac{l_i}{n} \text{ per cui si può porre}$$

$$\delta = k \frac{d_{eq}}{2} \text{ (detto raggio geometrico medio) con}$$

$$k = \frac{1}{10^{\frac{l_i}{0,46n}}}$$

- Se il conduttore è unico e la sezione è piena, in rame o alluminio si ha

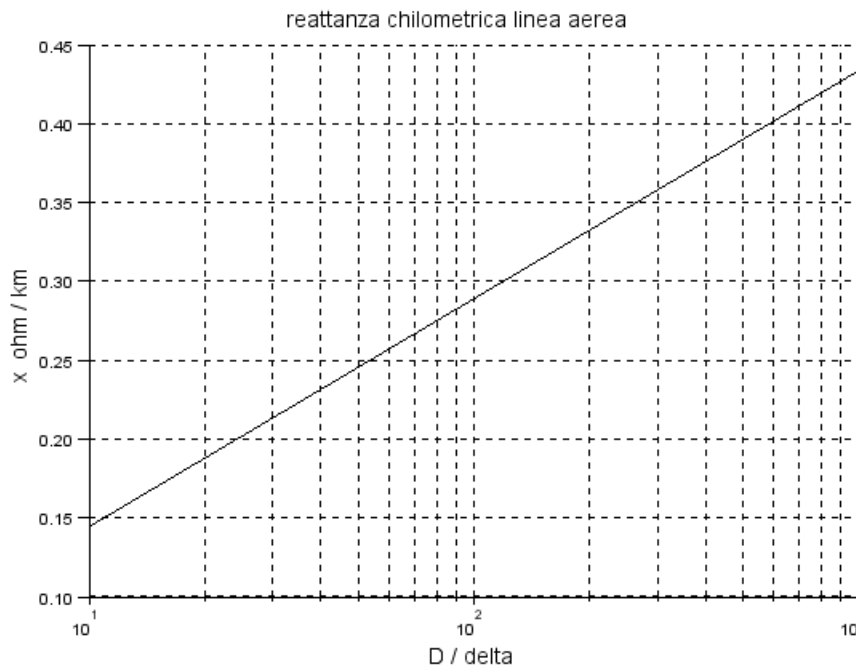
$$k = \frac{1}{10^{\frac{0,05}{0,46}}} = 0,779$$

- Se la sezione è cava $k = 1$

La [2] diventa dunque

$$x = \omega \left(0,46 \log \frac{D}{\delta} \right) \quad [2.a]$$

cui corrisponde, alla frequenza di 50 Hz, il grafico (che in pratica è il precedente: cambia solo il modo di calcolare l'ascissa)



reattanza Chilometrica - raggio geometrico medio

Nota: per la reattanza a 60 Hz, basta moltiplicare i valori del grafico per 1,2

Il costruttore può fornire la reattanza riferita ad una data configurazione geometrica dei conduttori. Nel caso della corda ACCR della 3M, la distanza tra i conduttori disposti ai vertici di un triangolo equilatero è di $D = 1 \text{ ft} = 30,48 \text{ cm}$. Fornisce anche il raggio geometrico medio (geometric mean radius).

Se consideriamo ad esempio la **corda Hawk 477TW** il valore, a **60 Hz**, è $x_a = 0,273 \Omega/\text{km}$.

Applicando la formula con $\delta = 8,16 \text{ mm}$ quindi $\frac{D}{\delta} = 37,4$ otteniamo infatti

$$x_a = 2\pi \times 60 \times 0,46 \times (\log 37,4) \times 10^{-3} = 0,273 \Omega/\text{km}.$$

A 50 Hz è $x = \frac{0,273}{1,2} = 0,227 \Omega/\text{km}$ rilevabile anche dal grafico ovviamente.

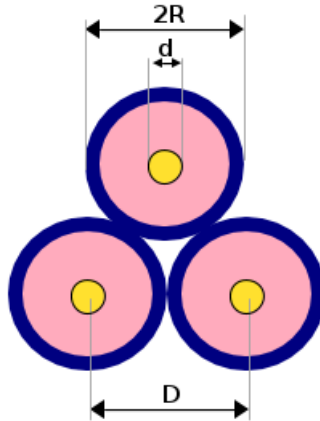
cavi unipolari

Schermi non cortocircuitati

Se gli schermi dei cavi non sono cortocircuitati, si possono utilizzare le stesse formule delle linee aeree.

I valori di reattanza sono inferiori a quelli delle linee aeree in quanto la distanza tra i conduttori è molto minore. Generalmente i costruttori forniscono il valore

dell'induttanza di esercizio per una ideale **disposizione a trifoglio**, dove i conduttori sono al vertice di un triangolo equilatero di lato pari al diametro complessivo del cavo.



Se si dispongono in piano si userà la media geometrica delle distanze e la reattanza aumenta rispetto alla disposizione ideale, come per le linee aeree

Esempio

Consideriamo il cavo di sezione 240 mm^2



TECHNICAL DATA

132 kV Polycab 132 KV, Single Core XLPE Cable with Copper / Aluminium Conductor, Screened, XLPE Insulation, Lead alloy "E" sheathed and Copper Screened with PVC / PE Sheath

Nominal Cross Section of Conductor	Conductor Diameter (approx.)	XLPE Insulation Thickness (Nominal)	Lead Sheath Thickness	PVC / HDPE Outer Sheath thickness	Copper Screen Area	Overall Dia of Cable	Weight of COPPER Cable (Approx.)	Weight of ALUMINIUM Cable (Approx.)
Sq.mm	mm	mm	mm	mm	Sq.mm	mm	kg/km	kg/km
240	18.4	18	2.3	3.3	95	74	12300	10800
300	20.5	18	2.3	3.4	95	76	13400	11550
400	23.0	18	2.4	3.5	95	78	15600	13100
500	27.0	18	2.4	3.6	95	84	16800	12350
630	30.0	18	2.5	3.8	95	86	18500	14600

ELECTRICAL DATA

132 kV 1 CORE XLPE CABLES

Size	Conductor Resistance Ohm/KM				Short Circuit Capacity of Conductor. kA / Sec.		Capacitance (Approx.)	Inductance	Charging Current - Rated Voltage
	At 20°C		At 90°C		Cu.	Al.			
Sq.mm	Cu.	Al.	Cu.	Al.	Cu.	Al.	uF / km.	mH / km.	Amps/km.
240	0.0754	0.125	0.0973	0.161	34.5	22.7	0.12	0.48	2.87
300	0.0601	0.10	0.0781	0.129	42.9	28.3	0.13	0.46	3.10
400	0.0470	0.0778	0.0619	0.1010	57.2	37.8	0.14	0.45	3.35
500	0.0366	0.0605	0.0493	0.0792	71.5	47.2	0.16	0.43	3.82
630	0.0283	0.0469	0.0395	0.0623	90.1	59.5	0.17	0.41	4.0
1000	0.0176	0.0291	0.0276	0.0410	143	94.5	0.21	0.37	5.0

Il diametro del conduttore è $d = 18,4$ mm, mentre $D = 74$ mm è il diametro complessivo del cavo. Si ha

$$\delta = 0,779 \frac{d}{2} = 0,779 \times 9,2 = 7,17 \text{ mm}$$

$$l = \frac{x}{\omega} = 0,46 \log \frac{D}{\delta} = 0,46 \log \frac{74}{7,17} = 0,47 \text{ mH/km}$$

che è molto simile a quello fornito

schermi cortocircuitati

Se gli schermi dei cavi sono cortocircuitati, come già è stato detto a proposito della resistenza, le reattanze di esercizio diminuiscono, mentre la resistenza apparente aumenta.

Indicando con r_s la resistenza unitaria dello schermo e considerando la mutua induttanza tra conduttori e schermi, esprimibile in mH/km con

$$m = 0,46 \log \frac{D}{R} \quad [2.a]$$

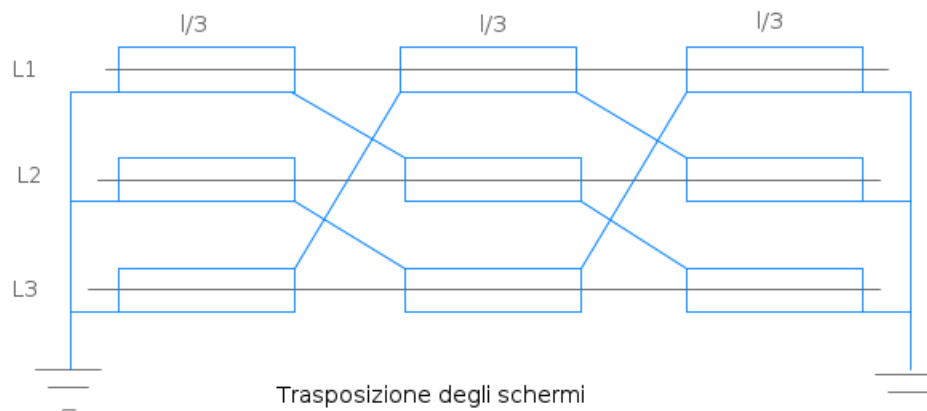
dove R è il raggio dello schermo e D la distanza tra i conduttori, si ha una diminuzione della reattanza

$$x' = x - \frac{(\omega m)^3}{r_s^2 + (\omega m)^2} \quad [2.c]$$

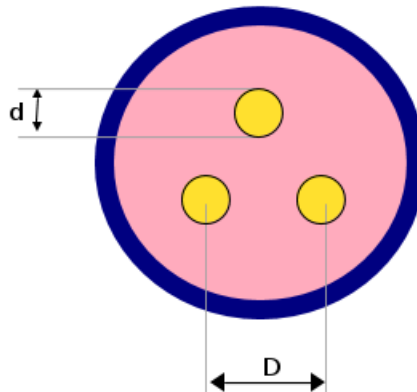
ed un aumento della resistenza

$$r' = r + \frac{r_s(\omega m)^2}{r_s^2 + (\omega m)^2} \quad [2.d]$$

Per ridurre le perdite, in linee lunghe si tagliano gli schermi e si incrociano i loro collegamenti in modo che in ognuno sia indotta una corrente dovuta alla somma delle correnti indotte delle tre fasi: se le correnti sono equilibrate, la corrente indotta nello schermo è nulla.



NB: per cavi disposti a trifoglio $\frac{D}{R}$ è poco maggiore di 2.

cavi tripolari

In questo caso le condizioni dello schermo non influiscono in pratica sulla reattanza per cui si può usare la solita formula, in mancanza del dato fornito dal costruttore. La resistenza apparente del conduttore può aumentare del 5% ÷ 10%.

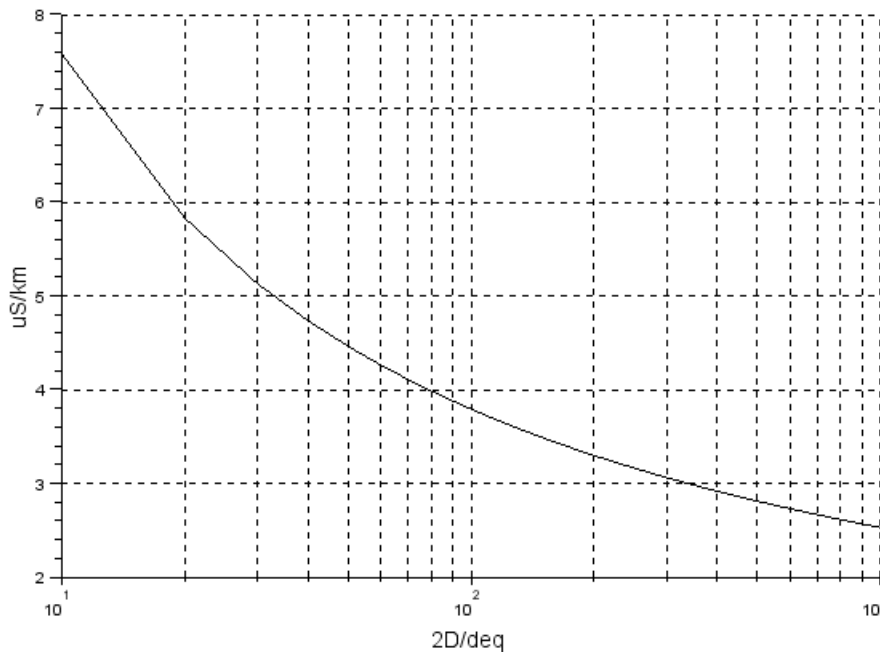
suscettanza chilometrica: $b = \omega c \rightarrow S/\text{km}$

linee aeree

la suscettanza di esercizio è determinata dalla capacità tra i conduttori e tra i conduttori e terra, ma la capacità verso terra non influisce molto sul suo valore ed in prima approssimazione può essere trascurata. Per le linee aeree si può calcolare con

$$b = \omega \frac{24,14}{\log \frac{2D}{d_{eq}}} \times 10^{-9} \quad [3]$$

con il solito significato dei simboli D e d_{eq} .



suscettanza linee aeree - $f=50$ Hz

linee in cavo

Anche questo parametro è in genere fornito dal costruttore nel caso dei cavi. Per cavi unipolari con schermo vale la formula vista per le linee aeree dove però compare la costante dielettrica relativa dell'isolante (per l'aria la costante dielettrica relativa è uguale ad 1) e la distanza D che si considera è in pratica il raggio interno dello schermo R . Quindi, indicando con r il raggio del conduttore si pone

$$D = R \text{ e } d_{eq} / 2 = r$$

$$b = \omega \frac{24,14\epsilon_r}{\log \frac{R}{r}} \times 10^{-9} \quad [3.a]$$

La costante dielettrica relativa vale

- $\epsilon_r = 3,5 \div 4$ per carta impregnata
- $\epsilon_r = 2,3 \div 2,5$ per il polietilene
- $\epsilon_r = 4$ per la gomma butilica

Per i cavi tripolari con unico schermo è bene riferirsi al dato del costruttore. Una formula utilizzabile è comunque

$$b = \omega \frac{24\epsilon_r}{\log\left(2,66\frac{s}{d} + 1\right)} 10^{-9} \frac{\text{S}}{\text{km}} \quad [4]$$

dove d è il diametro del conduttore ed S lo spessore dell'isolante tra conduttore e schermo.

conduttanza chilometrica $g \rightarrow \text{S/km}$

linee aeree

tiene conto dell'[effetto corona](#) e di altre perdite negli isolatori. Generalmente si valutano tali perdite globalmente, per fase e per chilometro, ed indicando con p tale perdita in kW e con E il valore efficace della tensione stellata in kV, si ha

$$g = \frac{p}{E^2} \quad \text{mS/km} \quad [5]$$

E' un parametro di incerta valutazione, che dipende dalle condizioni atmosferiche, ma generalmente ha valori che possono essere trascurati per quanto riguarda il calcolo delle tensioni e delle correnti a regime, anche se le perdite possono essere importanti ai fini di una valutazione economica.

Per avere un'idea dell'ordine di grandezza:

perdite sugli isolatori

le perdite su ogni isolatore sono dell'ordine di qualche watt ($1 \div 3$) con tempo asciutto e fino ad un paio di decine con tempo umido. Si può nel complesso arrivare alla perdita di 1 kW/km

perdite oer effetto corona

L'effetto corona si manifesta quando il campo elettrico sulla superficie del conduttore supera la rigidità dell'aria (30 kV/cm) in aria secca (quindi 21 kV/cm efficaci).

Si manifesta con piccole scariche superficiali luminose e piccoli colpi secchi. Vengono emesse radiazioni elettromagnetiche che provocano radiointerferenze, sia dalle piccole scariche che dalle armoniche che si instaurano nella corrente della linea. Esiste una tensione critica che dipende dalle condizioni atmosferiche e dal raggio del conduttore. Quest'ultimo deve essere superiore ad un determinato valore a seconda della tensione, per cui in AAT (380 kV) si adottano conduttori ingrossati con riempitivi inerti. Con i conduttori a fascio il raggio da prendere in considerazione è quello equivalente, abbastanza maggiore di quello dei singoli conduttori per cui anche tale soluzione è adottata in AAT. Ad ogni modo, pur causando perdite, la conduttanza ha di solito un valore nettamente inferiore alla suscettanza e può anche essere trascurata

nei calcoli. Nel progettare le linee si fa in modo che la tensione critica sia inferiore alla tensione di fase.

cavi

La corrente assorbita a vuoto da un cavo ha una componente capacitiva, in quadratura con la tensione e ad essa proporzionale tramite la suscettanza b , ed una componente in fase che è responsabile della potenza attiva persa ed è proporzionale alla tensione tramite la conduttanza g . Il rapporto tra la componente in fase e quella in quadratura, uguale al rapporto tra conduttanza e suscettanza, è la tangente dell'angolo di perdita del dielettrico. Viene indicato con $\tan\delta$ e permette di calcolare la conduttanza nota che sia la suscettanza

$$g = b \tan\delta$$

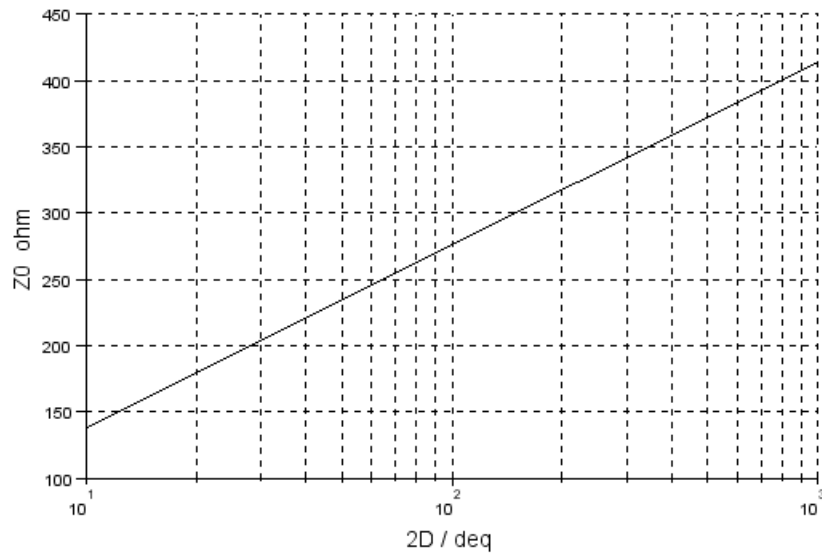
Aumenta con l'aumentare della temperatura e vale

- $\tan\delta = 0,003 \div 0,01$: carta impregnata in olio, XLPE polietilene reticolato, EPR gomma etilenpropilenica, che sono i dielettrici usati nei cavi AT
- $\tan\delta = 0,05$: gomma e materiale termoplastico comune

Impedenza caratteristica (linea ideale)

Ideale significa considerare nulle r e g . Dalle espressioni precedenti per reattanza e suscettanza si ricava, per le linee aeree

$$Z_0 = \sqrt{\frac{x}{y}} = \sqrt{\frac{0,46 \left(\log \frac{2D}{d_{eq}}\right)^2 \times 10^{-3}}{24,14 \times 10^{-9}}} = 138 \log \frac{2D}{d_{eq}} \quad \Omega$$



Impedenza caratteristica di linee aeree ideali

Esercizi

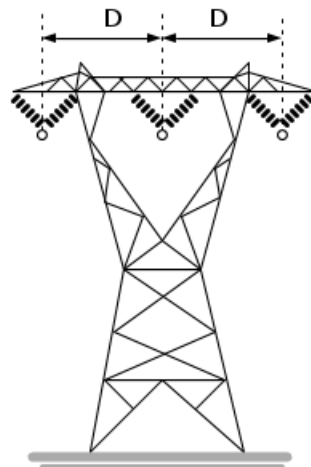
Linea aerea

Linea a $V_n = 220\text{kV}$ $f = 50\text{ Hz}$

$D = 8\text{ m}$

conduttore unico per fase: corda alluminio-acciaio $\phi = 26,9\text{ mm}$

$S_{Al} = 349\text{ mm}^2$



$$d_{eq} = \phi$$

$$D_{12} = D_{23} = \frac{D_{13}}{2}$$

$$D = \sqrt[3]{8 \times 8 \times 16} = 10,1\text{m}$$

$$\frac{2D}{d_{eq}} = \frac{2 \times 10100}{26,9} = 751$$

- $x = 0,314 \times (0,033 + 0,46 \log 751) = 0,426 \Omega/\text{km}$

per un $k = 1,03$ ed una temperatura di funzionamento di $\theta = 45^\circ\text{C}$ abbiamo

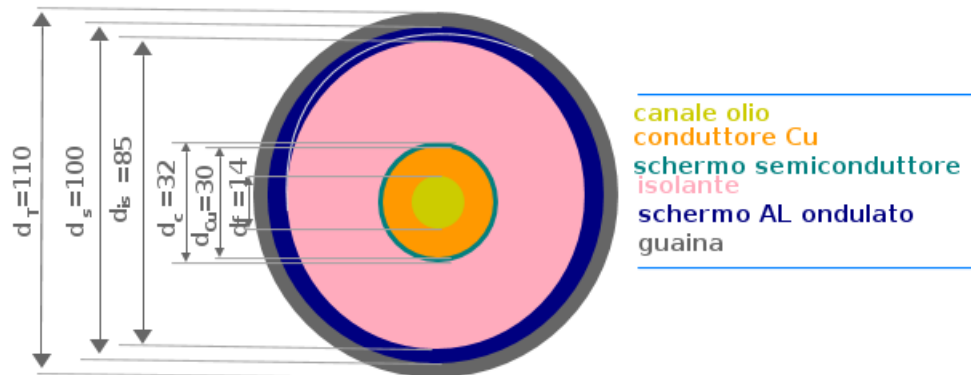
- $r = 1,03 \times \frac{28,4 \times 1,098}{349} = 0,092 \Omega/\text{km}$
- $b = 0,314 \times \frac{24,14}{\log \frac{2 \times 10100}{26,9}} = 2,63 \times 10^{-6} \text{ S / km}$

Ammettendo perdite sugli isolatori pari a $p = 600 \text{ W/km}$ si ha

- $g = \frac{200}{127^2} \times 10^{-6} = 0,012 \text{ S/km}$

Linea in cavo

Cavo in olio fluido (cavo Emanuelli: vedi riferimenti), isolamento in carta impregnata. Linea trifase con cavi disposti a trifoglio; $f = 50 \text{ Hz}$



Lo schermo è ondulato in senso longitudinale ed il suo spessore è di $s = 2 \text{ mm}$. Assimilandolo ad una corona circolare di raggio interno $85/2 \text{ mm}$, se ne può valutare la una resistenza chilometrica con la [1]

$$r_s = \frac{\rho_{Al}}{2\pi R_{medio} s} = \frac{28,4}{2\pi \times 43,5 \times 2} = 0,052 \Omega/\text{km}$$

Sempre con la [1], considerando un $K=1,02$ a 20°C abbiamo una

$$\bullet r = 1,02 \times \frac{17,8}{350} = 0,052 \Omega/\text{km}$$

valore da considerare con **schermi aperti**, corretto sempre in base alla temperatura di funzionamento. Per la suscettanza, considerando una costante dielettrica relativa $\epsilon_r = 4$ si ottiene, applicando la [3.a]

$$\bullet b = 0,314 \times \frac{24,14 \times 4}{\log \frac{42,5}{16}} = 71 \times 10^{-6} \text{ S/km}$$

Per la reattanza, sempre considerando gli schermi aperti, si applica la [2.a] con

$$D = 110 \text{ mm e } \delta = 0,779 \times 16 = 12,5 \text{ mm}$$

$$\bullet x = 0,314 \times 0,46 \log \frac{110}{12,5} = 0,136 \Omega/\text{km}$$

Con gli **schermi cortocircuitati** sia la r che la x sono modificate secondo, rispettivamente, le [2.c] e [2.d]. Occorre calcolare m che è il coefficiente di mutua induzione tra conduttore e rispettivo schermo che si calcola con la [2.a]

$$m = 0,46 \times \log \frac{110}{42,5} = 0,19 \text{ mH/km}$$

Quindi avremo per la reattanza un decremento pari a

$$\Delta x = \frac{(314 \times 0,19 \times 10^{-3})^3}{0,052^2 + (314 \times 0,19 \times 10^{-3})^2} = \frac{212349 \times 10^{-9}}{0,052^2 + 3559 \times 10^{-6}} = 0,034 \Omega/\text{km}$$

e per la resistenza un incremento di

$$\Delta r = \frac{0,052 \times (314 \times 0,19 \times 10^{-3})^2}{0,052^2 + (314 \times 0,19 \times 10^{-3})^2} = \frac{185 \times 10^{-6}}{6,26 \times 10^{-3}} = 0,0296 \Omega/\text{km} \text{ che è il } 57\%$$

della resistenza propria del conduttore, il che sta a significare che della stessa percentuale aumenteranno le perdite che ad esempio con una corrente di 400 A sono circa 25 kW per ogni km con schermi aperti ($3rI^2$)

quindi i nuovi valori sono

$$\begin{aligned} \bullet x' &= 0,136 - 0,034 = 0,102 \Omega/\text{km} \\ \bullet r' &= 0,052 + 0,0296 = 0,0816 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Assumendo infine pari $\tan \delta = 0,003$ si avrà una conduttanza

- $g = b \tan \delta = 71 \times 0,003 \times 10^{-6} = 0,213 \times 10^{-6} \text{ S/km}$

Alcuni dati tecnici

Corde nude

Alluminio-Acciaio

Ecco ad esempio le caratteristiche di una di esse

$$S_{Al} = 519 \text{ mm}^2 \quad S_{acc} = 65 \text{ mm}^2 \quad d = 31,5 \text{ mm}$$

$$m_u = 1953 \text{ kg/km: massa unitaria}$$

$$\text{Carico di rottura} = 16 \times 10^4 \text{ N}$$

$$r_{20} = 0,05564 \Omega/\text{km: resistenza a } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I_{Max} = 720 \text{ A: corrente massima (sovratemperatura di } 30^\circ\text{C in aria stagnante a } 40 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Alluminio Rinforzato: ACCR 3M

Conductor Physical Properties		Hawk 477TW	Mohawk
Diameter Equivalent Round-wire	Unit		Flicker
Designation		ACCR-TW_477-T16	ACCR-TW_572-T13
Stranding		18/7	18/7
Diameter			
Individual Core	mm	2.7	2.7
Individual Aluminum	mm	NA	NA
Core	mm	8.0	8.0
Total Conductor Diameter	mm	20.0	21.6
Area			
Aluminum	mm ²	242	290
Total Area	mm ²	281	329
Weight			
Core	N/m	1.319	1.319
Aluminum	N/m	6.533	7.833
Total Weight	N/m	7.851	9.151
Strength	N	85,148	92,079
Thermal Elongation			
Core	10 ⁻⁶ /°C	6.3	6.3
Aluminum	10 ⁻⁶ /°C	23.0	23.0
Complete Cable	10 ⁻⁶ /°C	16.8	17.5
Heat Capacity			
Core	W-sec/m-°C	44	44
Aluminum	W-sec/m-°C	636	763

Conductor Electrical Properties			
Resistance			
DC @ 20°C	ohms/km	0.1134	0.0956
AC @ 25°C	ohms/km	0.1161	0.0979
AC @ 50°C	ohms/km	0.1276	0.1076
AC @ 75°C	ohms/km	0.1391	0.1173
AC @ 100°C	ohms/km	0.1505	0.1269
AC @ 210°C	ohms/km	0.2011	0.1696
AC @ 240°C*	ohms/km	0.2149	0.1812
Geometric Mean Radius	mm	8.16	8.68
Reactance (1 ft spacing, 60hz)			
Inductive X _a	ohms/km	0.2730	0.2683
Capacitive X' _a	Mohms-km	0.1630	0.1594
Ampacity			
210°C	amps	1,148	1,282
240°C*	amps	1,232	1,377

Because the trapezoidal shape of the outer wires incorporates more aluminum, the weight and sag may increase slightly compared to diameter round wire designs. Your 3M representative can help you choose the optimal combination of conductor properties for your application.

* Emergency operating temperature, 1,000 hours cumulative over the life of the conductor. Ampacity ratings were calculated using IEEE Std. 7 with inputs of 40°C air temperature, 0.6 m/s wind, and emissivity and absorptivity of 0.5, at sea level.


3M ACCR corda in alluminio rinforzato

Ampacity

Il costruttore indica anche il valore di corrente massima che a corda può ammettere in determinate condizioni. Nel caso specifico: 40°C di temperatura ambiente con vento di 0,6 m/s. E' denominata internazionalmente ampacity, una fusione di ampere e capacity.

Cavi AT

Isolante XLPE

Single-core Cable for 132/76 (145) kV with Copper wire screen and Aluminum laminated sheath		XDRCU-ALT
Cable layout <ul style="list-style-type: none"> Copper conductor, round stranded or segmented optionally with longitudinal water barrier Inner semiconductive layer firmly bonded to the XLPE insulation XLPE main insulation, cross-linked Outer semiconductive layer firmly bonded to the XLPE insulation Copper wire screen as short-circuit current carrying component with semi-conductive swelling tapes above and below as longitudinal water barrier Aluminum foil, overlapped as radial diffusion barrier laminated to the oversheath Thermoplastic oversheath as mechanical protection optionally with semi-conductive and/or flame-retardant layer 	Features of metallic sheath <ul style="list-style-type: none"> Low weight Low losses Low cost Internationally proven design Production process The inner semiconductive layer, the XLPE main insulation and the outer semiconductive layer are extruded in a single operation applying a dry curing and a water or nitrogen cooling method.	
Applicable standards IEC 60840 AEIC CS6 ANSI / ICEA S-108-720		

Technical data

Copper conductor cross-section		Outer diameter (approx.)	Cable weight (approx.)	Capacitance	Impedance (90°C, 50 Hz)	Impedance (90°C, 50 Hz)	Surge impedance	Min. bending radius	Max. pulling force
mm ²	kcmil	mm	kg/m	µF/km	Ω/km	Ω/km	Ω	mm	kN
240	500	73	6	0,13	0,27	0,18	59	1500	14
300	600	73	7	0,14	0,26	0,16	49	1550	18
400	800	76	8	0,16	0,24	0,15	49	1600	24
500	1000	82	9	0,16	0,23	0,14	49	1700	30
630	1250	85	10	0,18	0,22	0,13	49	1750	38
800	1600	89	12	0,24	0,20	0,12	42	1800	48
1000	2000	93	14	0,27	0,19	0,11	39	1850	60
1200	2400	98	15	0,30	0,19	0,11	37	1900	72
1400	2750	98	21	0,34	0,18	0,11	34	1950	84
1600	3200	99	22	0,35	0,18	0,10	33	2000	96
2000	4000	106	27	0,39	0,17	0,10	31	2100	120
2500	5000	114	33	0,43	0,17	0,10	29	2250	150

XDRCU132kVBruggCables.JPG

Qui notiamo che come dato è fornita l'impedenza unitaria quindi il modulo di $\sqrt{r^2 + x^2}$ sia per la disposizione a trifoglio che per quella in piano.

in olio fluido



1/2

Single-core high-voltage oil-filled cable

Construction

- Hollow conductor of round copper wires, stranded, segmented above 1000 m²
- Semi-conducting paper screen
- Conductor insulation of oil cable paper
- Höchstaedter and semiconductor paper tape
- Cotton tape with copper thread
- Corrugated copper sheath, radially watertight
- Corrugation filling, halogen-free
- HDPE outer sheath, halogen-free, black with two red stripes

Applications

In distribution networks and power stations.

Laying in underground tubes, indoors, in cable ducts, or buried.

A comprehensive range of sealing ends, joints and fixing elements is available from Brugg Cable.

Special features

Admissible impulse voltage 1425 kV. The HPDE outer sheath guarantees excellent insulation. High wear-resistance gives favorable laying conditions.

The cable is free of PCB.

Standards

SEV 3320.1977 + A1.1990 + A2.1990
IEC 141-1.1993

POCUW-T 380/220 kV



Technical data

Cross-section	Dia-meter	Weight	Oil content	Capacitance	AC resistance at 60°C and 50 Hz	Reactance at 50 Hz and 50 Hz	Impedance at 60°C and 50 Hz	Laying data	
								min. bending radius ¹⁾	max. pulling force
mm ²	mm	kg/100m	l/100m	µF/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	mm	kN
400	102	1335	311	0.193	0.055	0.207	0.214	2050	24.0
500	105	1500	330	0.205	0.043	0.201	0.206	2100	30.0
630	108	1680	348	0.218	0.034	0.195	0.198	2200	37.5
800	111	1875	367	0.230	0.027	0.190	0.192	2250	48.0
1000	109	2070	367	0.267	0.021	0.184	0.186	2200	60.0
1200	113	2295	389	0.284	0.018	0.179	0.180	2300	72.0
1600	120	2775	433	0.315	0.014	0.170	0.171	2400	96.0

Notice:

¹⁾ Min. installation radius = 0.8 x min. traction radius

– For further information on transport, laying, installation and test standard, see chapter "Technical Information"

Riferimenti e bibliografia

- [Sulle costanti fondamentali delle linee](#)
- [HIGH VOLTAGE XLPE CABLE SYSTEMS Technical User Guide - Brugg Cables](#)

- [NKT-cables](#)



ELECTRIC MACHINERY and POWER SISTEM FUNDAMENTALS, Stephen J. Chapman,
Mc Graw Hill, 2002

COMPLEMENTI DI IMPIANTI ELETTRICI- Lorenzo Fellin,
DIADE, Padova 2005

TRASMISSIONE E DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA VOL II,
N. Faletti - P. Chizzolini,
Patron Editore , Bologna 2005

Lezioni di TRASMISSIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA -Antonio Paolucci,
CLEUP EDITORE, Padova 1998

- [foto prove su cavo 150 kV](#)
- [OF: il cavo in olio fluido Emanuelli](#)

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Admin:costanti-fondamentali-delle-linee>"