



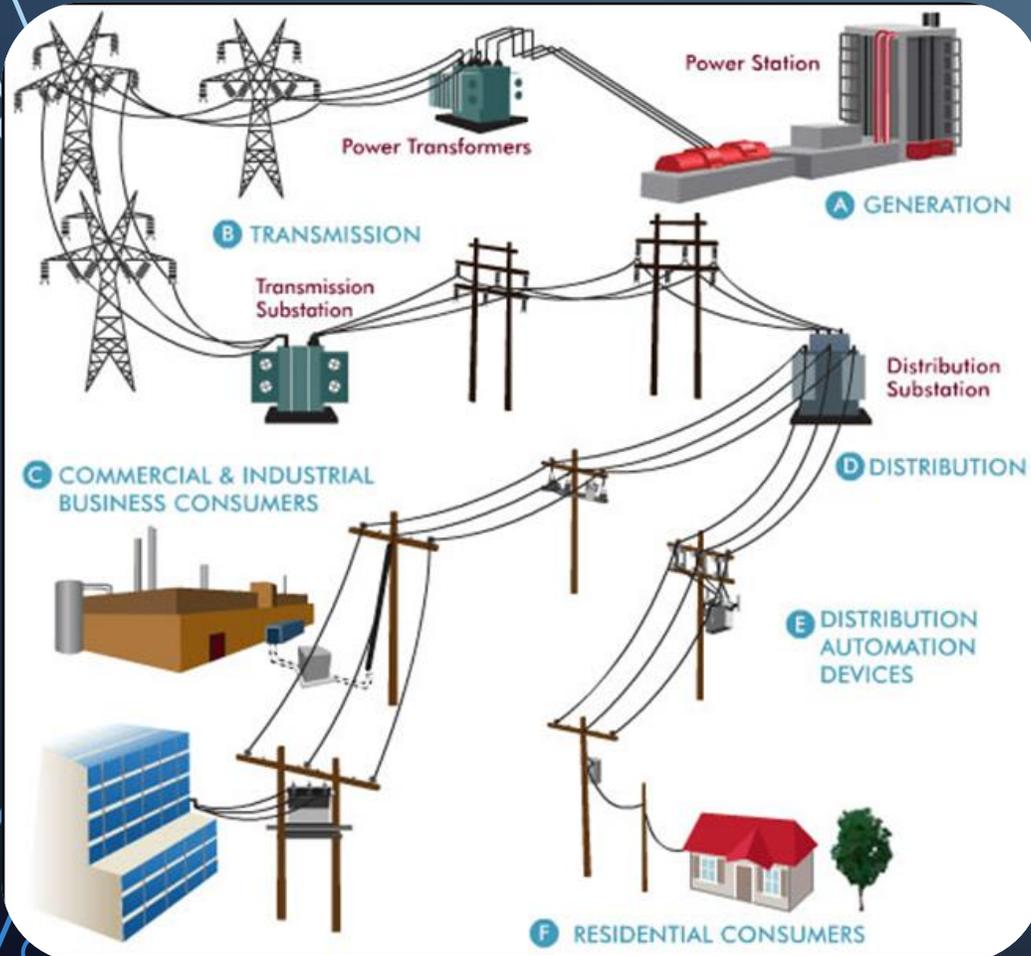
ELETTROTECNICA

SISTEMI TRIFASE

FONTI

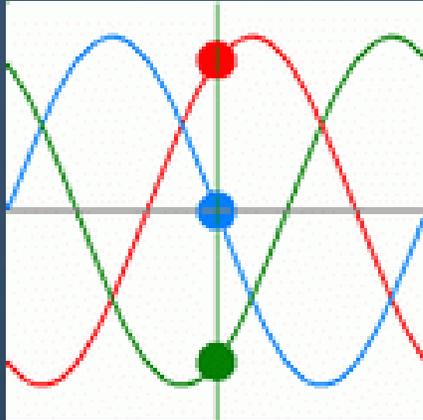
- Pezzi. Elettrotecnica generale 2a edizione. Zanichelli
- https://www.leonardocanducci.org/wiki/ee4/il_sistema_trifase
- https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_trifase
- <https://www.megistone.it/principi-fondamentali-di-elettrotecnica/alternata/16-potenze-nei-sistemi-trifase>

IMPIEGO

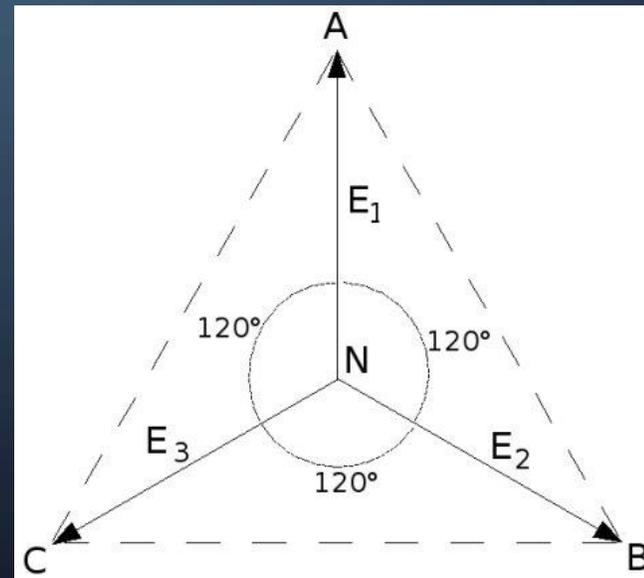
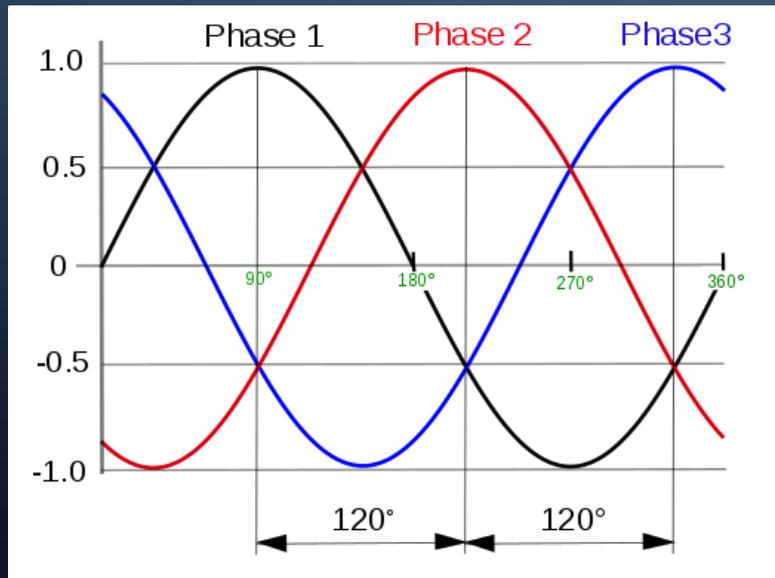


- Il sistema trifase è impiegato nella produzione, distribuzione e utilizzazione dell'energia elettrica dove, per ragioni tecniche ed economiche, è preferibile a quello monofase (a pari potenza il costo è minore)
- Rispetto ad un sistema monofase a corrente alternata, il costo del materiale e dei cavi elettrici viene ridotto del 25% a parità di potenza elettrica trasformata e generata
- Da una fornitura trifase è possibile ricavare linee monofase adatte ad alimentare utenze domestiche

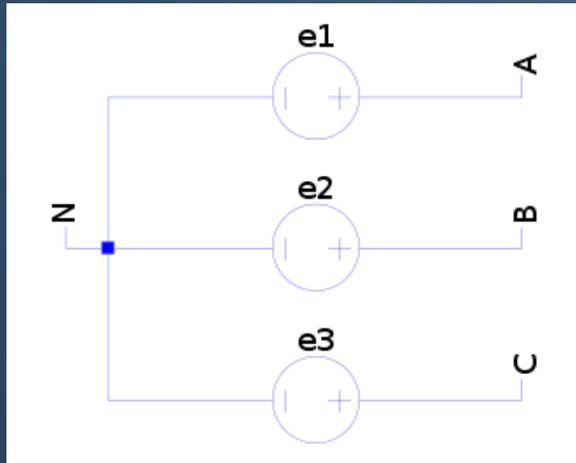
SISTEMA TRIFASE SIMMETRICO



- Si definisce sistema trifase simmetrico un insieme di tre circuiti elettrici alimentati con tre tensioni alternate aventi la stessa frequenza e la stessa ampiezza (o stesso valore efficace) ma sfasate tra loro di 120°

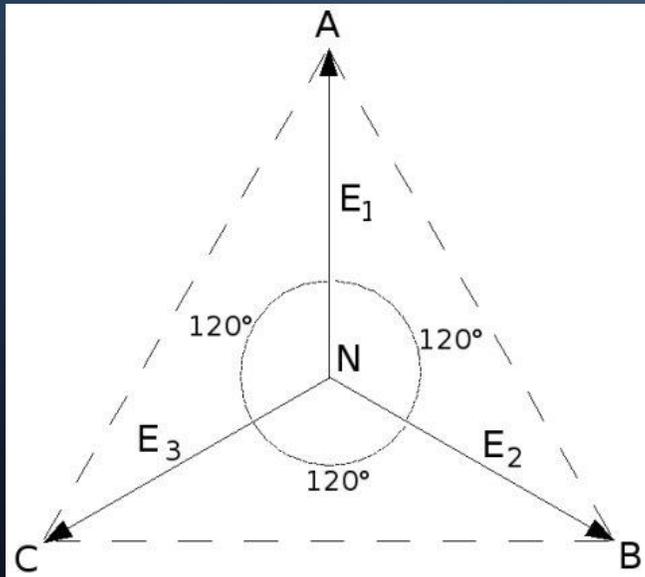


GENERATORE TRIFASE SIMMETRICO



Un generatore trifase simmetrico può essere pensato come un insieme di 3 generatori monofase sfasati tra loro di 120°

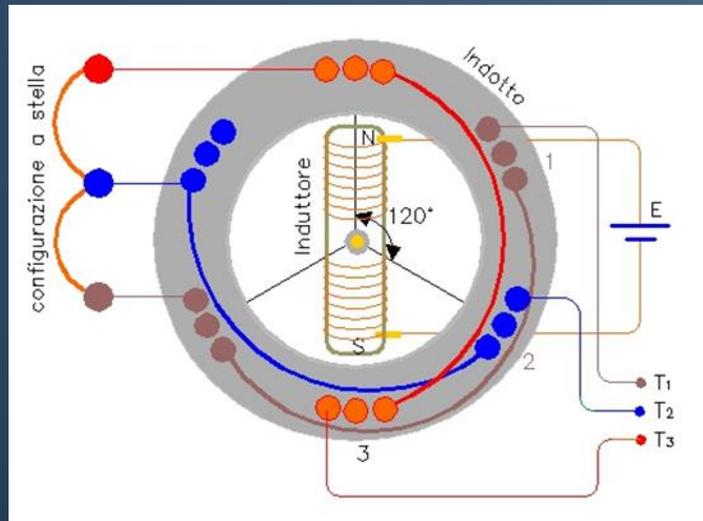
Nel sistema trifase sono quindi presenti tre conduttori chiamate fasi (terminali A, B e C) e un quarto conduttore comune chiamato neutro (terminale N)



Il potenziale del neutro è sempre 0 V e tra questo e le fasi sono presenti tre tensioni con le seguenti caratteristiche:

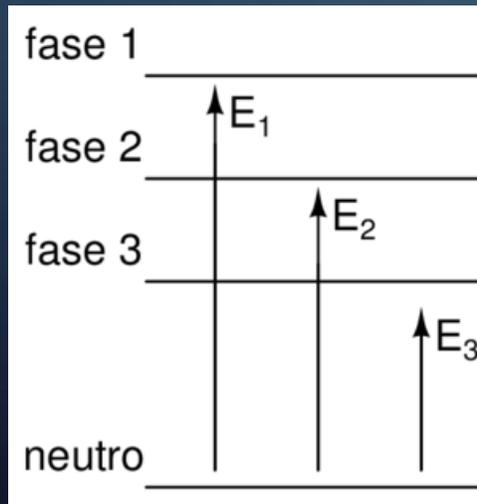
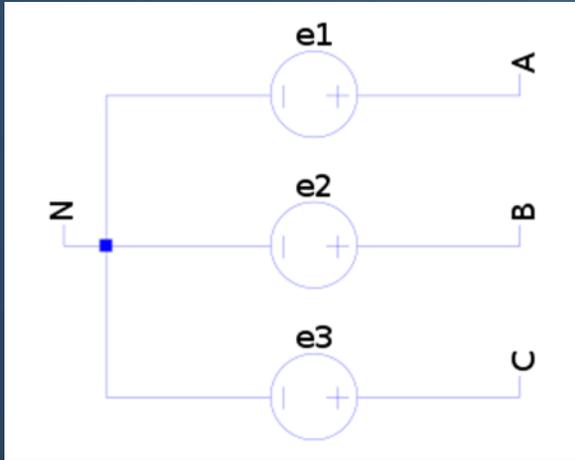
- forma d'onda sinusoidale
- stessa frequenza
- stessa ampiezza
- sfasate tra loro di 120°

ALTERNATORE TRIFASE



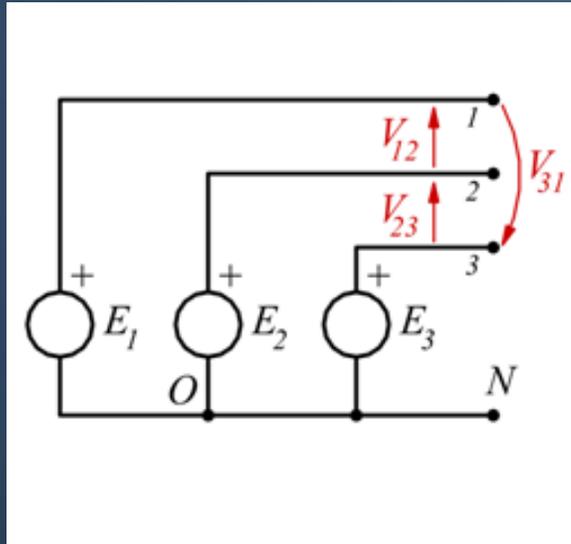
La tensione trifase è in genere realizzata con una macchina elettrica chiamata alternatore trifase, nella quale un campo magnetico induttore meccanicamente rotante, ottenuto con degli avvolgimenti rotanti alimentati con corrente continua, induce, su tre avvolgimenti indotti fissi, disposti tra loro a 120° , una terna di tensioni uguali sfasate di 120°

TENSIONI STELLATE



- Il collegamento dei generatori mostrato in figura prende il nome di collegamento a stella
- Le tensioni $e_1(t)$, $e_2(t)$ e $e_3(t)$ prendono il nome di tensioni stellate (o di fase) e corrispondono alle tensioni dei nodi A, B e C misurate rispetto al centro stella N
- In BT (bassa tensione) le tensioni stellate hanno un valore efficace $E_1 \cong E_2 \cong E_3 \cong 230 V$ (prima dell'adeguamento alla rete europea era di 220 V)

TENSIONI CONCATENATE

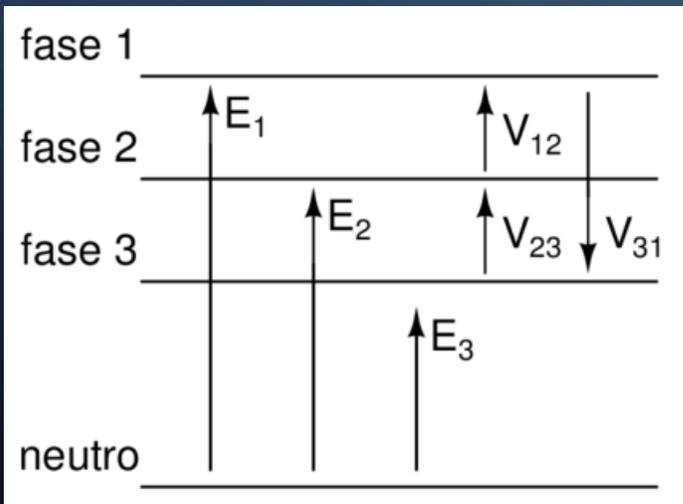


- È possibile prendere le tensioni tra i terminali dei tre generatori senza coinvolgere il neutro N
- Si parla in questo caso di tensioni concatenate
- Le tensioni concatenate sono allora

$$V_{12} = E_1 - E_2$$

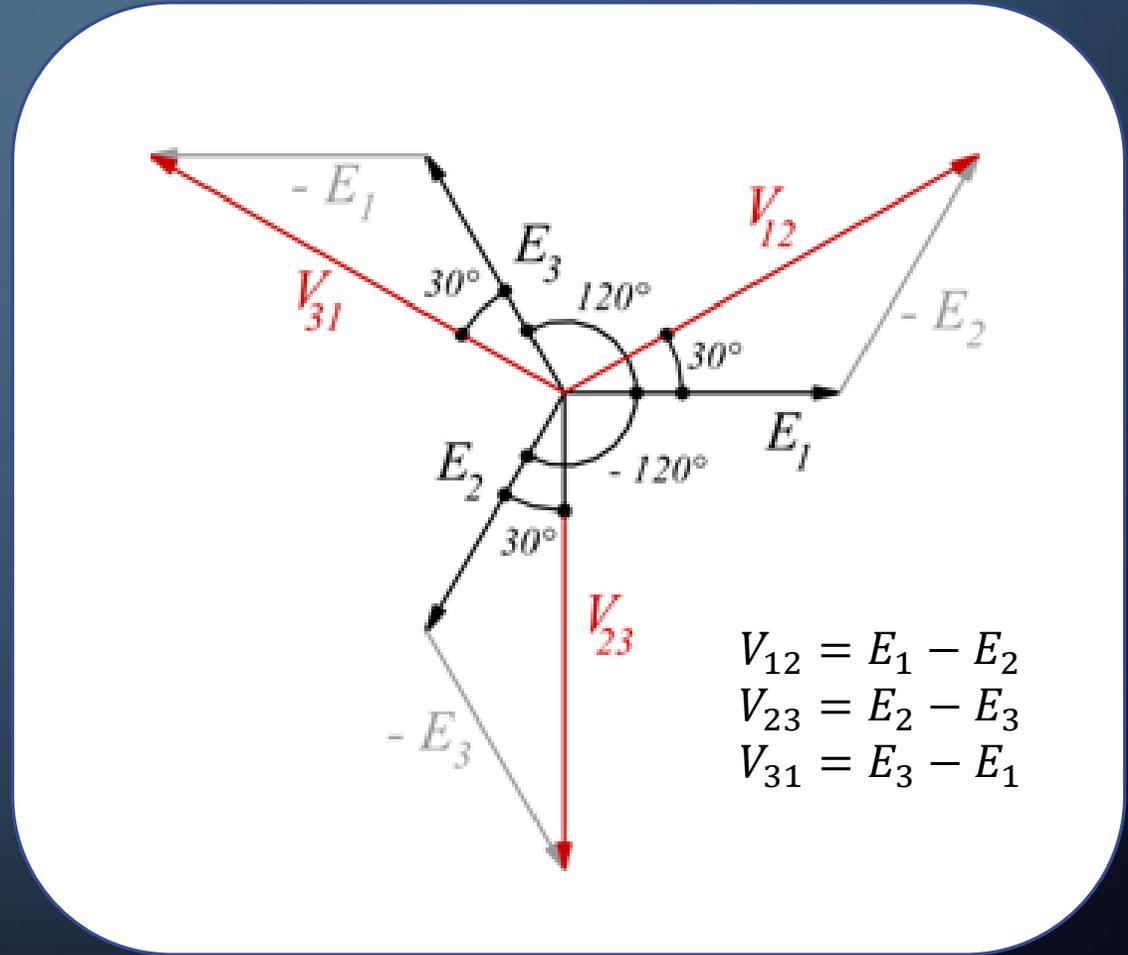
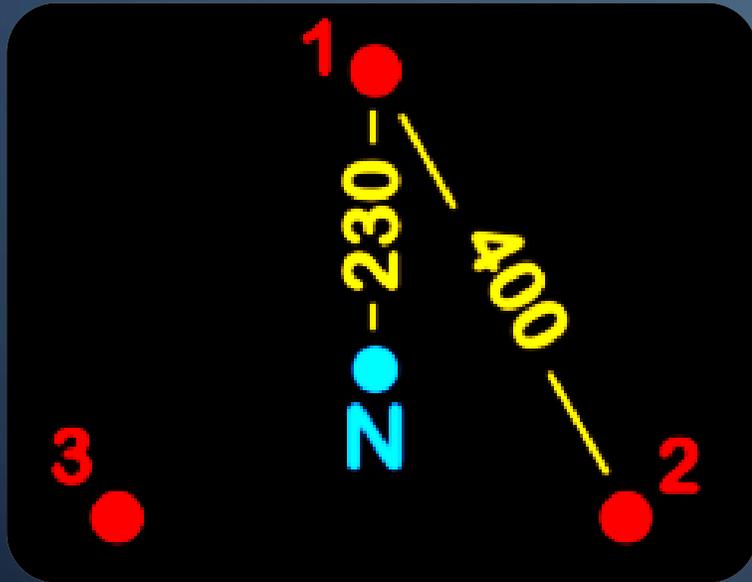
$$V_{23} = E_2 - E_3$$

$$V_{31} = E_3 - E_1$$

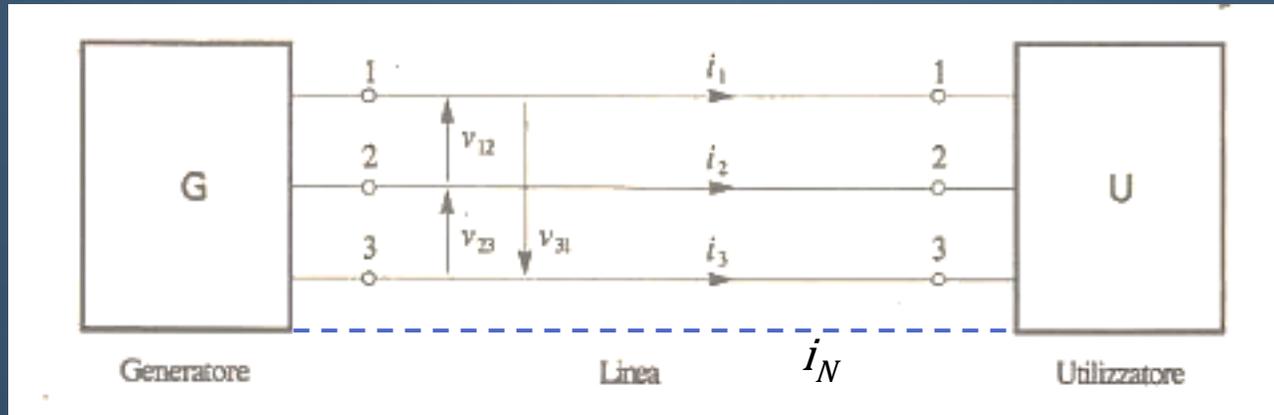


- In BT (bassa tensione) le tensioni concatenate hanno un valore efficace $V_{21} \cong V_{23} \cong V_{31} \cong 400 V$ (prima dell'adeguamento alla rete europea era di 380 V)

LEGAME TRA TENSIONI STELLATE E CONCATENATE

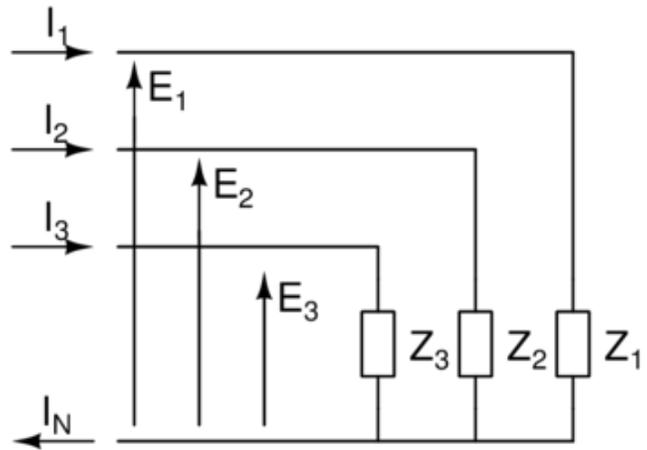


CORRENTI DI LINEA

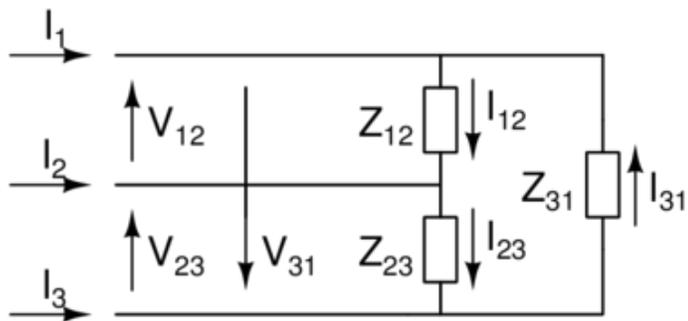


- Le correnti i_1 , i_2 , i_3 che percorrono i conduttori della linea trifase sono chiamate correnti di linea
- Oltre a queste, se esiste il collegamento, può essere presente la corrente di neutro i_N

CARICO TRIFASE (1/2)



carico a stella



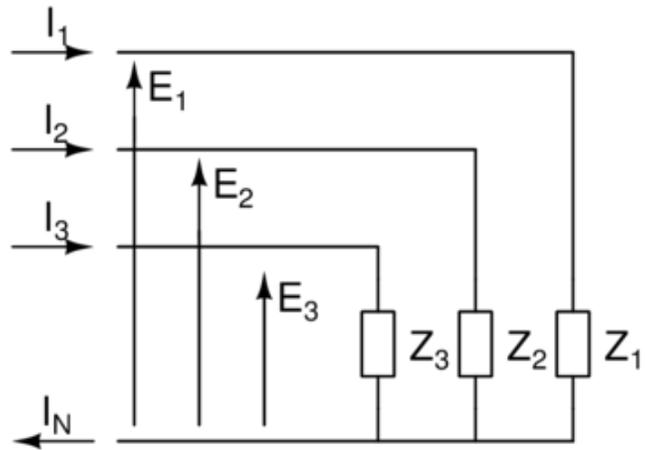
carico a triangolo

Un carico trifase è formato da tre impedenze

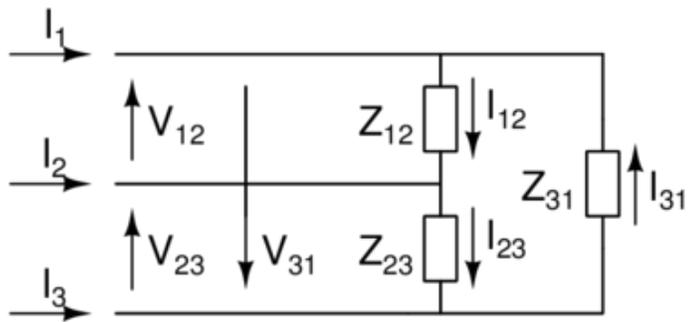
Se le tre impedenze sono uguali ($Z_1 = Z_2 = Z_3$) il carico è detto equilibrato e le correnti che lo percorrono formeranno una terna equilibrata di correnti con:

- stesso valore efficace
- sfasamento di 120° tra una corrente e l'altra
- somma nulla

CARICO TRIFASE (2/2)



carico a stella

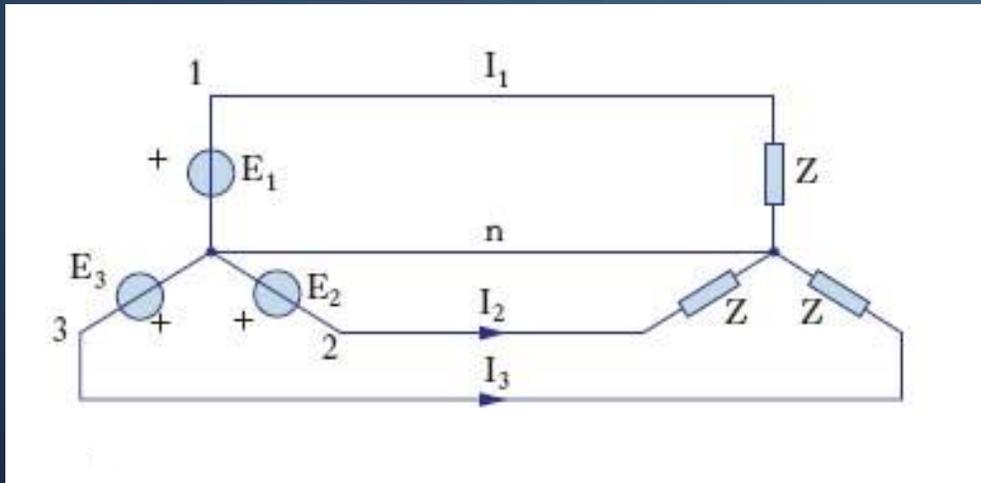


carico a triangolo

- I carichi trifase possono essere collegati a stella o a triangolo
- In un carico a stella le tre impedenze sono collegate ai tre conduttori di fase e a un morsetto in comune (che va collegato al neutro se il carico è squilibrato)
- Nel carico a triangolo le tre impedenze sono collegate a due a due ai conduttori di fase

SISTEMI TRIFASE SIMMETRICI

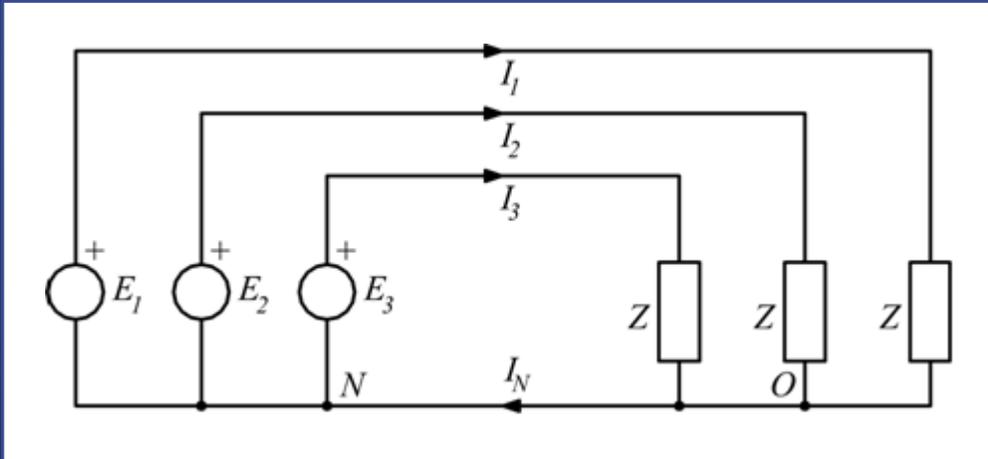
Se le tensioni alternate hanno la stessa frequenza e la stessa ampiezza (o stesso valore efficace) e sono sfasate tra loro di 120° ($E_1 = E_2 = E_3 = E$) ed inoltre i 3 carichi Z sono uguali si parla di sistemi simmetrici



In questo caso il legame tra tensioni stellate e concatenate è

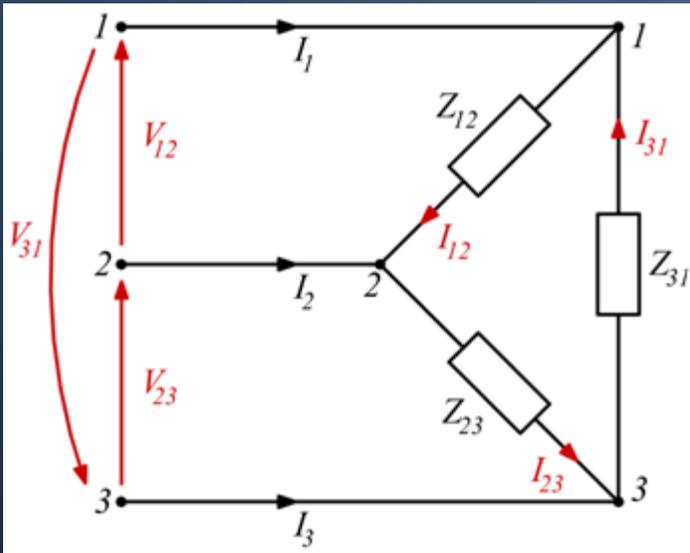
$$V_{stellata} = \sqrt{3} * E_{concatenata}$$

CARICO A STELLA



- Nei carichi a stella le tre impedenze sono sottoposte alle tensioni di fase
- Le correnti di fase sono anche le correnti di linea e valgono: $\vec{I}_1 = \frac{\vec{E}_1}{Z_1}$, $\vec{I}_2 = \frac{\vec{E}_2}{Z_2}$, $\vec{I}_3 = \frac{\vec{E}_3}{Z_3}$
- Si ha inoltre $\vec{I}_N = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$
- Se il sistema è simmetrico le tre correnti sono uguali $I = \frac{E}{Z}$ e $I_N = 0$. Nei sistemi di distribuzione (che sono resi appositamente simmetrici) il cavo di neutro è dunque assente

CARICO A TRIANGOLO



- Nei carichi a triangolo le tre impedenze sono sottoposte alle tensioni concatenate

- Le correnti di fase valgono: $\vec{I}_{12} = \frac{\vec{V}_{12}}{Z_{12}}$, $\vec{I}_{23} = \frac{\vec{V}_{23}}{Z_{23}}$,

$$\vec{I}_{31} = \frac{\vec{V}_{31}}{Z_{31}}$$

- Le correnti di linea valgono invece $\vec{I}_1 = \vec{I}_{12} - \vec{I}_{31}$,
 $\vec{I}_2 = \vec{I}_{23} - \vec{I}_{12}$, $\vec{I}_3 = \vec{I}_{31} - \vec{I}_{23}$

- Se il sistema è simmetrico le tre correnti di fase sono uguali $I_F = \frac{V}{Z}$ e le correnti di linea $I_L = \sqrt{3}I_F$

POTENZA NEI SISTEMI TRIFASE

- In presenza di carichi squilibrati si sommano le potenze delle tre fasi:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

- Nel caso più comune di carichi equilibrati (per esempio gli elettrodotti)

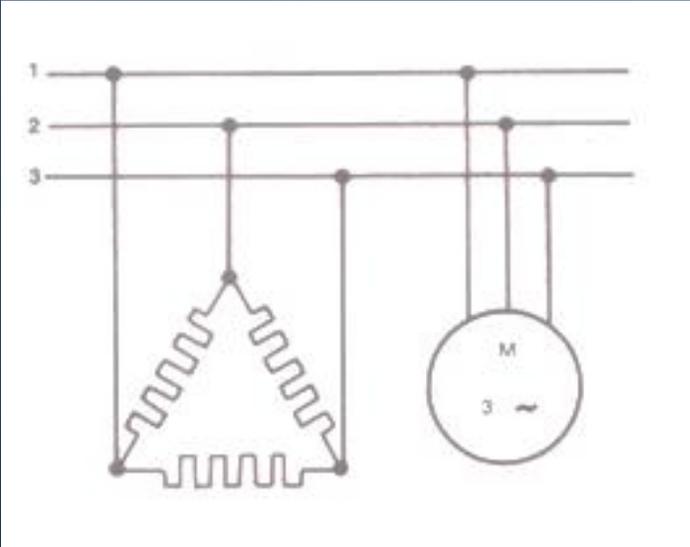
$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos(\varphi)$$

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sin(\varphi)$$

$$S = \sqrt{3} * V * I$$

dove V e I sono i valori efficaci delle tensioni concatenate e delle correnti di fase e φ è lo sfasamento tra tensioni e correnti riferito alle tre impedenze

ESEMPIO (1 / 3)



Una linea trifase a 400 V (efficaci) alimenta un forno elettrico trifase di potenza $P_1 = 15$ kW ($\cos \varphi = 1$) ed un motore trifase di potenza $P_2 = 20$ kW con un fattore di potenza pari a 0.75

- Calcolare la corrente di linea ed il fattore di potenza totale

ESEMPIO (2/3)

Relativamente al triangolo delle potenze (triangolo blu) si ha che il motore fornisce i due contributi (P_2 e Q_2) rappresentati dal triangolo di colore giallo più intenso con $\cos(\varphi) = 0.75$ e quindi $\varphi = 41^\circ$

Per il forno $P_1 = 15 \text{ KW}$, $Q_1 = 0$

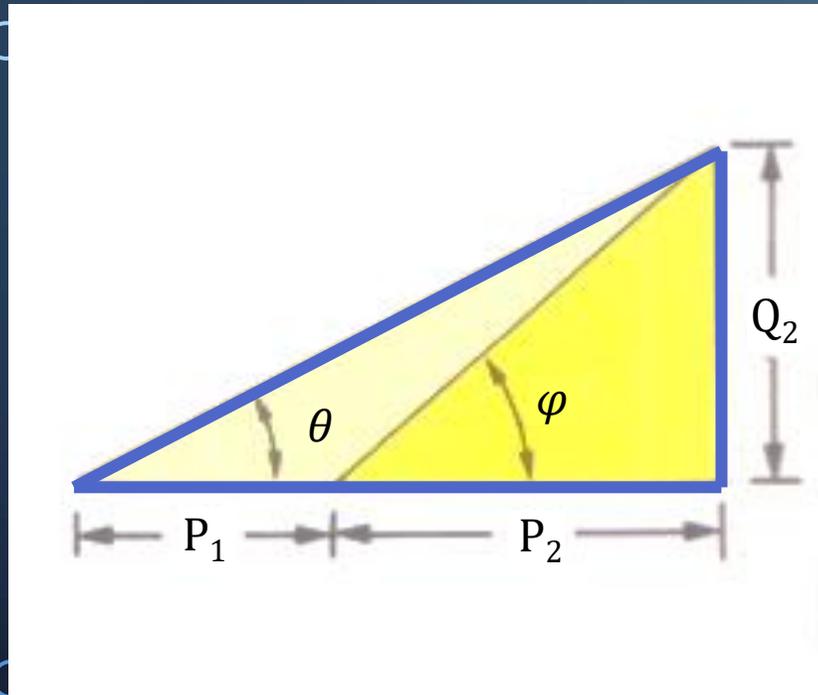
Per il motore elettrico $P_2 = 20 \text{ KW}$, da cui si ricava

$$Q_2 = P_2 * \operatorname{tg}(\varphi) = 17.4 \text{ KVAR}$$

Il teorema di Boucherot permette di sommare le varie potenze

$$P = P_1 + P_2 = 15 + 20 = 35 \text{ KW}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 0 + 17.4 = 17.4 \text{ KVAR}$$



ESEMPIO (3/3)

La potenza apparente è $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 39 \text{ KVA}$

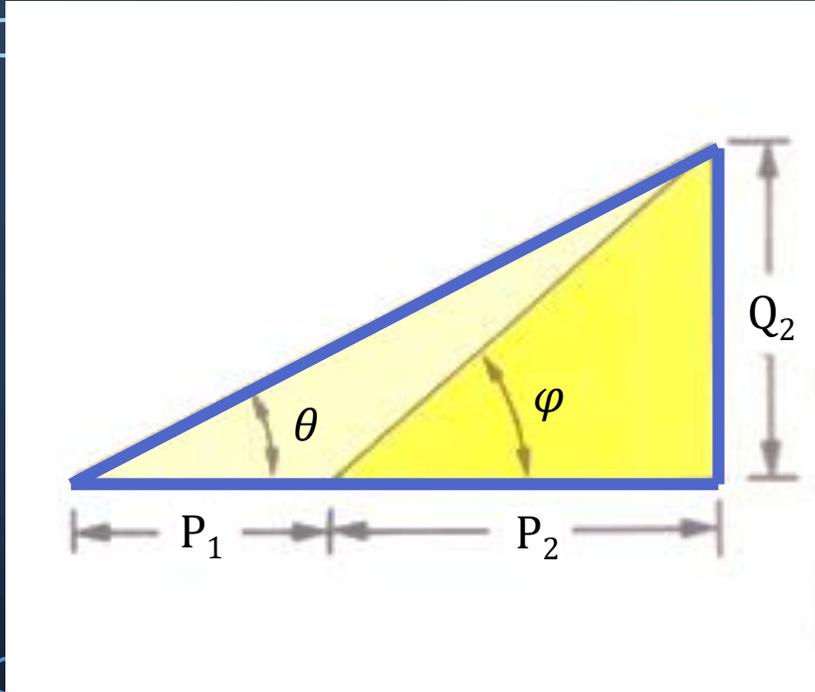
Il fattore di potenza totale è quindi

$$\cos(\theta) = \frac{P}{S} = \frac{35000}{39000} = 0.89$$

a cui corrisponde l'angolo $\theta = 27^\circ$

La corrente di linea risulta invece

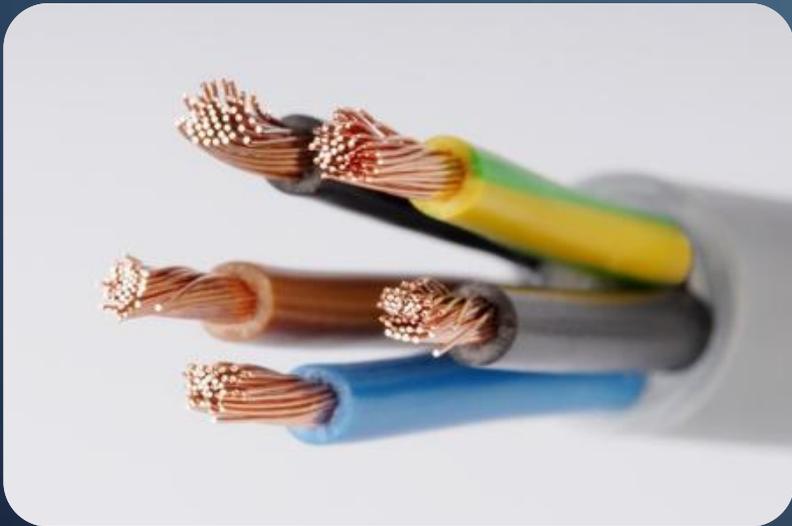
$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V} = \frac{39000}{\sqrt{3} * 400} = 56.3 \text{ A}$$



COLORI DEI CONDUTTORI

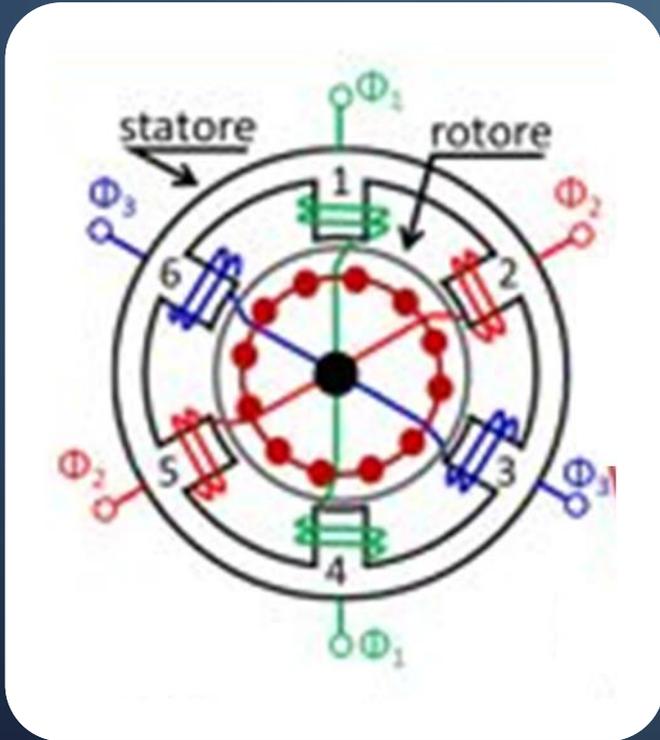
La norma EN 60446 (Individuazione dei conduttori tramite colori o codici numerici) creata da CEI stabilisce per i cavi elettrici un preciso codice colore:

- Fase R o L1: marrone
- Fase S o L2: nero
- Fase T o L3: grigio
- Neutro N: Blu
- Protezione/terra/schermo: giallo-verde



Negli impianti monofase, essendo parte di un sistema trifase, il neutro è azzurro, la fase può essere nera, marrone o grigia e la protezione/terra giallo-verde.

VANTAGGI (1 / 3)



- La presenza di tre tensioni sfasate permette di creare un campo magnetico rotante, alla base del funzionamento del motore asincrono trifase

VANTAGGI (2/3)



- Per trasportare la stessa potenza usando fili dello stesso diametro con un sistema monofase sarebbero necessari 6 conduttori (tre di andata e tre di ritorno), con un collegamento trifase simmetrico solo 3 (tre di andata e nessuno di ritorno poiché la corrente sul neutro è nulla) con un grande risparmio di rame e sulla struttura degli elettrodotti visto il peso minore da sostenere

VANTAGGI (3/3)



- Minori perdite di trasporto (maggiore efficienza in trasmissione) perché l'assenza del conduttore di ritorno dimezza la resistenza della linea
- Per ridurre ulteriormente le perdite (dovute anche ad effetto pelle ed induttanza parassita) negli elettrodotti ad altissima tensione (maggiore di 150 KV) si utilizzano conduttori multipli (vedi nella foto un elettrodotto trifase con tre conduttori per fase)