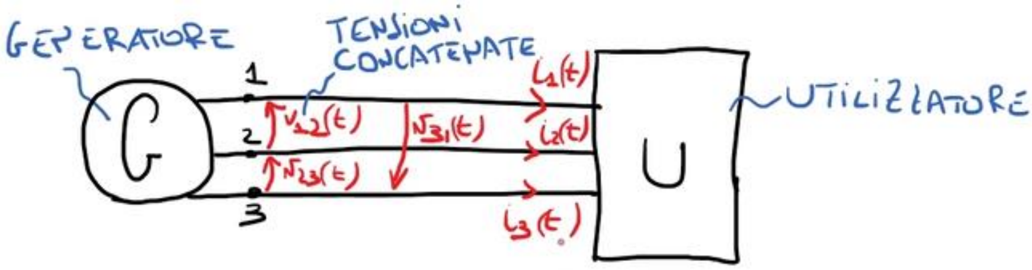
Sistemi trifase



Abbiamo un generatore, collegato a un utilizzatore tramite 3 fasi. Dando tensioni della stessa ampiezza, avremo una potenza costante.

$$LKT: \; v_{12}(t) + v_{23}(t) + v_{31}(t) = 0$$

Facciamo la LKC alla superficie U.

$$LKC: \; i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) = 0$$

Queste 2 equazioni sono le sole possibili per ora che riusciamo a scrivere.

Vediamo cosa succede nella realtà.

Nella realtà:

- sinusoidali
- ampiezze uguali : $\hat{V}_{12} = \hat{V}_{23} = \hat{V}_{31} = \hat{V}$

$$\hat{V}_{12} = \hat{V}_{23} = \hat{V}_{31} = \hat{V}$$

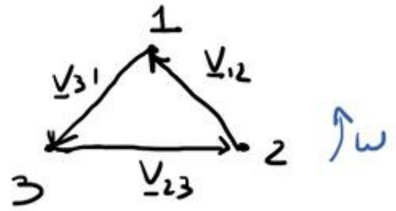
$$\Downarrow \; S[\;]$$

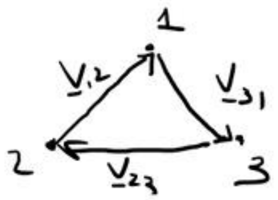
$$|\underline{V}_{12}| = |\underline{V}_{23}| = |\underline{V}_{31}| = |\underline{V}|$$

SISTEMI TRIFASE SIMMETRICI

$$\begin{cases} \underline{V}_{12} + \underline{V}_{23} + \underline{V}_{31} = 0 \\ |\underline{V}_{12}| = |\underline{V}_{23}| = |\underline{V}_{31}| = V \end{cases}$$

TERNA DIRETTA

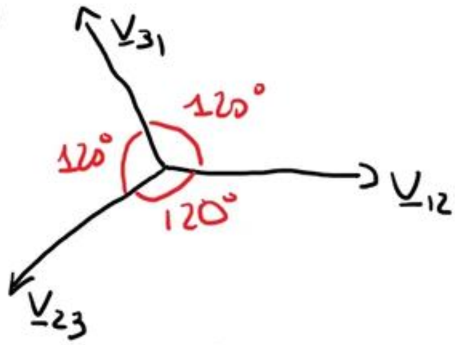




TERNA INVERSA

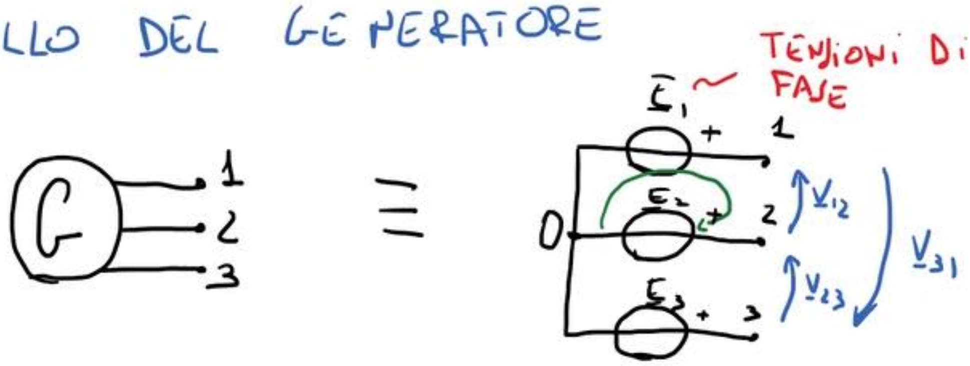
Mantenendo la fase, si possono spostare sul piano complesso.

Ridisegno la terna:



$$
\begin{cases}
\underline{V}_{12} = V e^{j0} \\
\underline{V}_{23} = V e^{-j\frac{2}{3}\pi} = \boxed{\underline{V}_{12}\, e^{-j\frac{2}{3}\pi} = \underline{V}_{23}} \\
\underline{V}_{31} = V e^{j\frac{2}{3}\pi} = \boxed{\underline{V}_{12}\, e^{j\frac{2}{3}\pi} = \underline{V}_{31}}
\end{cases}
$$

MODELLO DEL GENERATORE

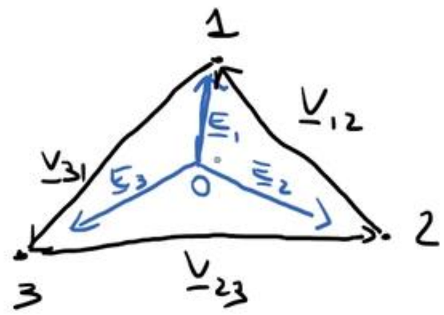


$$\text{LKT: } \underline{E}_1 - \underline{V}_{12} - \underline{E}_2 = 0 \rightarrow \underline{V}_{12} = \underline{E}_1 - \underline{E}_2$$

$$\underline{V}_{23} = \underline{E}_2 - \underline{E}_3$$

$$\underline{V}_{31} = \underline{E}_3 - \underline{E}_1$$

TERNA DIRETTA



Il triangolo è equilatero.

$\underline{E}$ sono una terna simmetrica:

$$|\underline{E}_1| = |\underline{E}_2| = |\underline{E}_3| = E$$

$$V = \sqrt{3}\,E$$

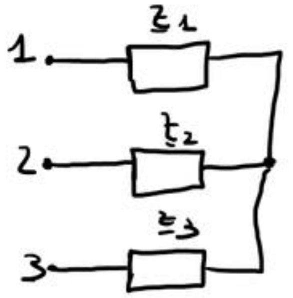
In Italia:

$V = 400V$

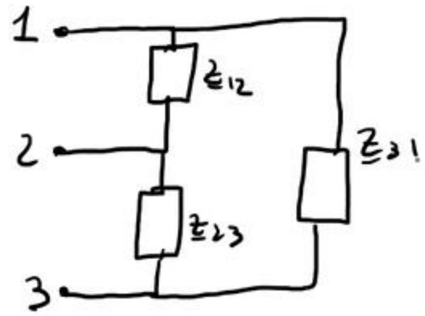
$E = 230V$

CARICO

- Connessione a stella (Y)



- Connessione a triangolo (D)

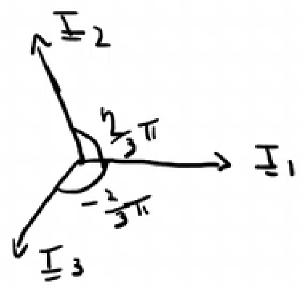


Facciamo diverse considerazioni.

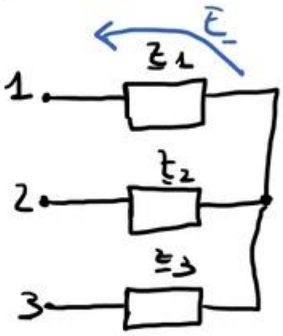
- Se le impedenze sono uguali:

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = \underline{Z} \rightarrow |\underline{I}_1| = |\underline{I}_2| = |\underline{I}_3| = I$$

CARICO EQUILIBRATO $\Downarrow$ TERNA SIMMETRICA



- Connessione a stella (Y)



=> le impedenze vedono la tensione di fase

Nel caso equilibrato, anche le correnti hanno lo stesso modulo.

$$\underline{N} = \underline{E}_{10}\, \underline{I}_1^* + \underline{E}_{20}\, \underline{I}_2^* + \underline{E}_{30}\, \underline{I}_3^* = 3\, \underline{E}\, \underline{I}^*$$

$$= 3EI\,(\cos\varphi + j\sin\varphi) = \sqrt{3}\,\underbrace{\sqrt{3}\,E}_{V}\,I\,(\cos\varphi + j\sin\varphi)$$

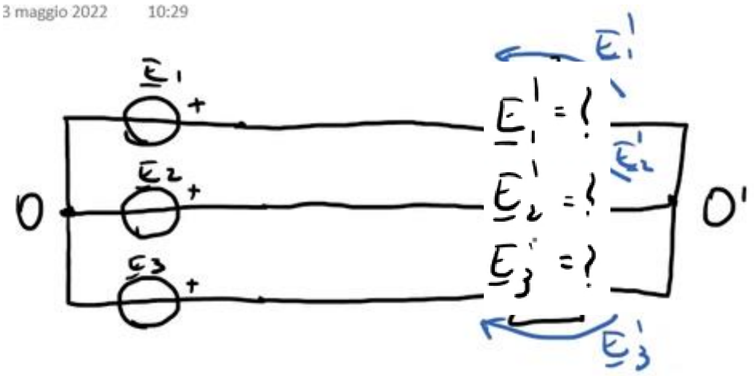
$$= \sqrt{3}\,VI\,(\cos\varphi + j\sin\varphi)$$

$$P = \sqrt{3}\, V I \cos\varphi$$

$$Q = \sqrt{3}\, V I \sin\varphi$$

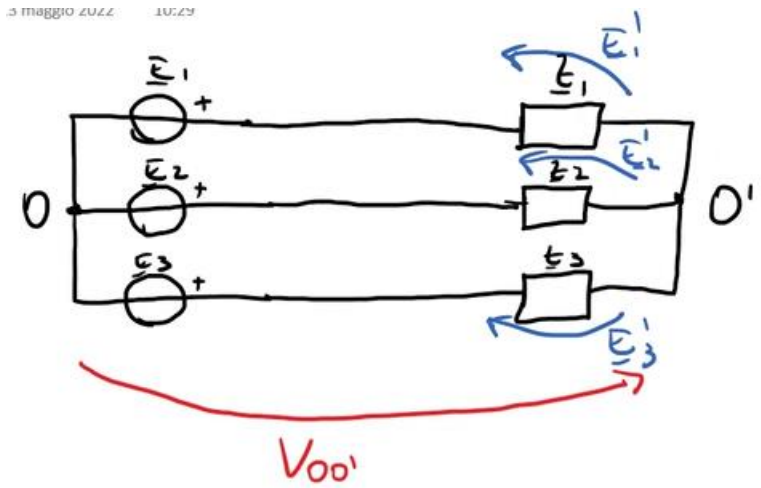
Abbiamo la potenza attiva e la potenza reattiva con il carico bilanciato.

Sistema trifase a 4 conduttori



Partiamo con una terra simmetrica

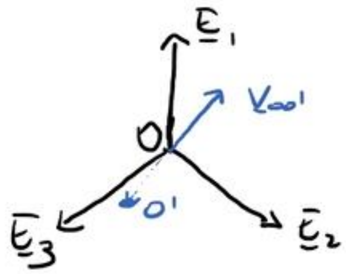
Sono ancora simmetriche?



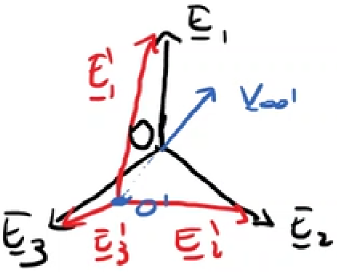
Facciamo la LKT alle maglie.

$$\begin{cases} \underline{E}_1' = \underline{E}_1 - V_{OO'} \\ \underline{E}_2' = \underline{E}_2 - V_{OO'} \\ \underline{E}_3' = \underline{E}_3 - V_{OO'} \end{cases}$$

Supponiamo una $V_{OO'} \nearrow$



Il centro di carico si sposta.



$$\left.\begin{aligned} |\underline{E}_1'| &> |\underline{E}_1| \\ |\underline{E}_2'| &> |\underline{E}_2| \end{aligned}\right\} \text{SOVRATENS.}$$

$$|\underline{E}_3'| < |\underline{E}_3| \rightarrow \text{MALFUNZIONAMENTO}$$

Le tensioni sul carico non sono più simmetriche. È un problema, dobbiamo vedere come fare.

$$\text{Vorremmo che } V_{OO'} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \underline{E}_1' = \underline{E}_1 \\ \underline{E}_2' = \underline{E}_2 \\ \underline{E}_3' = \underline{E}_3 \end{cases}$$

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$$

$$\frac{\underline{E}_1 - V_{OO'}}{\underline{Z}_1} + \frac{\underline{E}_2 - V_{OO'}}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{E}_3 - V_{OO'}}{\underline{Z}_3} = 0$$

$$\frac{\underline{E}_1}{\underline{Z}_1} - \frac{V_{OO'}}{\underline{Z}_1} + \frac{\underline{E}_2}{\underline{Z}_2} - \frac{V_{OO'}}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{E}_3}{\underline{Z}_3} - \frac{V_{OO'}}{\underline{Z}_3} = 0$$

$$\boxed{V_{OO'} = \frac{\underline{E}_1/\underline{Z}_1 + \underline{E}_2/\underline{Z}_2 + \underline{E}_3/\underline{Z}_3}{1/\underline{Z}_1 + 1/\underline{Z}_2 + 1/\underline{Z}_3}}$$

- Se il carico è equilibrato ($\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = \underline{Z}$)

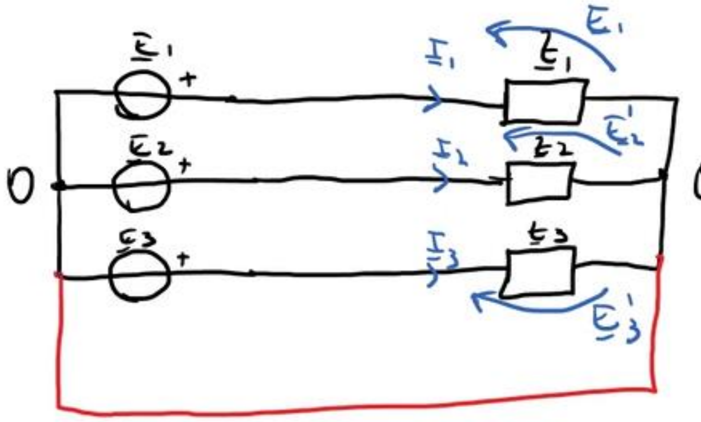
$$V_{OO'} = \frac{\frac{1}{\underline{Z}}\cancel{(\underline{E}_1 + \underline{E}_2 + \underline{E}_3)}^{0}}{3/\underline{Z}} = 0\ V \Rightarrow \begin{array}{l} \underline{E}_1' = \underline{E}_1 \\ \underline{E}_2' = \underline{E}_2 \\ \underline{E}_3' = \underline{E}_3 \end{array}$$

- Se il carico è squilibrato: $V_{OO'} \neq 0$

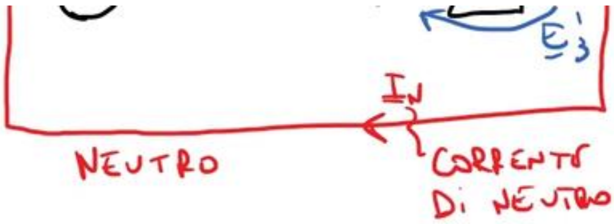
Tanto più il carico è squilibrato tanto più $V_{OO'} \neq 0$

Noi vogliamo che la terna sul carico sia simmetrica.

⇒ Forziamo $V_{OO'}$ a 0 → c.to c.to O e O'



Cortocircuitiamo 0 e 0 primo.



$$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \frac{\underline{E}_1}{\underline{Z}_1} + \frac{\underline{E}_2}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{E}_3}{\underline{Z}_3}$$

Abbiamo forzato la tensione a 0, è importante farlo perché altrimenti il circuito non funziona.

$\underline{I}_N$ sarà tanto più alta tanto più il carico è squilibrato

La corrente di neutro è nulla se il carico è equilibrato.

Il neutro è quello che entra nelle nostre case. Dalla cabina di trasformazione, si fa in modo che il carico sia distribuito uniformemente.

- Il neutro fa in modo di avere una terna simmetrica sul carico