

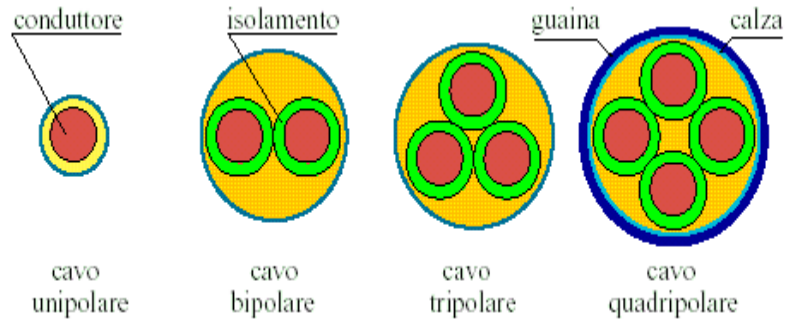
# I CAVI

La scelta del cavo dipende essenzialmente dalla sezione e dalla potenza del carico da alimentare (se devo alimentare un carico importante, ad elevata potenza, non utilizzerò un cavo tri o quadri polare, altrimenti l'installazione sarebbe estremamente complicata; per potenze meno importanti vanno bene i tripolari).

In BT le linee sono realizzate unicamente in cavo; linee aeree in BT si trovano esclusivamente in zone rurali.

Dalla figura osserviamo:

- Tripolari: tre fasi
- Quadripolari: neutro + tre fasi
- Pentapolari: neutro + tre fasi con conduttore di protezione.



## SCHEMI EQUIVALENTI DELLE LINEE

Lo schema elettrico equivalente della linea è un bipolo doppio a T.

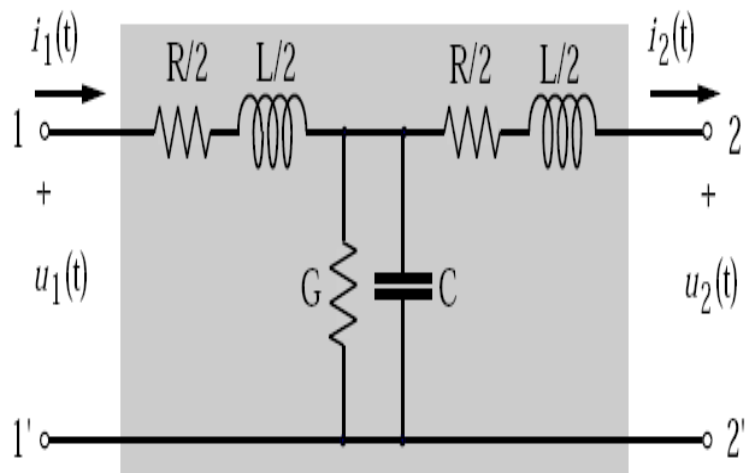
I bipoli rappresentano tutti i fenomeni energetici che avvengono all'interno della linea:

R - rappresenta le dissipazioni per effetto joule del conduttore;

G - le perdite verso massa (ad esempio per effetto corona nelle linee di AT soprattutto);

L - essendo il conduttore percorso da corrente, attorno ad esso si genera un campo di induzione magnetica e dunque si avranno scambi di energia magnetica;

C - rappresenta i fenomeni di polarizzazione del dielettrico attorno al cavo (il conduttore si trova ad una tensione diversa dal terreno ad esempio).



I parametri possono essere stimati secondo le formule:

- La conduttanza G non la trattiamo essendo il suo apporto notevole soprattutto in AT,
- La capacità C anche viene trascurata nei nostri calcoli essendo il suo valore in BT piccolo rispetto agli altri parametri.
- Nel valore della resistenza, il 2 si riferisce alla linea bifilare, cioè a conduttore di andata e di ritorno (considero i conduttori uguali perciò devo effettuare la somma delle resistenze su ciascun cavo).

$$R = 2 \rho \frac{l}{S}$$

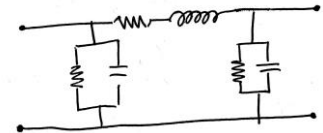
$$L = \frac{\mu l}{\pi} \left( \ln \frac{h}{r_0} + \frac{1}{4} \right)$$

$$C = \frac{\epsilon \pi l}{\ln \frac{h - r_0}{r_0}}$$

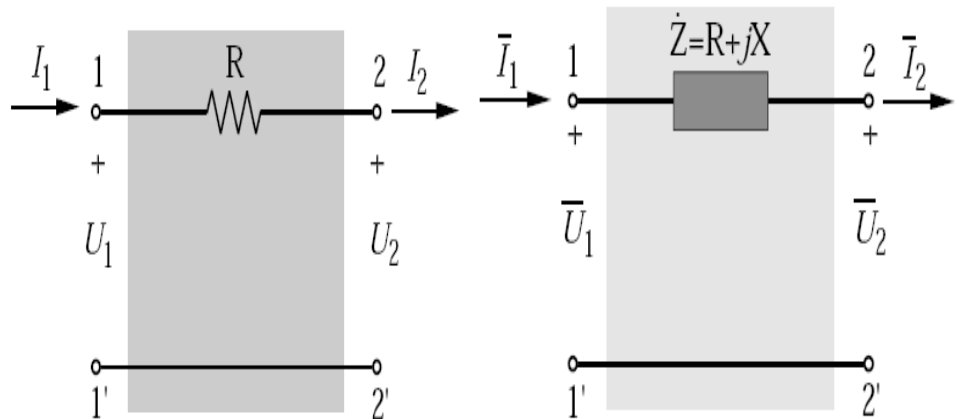
- La stima del parametro L dipende da come sono disposti i conduttori: a seconda della condizione di posa la valutazione di L cambia (ad esempio se i conduttori si dispongono su un piano orizzontale o su un piano verticale, le spire che si generano hanno dimensioni diverse e dunque diverso sarà il valore associato all'induttanza L.

Nei calcoli si effettuano importanti semplificazioni: si studia la rete in particolari condizioni di esercizio, in modo da avere dei parametri di servizio della linea che descrivano integralmente ciascun conduttore delle tre fasi. In questo modo è possibile andare a studiare il circuito monofase equivalente senza fare i conti con valori differenti di R e L per ciascun conduttore.

Ultimamente è preferibile utilizzare un doppio bipolo a  $\pi$  (pigreco) in cui capacità e conduttanza trasversali vengono splittate in due, cioè poste all'estremità e il collegamento avviene con un RL.



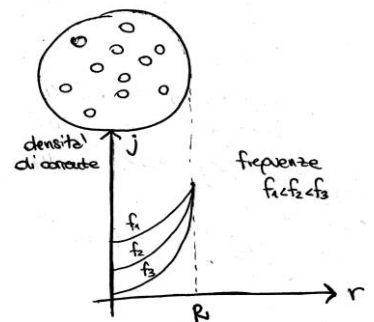
Le immagini riportano i modelli precedentemente utilizzati per la BT (quello di sinistra) e per la media tensione (quello di destra). Oggi tale distinzione è venuta meno e non si trascura la reattanza neanche in bassa tensione, nonostante il suo valore sia molto piccolo.



In BT i valori di resistenza R e reattanza X sono tabellati, tali valori sono più accurati di quelli da noi calcolabili attraverso le formule precedentemente elencate.

Infatti calcolando R di solito si arriva ad un valore più piccolo rispetto al valore tabellato (a parità di temperatura e materiale del cavo). Il valore fornito dal costruttore e riportato nelle tabelle è un valore che viene misurato e che tiene conto di fenomeni fisici da noi trascurati durante il calcolo. Ricordiamo allora i due effetti principali che avvengono all'interno delle linee e che influenzano i valori della resistenza R:

- Skin effect. Ad una certa f diversa da zero, la corrente nella sezione di un conduttore tende a distribuirsi nelle zone periferiche. In particolare maggiore è la frequenza maggiore è la tendenza della corrente ad addensarsi nella periferia del conduttore. Ciò influenza il valore di R: se non è uniforme la densità di corrente nella sezione, allora è come se si riducesse la sezione utile S per il passaggio della corrente, e siccome la resistenza R è inversamente proporzionale alla sezione tende ad aumentare.



Alla frequenza di 50 Hz non è molto significativo il fenomeno.

- Proximity effect. Essendo presenti dei conduttori vicini tra loro, il campo B generato dalla corrente che transita in un certo conduttore influenza la distribuzione delle correnti negli altri due! Si generano delle interazioni campo-corrente che alterano il valore della sezione S disponibile alla corrente in ciascun conduttore.

Entrambi gli effetti comportano una riduzione della sezione disponibile per il passaggio della corrente nei cavi, e di conseguenza un aumento della resistenza  $R$ . Il ragionamento effettuato è ovviamente valido anche per la reattanza  $X$ .

Nelle tabelle sono presenti i valori di resistenza e reattanza per varie temperature e per le diverse configurazioni di posa considerata.

## TOPOLOGIA DELLE LINEE

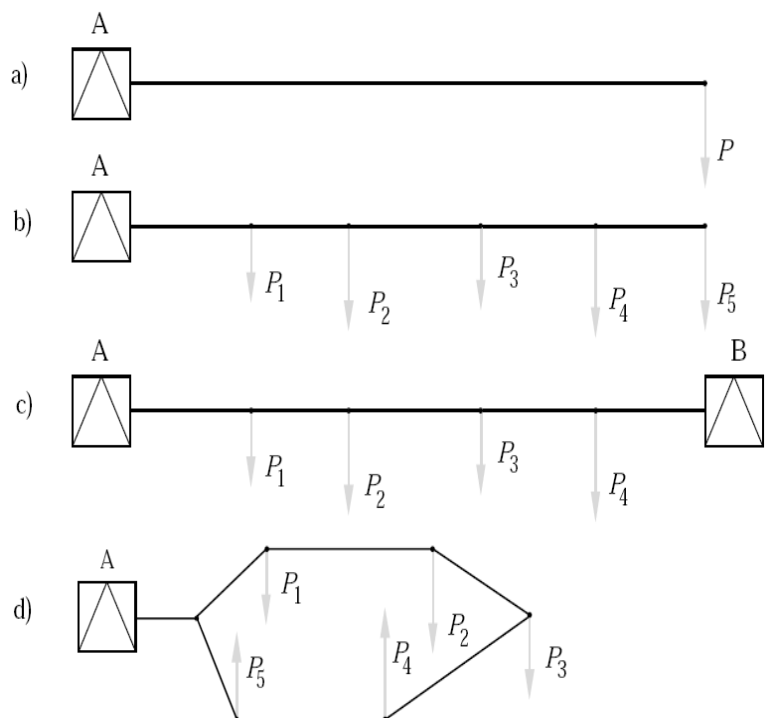
Sono in figura rappresentate alcune delle possibili configurazioni delle linee, alcune diverse topologie di linee:

a) collegamento semplice tra utilizzatore e punto di consegna  $P$

b) distribuzione a dorsale: carichi diversi fissati alla stessa linea (esempio vano scale, parte dal quadro seminterrato la linea e in ogni piano ho alimentazione dei punti luce)

c) distribuzione di linea bilaterale, dove due punti di consegna  $A$  e  $B$  alimentano una linea con diversi carichi; tale topologia è più difficile da trattare. E' una situazione possibile ad esempio a livello di ambiente industriale.

d) ad anello, una linea chiusa alimentata da un unico punto di consegna. In particolare quando  $A=B$ , cioè quando i due punti di consegna coincidono, le topologie c e d sono equivalenti.



**L'Alimentazione è sempre di tipo radiale in BT e MT: ovvero è sempre un unico punto di consegna che alimenta la linea non entrambi simultaneamente.**

Infatti nella linea è sempre presente un sezionatore aperto, in modo che ciascun carico venga alimentato solo da un unico punto di consegna. Il sezionatore risulta anche utile nel caso si verificano guasti: chiudendo il sezionatore è possibile garantire l'alimentazione da uno dei due punti di consegna e quindi l'alimentazione dei carichi.

Allora la topologia (c) risulta la più efficiente e consente la maggiore flessibilità e continuità di esercizio; vedremo inoltre che tale topologia è ottimale poiché riduce le cadute di tensione nella linea.

# CADUTA DI TENSIONE IN LINEA

La caduta di tensione viene definita come **caduta tra monte e valle della linea**.

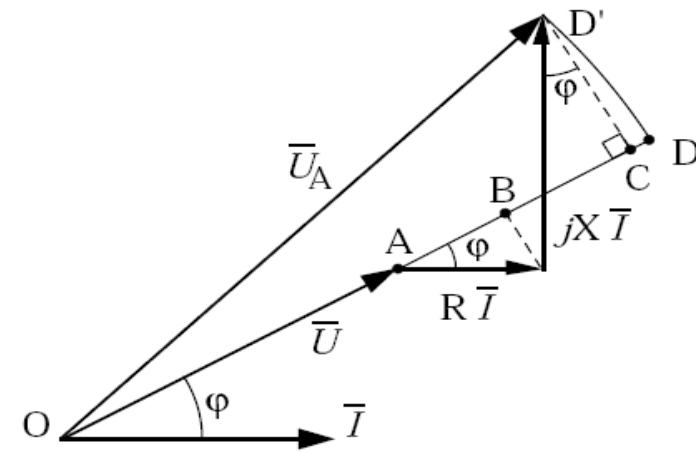
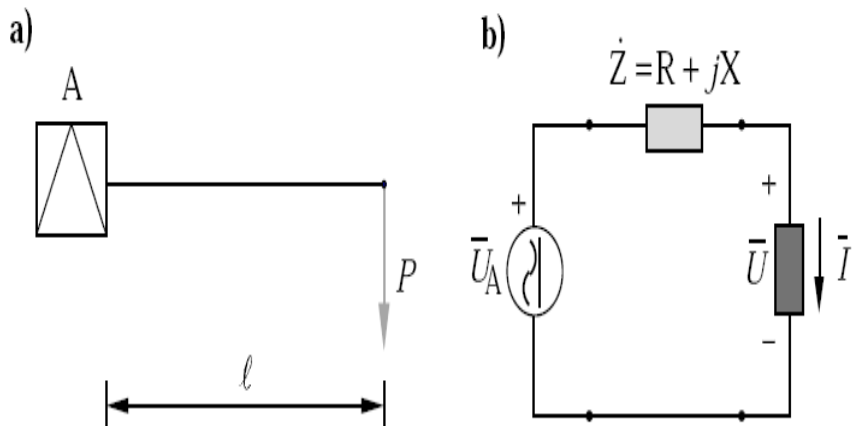
Attenzione: la caduta di tensione non è il modulo  $ZI$ , ma è la caduta di tensione industriale, ovvero **la differenza dei valori efficaci tra tensione di partenza e tensione in arrivo**. Al carico infatti non interessa la fase con cui arriva la tensione, gli interessa esclusivamente l'intensità della tensione: entro certi valori il carico funziona efficacemente (limiti del 10/15%).

Lo scopo è dunque quello di verificare che il valore efficace della tensione con cui vado ad alimentare il carico rientri nei limiti previsti per ogni carico.

Attraverso il calcolo elettrico arriveremo a scegliere la linea da utilizzare per alimentare i carichi.

Consideriamo una membratura con all'estremità un carico ricevente: sia  $l$ =lunghezza della linea, e  $P$  il carico da alimentare, caratterizzato con i suoi dati targa ( $P_n$ , potenza nominale attiva, tensione nominale  $U_n$  e fattore di potenza  $\cos\phi$ ).

Rappresentiamo la linea con la sua resistenza e la sua reattanza, a cui associamo i parametri di servizio dati dal costruttore del cavo.



Passiamo alla costruzione fasoriale: devo sommare la tensione disponibile sul carico  $U$ , la caduta di tensione che ho nella componente resistiva della linea (che risulta in fase con la corrente e pari a  $RI$ ), e la caduta di tensione che ho nella componente reattiva dell'impedenza di linea (che è in quadratura in anticipo rispetto alla corrente, e vale  $jXI$ ). Congiungendo l'origine con l'estremo del vettore somma io ottengo la tensione di partenza  $U_A$ .

La potenza nominale è data in potenza attiva

$$I = \frac{P_n}{U_n \cos \phi}$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_A - U = I(R \cos \phi + X \sin \phi) = \\ &= 2 I l (r \cos \phi + x_l \sin \phi) = \\ &= 2 I \frac{P}{S} \cos \phi + 2 I x_l \sin \phi = \\ &= \Delta U_r + \Delta U_x \end{aligned}$$

Attiva più reattiva

Sviluppando i calcoli si ottiene che la caduta di tensione totale è somma di due termini: uno legato alla componente resistiva e l'altro legato alla componente reattiva, rispettivamente correlate alla corrente in fase con la tensione, e alla corrente in quadratura con la tensione. Nella formula il 2 indica la linea bifilare: sto considerando sia conduttore di andata che quello di ritorno, infatti  $\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_r$ .

$$\Delta U = K \cdot I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

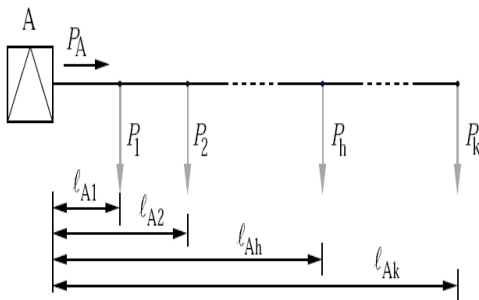
$$\Rightarrow \Delta U_{\%} = K \cdot I \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \cdot \frac{U_n \cdot 100}{U_n^2}$$

ma  $I \cos \varphi \cdot U_n = P$   
 $I \sin \varphi \cdot U_n = Q$

$$\Rightarrow \Delta U_{\%} = K \left( \frac{PR + QX}{U_n^2} \right) \cdot 100$$

E' possibile esprimere la caduta di tensione attraverso i dati di targa del carico. Sia k un coefficiente numerico che valga 2 quando la linea è bifilare, e 1.732 se la linea è trifase. Moltiplico e divido per  $U_n$ , moltiplico per cento così ottengo la caduta di tensione percentuale della linea. Osservo che:  $I \cos \varphi U_n$  e  $I \sin \varphi U_n$  - sono potenza attiva e reattiva del carico, cioè cosa sta assorbendo il carico.

Consideriamo un sistema fisico dove una membratura alimenta più carichi derivati per tutta la linea. Con  $l_{1,2,3}$  indichiamo la distanza di ogni carico rispetto al punto di consegna.



Passiamo dunque al circuito elettrico equivalente dove associamo un'impedenza per ciascun tratto della linea:

$z_1 =$  l'impedenza relativa alla lunghezza  $l_{A1}$   
 $z_2 =$  l'impedenza relativa alla lunghezza  $l_{A2} - l_{A1}$

I carichi li rappresento attraverso un generatore ideale di corrente che assorbe una corrente pari a quella assorbita dal carico.

Potevo rappresentare i carichi ad esempio come delle impedenze, però operativamente non sarei arrivato al calcolo diretto della caduta di tensione, ad esempio ci potevo studiare la linea, ma non sarei arrivato al nostro fine, che è quello di calcolare la caduta di tensione sulla linea.

Rappresentando così i carichi si effettuano delle approssimazioni, allora devo fare delle assunzioni che introducono errori modesti:

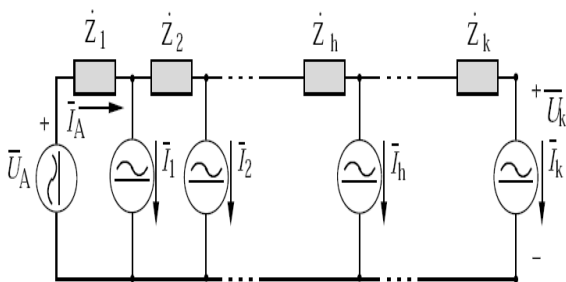
Devo effettuare una duplice approssimazione:

- i) Assumere che la tensione di alimentazione di tutti i carichi sia quella nominale  $U_n$
- ii) Assumere che le tensioni di alimentazione di tutti i carichi siano in fase.

Sicuramente i carichi saranno alimentati a tensioni diverse, infatti più mi allontano dal generatore più avrò una tensione di alimentazione minore (caduta di tensione lungo la linea aumenta con la distanza dal punto di consegna). Tuttavia si parte dall'assunto che le cadute di tensione in linea siano minori del 4%, allora l'errore commesso con l'approssimazione è abbastanza basso.

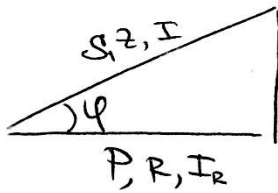
In realtà le impedenze di linea introducono degli angoli di sfasamento, tuttavia questo angolo calcolato con i parametri fisici reali della linea risulta praticamente nullo.

Dal punto di vista numerico, con queste approssimazioni, faccio errori modesti e mi semplifico notevolmente la vita.



Devo ora passare al calcolo delle correnti fasoriali per tutti i carichi.

Ho tanti modi per calcolarli, tutti si basano sul legame del triangolo delle potenze (P,Q,S): (S potenza apparente)



$$I_R = \frac{P}{\sqrt{3} U_m}$$

$$I_a = \frac{Q}{\sqrt{3} U_m}$$

$$\tilde{S} = \sqrt{3} \tilde{U} \cdot \tilde{I}^*$$

Assumo la tensione nominale per comodità disposta o sull'asse reale o sull'asse immaginario, decido io come metterlo, così mi semplifico la vita.

Allora in questo modo determino i carichi, ovvero determino la corrente che essi assorbono. In generale carichi hanno tutti

fattore di potenza diverso, questo impone di andare a calcolare le componenti in fase e in quadratura (reali e immaginarie) dei singoli carichi rispetto a un unico riferimento. Non posso sommare i valori efficaci delle correnti di carico, posso esclusivamente sommare le rappresentazioni fasoriali di queste correnti. Analogamente non posso sommare le potenze apparenti, posso sommare o le potenze complesse, o le singole potenze attive e reattive.

Consideriamo ora un sistema con 2 carichi e andiamo a calcolare la tensione U2 in arrivo sul secondo carico. In generale indichiamo con k il k-esimo carico, quindi Uk è la tensione presente sul k-esimo carico collegato alla linea di alimentazione.

$k=2$

$$\begin{aligned} \bar{U}_k &= \bar{U}_A - (\dot{Z}_1(I_1 + I_2) + \dot{Z}_2 I_2) = \bar{U}_A - \dot{Z}_1 I_1 - (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2) I_2 = \\ &= \bar{U}_A - \left( 2 \frac{\rho}{S} + j 2 x_l \right) l_{A1} \bar{I}_1 - \left[ \left( 2 \frac{\rho}{S} + j 2 x_l \right) l_{A1} + \left( 2 \frac{\rho}{S} + j 2 x_l \right) (l_{A2} - l_{A1}) \right] \bar{I}_2 = \\ &= \bar{U}_A - \left( 2 \frac{\rho}{S} + j 2 x_l \right) l_{A1} \bar{I}_1 - \left( 2 \frac{\rho}{S} + j 2 x_l \right) l_{A2} \bar{I}_2 = \\ &= \bar{U}_A - \sum_{h=1}^k \left( 2 \frac{\rho}{S} + j 2 x_l \right) l_{Ah} \bar{I}_h = \bar{U}_A - \sum_{h=1}^k \dot{Z}_{Ah} \bar{I}_h \end{aligned}$$

$$\Delta U = U_A - U_k = 2 \frac{\rho}{S} \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \cos \varphi_h + 2 x_l \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \sin \varphi_h = \Delta U_a + \Delta U_r$$

La Tensione U2 sarà data dalla tensione in partenza UA meno la caduta la tensione nella linea. Queste sono legate alle impedenze e alla corrente che passa in ciascun tratto di linea: le impedenze le so calcolare (conosco resistenza e reattanza per unità di lunghezza – ricorda che z1 si riferisce al tratto di linea la1, mentre z2 al tratto di lunghezza la2-la1); mentre per le correnti si ha che in z1 passa una corrente pari alla somma fasoriale tra I1 e I2, mentre in z2 passa solamente I2.

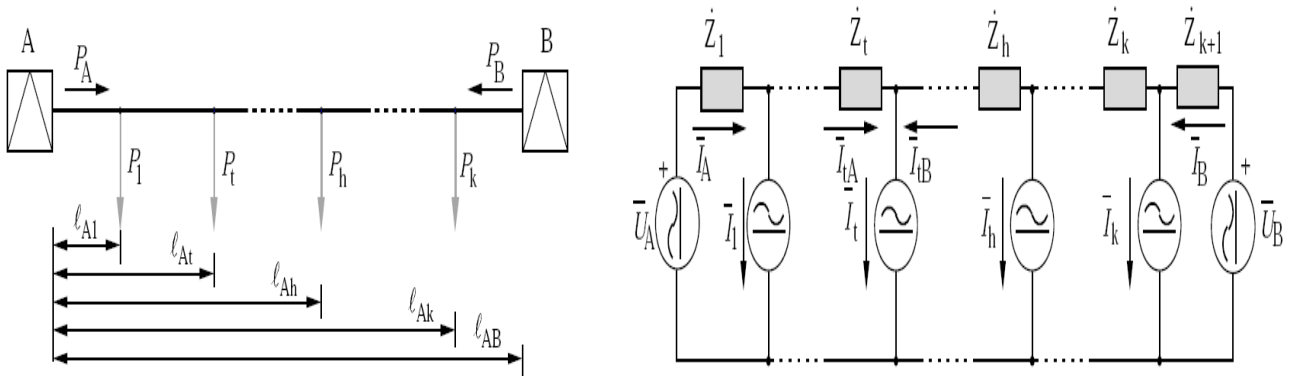
Come risultato finale si ottiene che la tensione nel carico 2 è uguale al fasore di quella in partenza Ua, meno una caduta di tensione che è esprimibile come sommatoria del prodotto tra l'impedenza di linea moltiplicata per la distanza del carico dal punto di consegna per la corrente del rispettivo carico.

Il termine  $l_{Ah} \cdot I_h$ , è detto momento amperometrico del carico (ovvero la distanza del carico dal punto di consegna dell'energia moltiplicata per il fasore di corrente che il carico assorbe).

In termini scalari si ha che la caduta di tensione è pari alla resistenza per unità di lunghezza moltiplicata per la somma dei momenti amperometrici della corrente in fase con la tensione + la reattanza per unità di lunghezza per la somma dei momenti amperometrici della corrente in quadratura rispetto alla tensione.

Il risultato è generale ed estendibile per K carichi. In generale avrò tanti momenti amperometrici quanti sono il numero di carichi.

Consideriamo ora una linea che venga alimentata da due punti di consegna posti alle estremità, e sia la tensione in entrambi i punti di consegna uguale:  $U_a=U_b$ .



La modellazione dei carichi è analoga, tranne che dopo il k-esimo carico, si presenta un ultimo tratto di linea, raffigurato con l'impedenza finale e il generatore di tensione equivalente al punto di consegna B.

Indicando con  $i_a$  e  $i_b$  le correnti dei due punti di consegna, ovviamente  $i_a+i_b$  è uguale alla somma delle correnti richiamate dai singoli carichi. Si ottiene applicando la LKC al nodo inferiore.

Posso essere certo che entrambi i punti stanno alimentando la linea, posso cioè affermare che le correnti  $i_a$  e  $i_b$  sono orientate in quella maniera? Sì, poiché le tensioni sono uguali  $U_a=U_b$ , allora non ci può essere passaggio di potenza da A a B.

Che cosa accade in una rete di questo tipo?

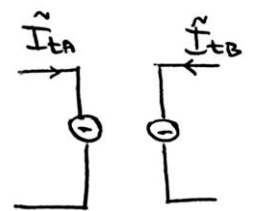
Dopo la generazione dal punto A arrivo al primo nodo dove si alimenta il primo carico, allora nel tratto successivo scorrerà una corrente  $i_a-i_1$ , in quello successivo al secondo tratto passerà una corrente  $i_a-i_1-i_2$ , e così via.

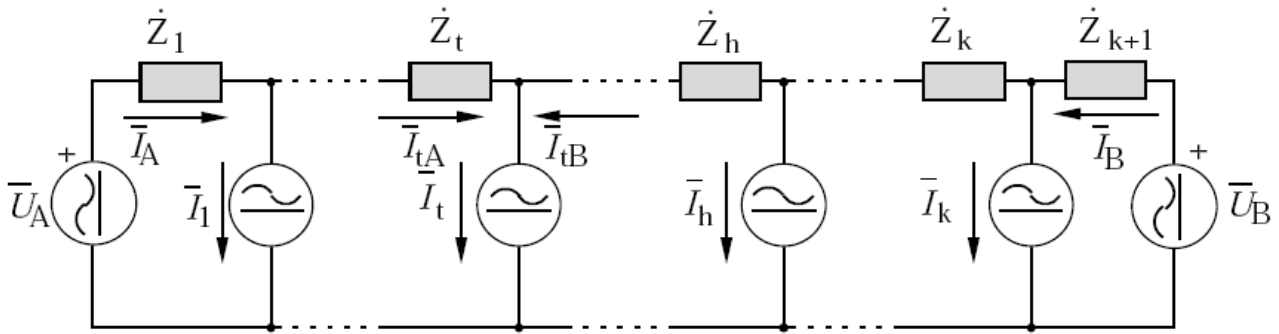
Ad un certo carico interno ai punti di alimentazione, la corrente dalla cabina A non sarà più sufficiente da sola ad alimentare il carico, allora una parte di corrente arriverà da B (avrò che la corrente totale  $i_t$  proviene in parte da a e in parte da b). Questo punto delle reti si chiama 'Sezione di taglio' ed è un punto fondamentale.

Infatti una volta individuata la sezione di taglio, ovvero il punto in cui il carico è alimentato simultaneamente da A e B, posso dividere la rete totale in due parti: una parte alimentata solo da A e una alimentata solo da B.

Successivamente ciascuna rete, essendo alimentata da un unico generatore, la posso ricondurre alla rete precedentemente studiata!

Dopo aver separato la linea alimentata da due punti di consegna nelle due equivalenti reti, attraverso il calcolo della sezione di taglio, posso andare a calcolare la caduta di tensione attraverso la formula precedente (applicandola tra A e la sezione di taglio oppure tra B e la sezione di taglio; infatti, essendo in partenza  $U_a=U_b$ , le cadute di tensione saranno uguali).





A questo punto scrivo l'equazione di equilibrio, ovvero la LKT applicata alla maglia esterna (la somma delle tensioni generate è pari alle cadute di tensione sulla linea, ciascuna di queste è caratterizzata dalle impedenze). Devo stare però attento che nell'ultimo tratto, essendo cambiata la convenzione sui segni, bisogna inserire il segno '-'.

$$\bar{U}_B - \bar{U}_A = \sum_{h=1}^k \dot{z} l_{Ah} \bar{I}_h - z l_{AB} \bar{I}_B$$

Sapendo che  $U_A - U_B = 0$ , allora nella formula l'unica incognita risulta la corrente  $i_B$  erogata dal punto di consegna, che posso ricavare risolvendo l'equazione (le dimensioni geometriche sono note e le correnti sono quelle dei carichi, a noi note).

Allora ricavo la corrente erogata dal punto di consegna B, che risulta  $1/\text{lunghezza complessiva della rete}$  moltiplicata per la sommatoria di tutti i momenti amperometrici calcolati rispetto alla cabina A.

$$\text{se } \bar{U}_A = \bar{U}_B \Rightarrow \bar{I}_B = \frac{1}{l_{AB}} \sum_{h=1}^k l_{Ah} \bar{I}_h$$

$$\bar{I}_A = \frac{1}{l_{AB}} \sum_{h=1}^k l_{Bh} \bar{I}_h = \sum_{h=1}^k \bar{I}_h - \bar{I}_B$$

Tale formula è analoga per la corrente erogata dalla cabina A, però i momenti amperometrici sono calcolati rispetto al punto di consegna B. (posso calcolare  $i_A$  anche attraverso la legge dei nodi)

Una volta determinate le correnti  $i_A$  e  $i_B$  posso procedere nella determinazione della sezione di taglio. A priori non so in quale punto essa si trovi, devo necessariamente conoscere le correnti erogate per poi andare ad applicare la LKC sui vari nodi e vedere in quale carico si manifesta alimentazione in parte da a e in parte da b.

Nella realtà pratica può darsi che la sezione di taglio che compete con la componente in fase della tensione sia diversa dalla sezione di taglio che compete con la componente in quadratura con la tensione; perciò non è detto che quello sia il punto dove è massima la caduta di tensione, però noi non lo consideriamo, consideriamo dunque unica la sezione di taglio.

Una volta ottenuta con certezza la posizione della sezione di taglio, proseguo nella stima della caduta di tensione sulla linea a partire dal punto di consegna fino alla sezione di taglio, riconducendomi alla formula ottenuta per una rete alimentata da un'unica cabina.

## DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE

Bisogna ora verificare che la massima caduta di tensione sia minore del 4% rispetto alla tensione di partenza. Inoltre il calcolo della caduta di tensione è fondamentale per scegliere opportunamente la sezione dei conduttori per la linea in questione.



$$\Delta U = U_A - U_k = 2 \frac{\rho}{S} \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \cos \varphi_h + 2 x_l \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \sin \varphi_h = \Delta U_a + \Delta U_r$$

Dalla formula per la caduta di tensione io conosco:

- i) La posizione dei carichi;
- ii) I carichi sono noti, quindi le componenti della corrente in fase e in quadratura con la tensione sono noti;
- iii) La resistività del mezzo a seconda del materiale (o rame o alluminio);
- iv) A primo membro: è noto il limite superiore della caduta di tensione (4% della u).

Le uniche due quantità non note sono la sezione S e la reattanza della linea.

Andando ad osservare nelle tabelle per le condutture osservo che il valore di reattanza per unità di lunghezza per linee aeree e in cavo varia molto poco con la sezione del conduttore. In prima approssimazione posso considerare un valore medio per la reattanza per unità di lunghezza.

Per le linee aeree	$x_l = 0,3 \Omega km^{-1}$
Per le linee in cavo	$x_l = 0,1 \Omega km^{-1}$

Allora l'unica incognita risulta la sezione S, che posso esplicitare.

Essa è data dal prodotto della somma dei momenti amperometrici relativi alla componente della corrente in fase per la resistività del materiale / la differenza tra la caduta di tensione massima ammissibile (il 4% di quella in partenza) e il valore stimato della caduta di tensione legata alla componente della corrente in quadratura.

$$S \geq \frac{2 \rho \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \cos \varphi_h}{\Delta U_{max} - \Delta U_r}$$

Il valore di S così ottenuto è il valore minimo ammissibile. Dovrò andare allora sulle tabelle e scegliere il cavo specifico di sezione corretta, ovvero il cavo con sezione immediatamente superiore a quella appena calcolata.

Andando sul data sheet trovo, per ogni cavo, i valori di resistenza e reattanza associati alla sezione scelta attraverso i nostri calcoli approssimativi.

Con questi valori devo svolgere una duplice verifica: **la verifica termica e la verifica sulla caduta di tensione.**

#### Verifica termica.

In corrispondenza della sezione considerata (ad esempio 35mmquadrati) è riportata la portata in corrente (125A). Questa portata è relativa a certe condizioni dichiarate sopra, ovvero per certi valori di temperatura e certe condizioni di posa; infatti, a seconda di come e dove sono disposti i cavi, la portata cambia.

Devo allora inserire dei coefficienti di penalizzazione (determinati anche questi da opportune norme esistenti) per la portata in corrente. Questi coefficienti mettono in relazione la portata reale in corrente rispetto alla condizione di posa ambientali (ex aria, passerella ecc.), in questo modo calcolo **l'effettivo valore della portata di corrente per la conduttura: Iz.**

**Ciascun carico, corretto con il coefficiente di contemporaneità e con il coefficiente di utilizzazione, dà luogo ad assorbimento di corrente, detta corrente di impiego Ib.** Questa sarà la corrente che transita in quella linea nelle normali condizioni di esercizio.

La verifica si basa sul confrontare la portata nominale ottenuta Iz con la corrente di impiego Ib: se  $I_z > I_b$  allora la verifica termica è soddisfatta. Se così non fosse allora prendo in considerazione la

sezione successiva e verifico se la corrente di impiego è  $> o <$  della portata associata al cavo,  $I_z$ . Questo tipo di verifica non è di tipo iterativo, si basa sulla scelta del primo cavo che verifica la condizione  $I_z > I_b$  scegliendo i cavi dalla tabella.

In generale si sconsiglia di lavorare in condizioni limite: se ottenessi una corrente di impiego  $I_b = 120$  A, e nella tabella trovo una  $I_z = 125$  A, è fortemente sconsigliato la scelta di tale cavo. E' di gran lunga preferibile scegliere il cavo con sezione immediatamente maggiore, che presenta una corrente  $I_b = 151$  A. Operando in questo modo garantisco una maggiore vita per l'impianto

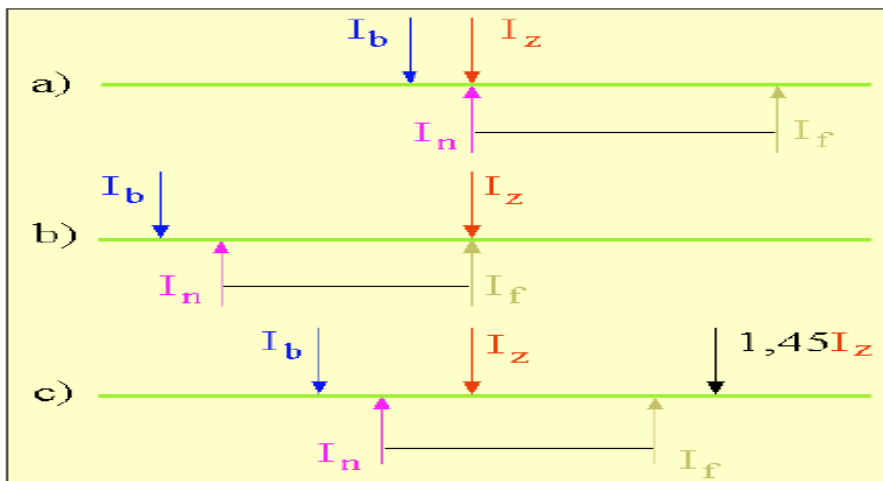
#### Verifica della caduta di tensione.

Devo verificare che la caduta di tensione per il conduttore scelto con i suoi valori di resistenza e reattanza tabulati rispetti la condizione di essere  $< 4\%$ .

Tale verifica è sostanzialmente inutile in BT: quando scelgo il cavo prendo sempre un cavo con sezione superiore, in questo modo la resistenza per unità di lunghezza crolla ( $R$  va come  $1/S$ ), anche la reattanza da noi introdotta include un errore molto basso. Allora la verifica della caduta di tensione è sostanzialmente sempre verificata in BT.

Un processo di dimensionamento alternativo potrebbe essere effettuato pe corrente di impiego che però risulta essere un calcolo iterativo.

## PROTEZIONE DEI CAVI



Dopo aver scelto i cavi, devo fare sì che si mantenga l'integrità dell'impianto in caso di sovraccarico o di corto circuito grazie all'interruttore. In questa fase devo scegliere che tipo di interruttori di protezione collegare ai cavi dimensionati precedentemente.

Indichiamo con  $I_b$  la corrente di impiego,  $I_z$  la corrente effettiva (che tiene conto dei coefficienti di penalizzazione).

Devo allora inserire un interruttore che protegga la mia linea in partenza. I dati essenziali per l'interruttore sono: la corrente nominale  $I_n$  e la corrente di intervento sicuro  $I_f$ .

Come scelgo la corrente nominale per l'interruttore?

Sicuramente è bene che sia  $I_n > I_b$ , infatti potrei avere delle condizioni in cui nella linea scorra una corrente maggiore rispetto a quella di condizione normale e non devo staccare in tale caso.

Se la scegliessi  $I_n = I_z$  allora ammetterei che nell'impianto possa scorrere tranquillamente una corrente pari anche nominale del cavo (ma anche maggiore, cosa che non va bene per le sollecitazioni termiche). L'interruttore è caratterizzato da  $I_f$ , corrente di sicuro intervento, che può essere molto maggiore di  $I_z$  (nei nostri casi risulta 1,45 volte  $I_z$ ), allora consentirei che nell'impianto possa avvenire un sovraccarico importante della linea anche per 1 o 2 ore. Il sovraccarico comporta la diminuzione della vita media del cavo. Quindi la scelta di porre  $I_n = I_z$  è troppo rischiosa perché non gestisce bene il sovraccarico della linea.

Se invece prendessi  $I_f = I_z$  e  $I_n$  sempre maggiore di  $I_b$ , mi troverei in una situazione dove ho scelto una portata  $I_z$  per il cavo di molto superiore rispetto a quella di cui ho effettivamente bisogno: in questo modo di sicuro non sovraccaricherò mai il cavo, però ho scelto un interruttore anche troppo performante.

Allora la situazione ottimale è un compromesso tra le due: devo fare in modo che i parametri del mio interruttore siano tali che: la corrente nominale sia  $I_b < I_n < I_z$  e la corrente di sicuro intervento sia, tra  $I_z < I_f < 1.45 I_z$ . Imponendo questi parametri caratteristici si ammette sì un sovraccarico nella linea, ma non della stessa entità del caso (a).

Questo non basta, verificare che un interruttore si correttamente scelto.

Bisogna imporre ancora ulteriori condizioni:

- i) Il potere di interruzione dell'interruttore deve essere maggiore della massima corrente di corto circuito che si verifica sulla linea.
- ii) L'energia specifica che l'interruttore lascia passare in un corto deve essere minore di quella tollerata dal cavo, la quale si esprime attraverso il prodotto di un coefficiente  $k$  dipendente dal materiale, e dal quadrato della sezione.

$$I_{cn} > I_{ccMAX}$$

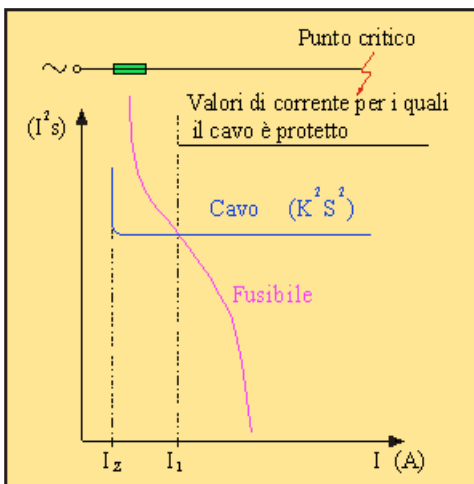
$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad \text{e} \quad I_f \leq 1,45 I_z$$

in alcuni casi anche

$$I^2 t \leq K^2 S^2$$

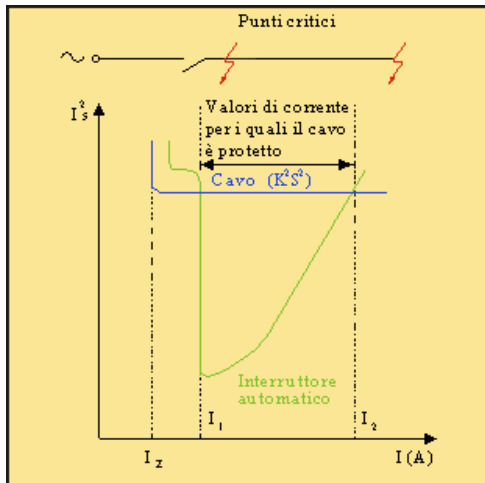
Nei nostri interruttori, quelli per usi domestici sostanzialmente, è sufficiente che sia soddisfatta la prima relazione (che include la seconda).

Le immagini raffigurano rispettivamente i grafici dell'energia specifica passante nei componenti di protezione (un fusibile e un interruttore automatico), confrontati con il  $k^2(s^2)$  del cavo.



Nella zona dove la curva dell'energia specifica (viola per il fusibile e gialla per l'interruttore in figura dopo) sta sopra al  $k^2 s^2$ , il cavo non risulta protetto: passa troppa energia rispetto a quella da esso tollerata.

Facendo riferimento all'interruttore, osservo che all'esterno delle due correnti  $I_1$  e  $I_2$  il cavo non risulta protetto, mentre al loro interno è protetto. Queste correnti  $I_1$  e  $I_2$ , sono la minima e la massima corrente di corto circuito nella linea (la  $I_1$  ce l'ho all'estremità di arrivo della linea, per un corto tra fase e neutro o fase piena; la  $I_2$  ce l'ho in partenza della linea in corrispondenza di un corto circuito bifase franco (immaginare una sbarra che chiude tutte e tre le fasi).



Se una delle due correnti di corto sta fuori da questo range (cioè è inferiore a  $i_1$  o superiore a  $i_2$ ) allora il cavo non risulta protetto: l'accoppiata cavo-interruttore scelto non va bene, bisogna cambiare uno dei due.

Concludiamo definendo la distanza limite protetta, essa è la massima distanza a cui può avvenire un corto circuito con corrente minima che viene ancora sentito dal mio interruttore (ovvero riesce ad intervenire per proteggere il cavo).

Se avessi un cavo più lungo della distanza limite protetta allora non lo posso utilizzare poiché tutto il cavo risulta non protetto.