

POTENZA ELETTRICA IN ALTERNATA

In **CORRENTE CONTINUA** la potenza si calcola con il prodotto di tensione e corrente e si misura in Watt:

$$P = V \cdot I$$

POTENZA [W] TENSIONE [V] CORRENTE [A]

In **CORRENTE ALTERNATA** deve valere più o meno la stessa formula, però tensione e corrente sono entrambi fasori. Si può fare lo stesso?

Per rispondere a questa domanda bisognerebbe tornare a considerare le sinusoidi di V e I, eseguire la moltiplicazione e vedere se il risultato è effettivamente equivalente a quello che si ottiene dalla moltiplicazione dei fasori. Per chi fosse curioso ho riportato questo calcolo in appendice. Dal calcolo si evince che non si può fare una semplice moltiplicazione, ma bisogna introdurre una piccola modifica:

$$\vec{S} = \vec{V} \cdot \vec{I}^*$$

FASORE POTENZA COMPLESSA [VA] FASORE TENSIONE [V] FASORE CORRENTE COMPLESSO CONIUGATO [A]

NOTA BENE

IL COMPLESSO CONIUGATO DI UN FASORE È IL FASORE STESSO CON LA PORTE IMMAGINARIA (O LA FASE) CAMBIATA DI SEGNO.

ES. $\vec{I} = 4 + j3 \rightarrow \vec{I}^* = 4 - j3$
 $\vec{I} = 2e^{j90^\circ} \rightarrow \vec{I}^* = 2e^{-j90^\circ}$

Questa grandezza prende il nome di **POTENZA COMPLESSA**. Il simbolo è **S** e l'unità di misura sono i "Voltampère" (VA). Il modulo della potenza complessa si chiama **POTENZA APPARENTE**.

$$|\vec{S}| = |\vec{V}| \cdot |\vec{I}|$$

POTENZA APPARENTE [VA] MODULO DELLA TENSIONE [V] MODULO DELLA CORRENTE [A] → NOTA BENE: $|\vec{I}| = |\vec{I}^*|$

Si chiama "apparente" perché in realtà non tutta questa potenza è realmente utilizzabile. Per capirlo, si divide la potenza complessa nelle sue due componenti: parte reale e parte immaginaria.

$$\vec{S} = P + jQ$$

POTENZA
COMPLESSA
[VA]

POTENZA
ATTIVA
[W]

POTENZA
REATTIVA
[VAR]

PARTE REALE (POTENZA ATTIVA)

$$P = |\vec{S}| \cdot \cos \varphi = |\vec{V}| \cdot |\vec{I}| \cdot \cos(\angle \vec{V} - \angle \vec{I})$$

POTENZA
ATTIVA
[W]

MODULO
DELLA \vec{S}
[VA]

FASE
DELLA \vec{S} = FATTORE DI POTENZA

La parte reale della potenza reattiva si chiama potenza attiva. Il simbolo è P e l'unità di misura è Watt [W]. La potenza attiva ha le stesse caratteristiche della potenza in corrente continua, quindi è in grado di svolgere un lavoro o un impiego utile (es. scaldare un forno, muovere un motore, accendere una lampada, ecc).

PARTE IMMAGINARIA (POTENZA REATTIVA)

$$Q = |\vec{S}| \cdot \sin \varphi = |\vec{V}| \cdot |\vec{I}| \cdot \sin(\angle \vec{V} - \angle \vec{I})$$

POTENZA
REATTIVA
[VAR]

MODULO
DELLA \vec{S}
[VA]

FASE
DELLA \vec{S}

La parte immaginaria della potenza apparente si chiama potenza reattiva.

Il simbolo è Q e l'unità di misura è "Voltampère reattivi" [VAR].

La potenza reattiva non è in grado di svolgere alcun lavoro. È sostanzialmente una potenza "parassita" che circola nei



circuiti ma non può essere convertita in lavoro o altre forme energetiche utili. La potenza reattiva può essere vista come la schiuma della birra: occupa il bicchiere ma contiene nulla di utile.

Allo stesso modo la potenza reattiva occupa la portata dei cavi, limita quindi la potenza attiva trasportabile e aumenta le perdite energetiche.

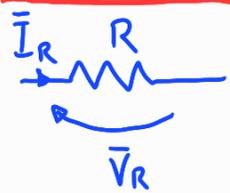
La quantità " $\cos \varphi$ " si chiama **FATTORE DI POTENZA** ed è molto importante negli impianti elettrici perché determina quanta parte della potenza apparente è effettivamente potenza attiva. L'angolo φ è l'angolo di sfasamento tra tensione e corrente sullo stesso componente.

Normalmente è importante che il fattore di potenza sia più alto possibile per massimizzare il trasporto di potenza utile e quindi utilizzare al meglio i cavi. Le società che distribuiscono energia elettrica (ad esempio Enel o Acea) applicano delle multe agli utenti con valore di $\cos \varphi$ troppo basso.

Chi genera/assorbe potenza reattiva?
È possibile eliminarla?

Per capirlo si può provare a calcolare la potenza su ciascuno dei componenti finora studiati: resistori, induttori e condensatori e vedere chi sono i colpevoli.

POTENZA nei **RESISTORI**



$$\vec{I}_R = \frac{\vec{V}_R}{R}$$

PER DEFINIZIONE È UN NUMERO REALE, QUINDI LE FASI DI \vec{V}_R E \vec{I}_R SONO UGUALI, E QUINDI $\varphi = \angle \vec{V}_R - \angle \vec{I}_R = 0^\circ$

$$P = |\vec{V}_R| \cdot |\vec{I}_R| \cdot \cos 0^\circ = |\vec{V}_R| \cdot |\vec{I}_R| \text{ WATT}$$

$$Q = |\vec{V}_R| \cdot |\vec{I}_R| \cdot \sin 0^\circ = 0 \text{ VAR}$$

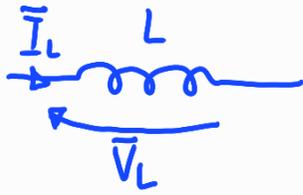
$$P > 0$$

$$Q = 0$$

I RESISTORI ASSORBONO
POTENZA ATTIVA

Nei resistori, tensione e corrente sono perfettamente in fase, quindi il fattore di potenza è sempre 1. Ne consegue che i resistori assorbono solamente potenza attiva mentre non producono né assorbono potenza reattiva.

POTENZA negli **INDUTTORI**



$\vec{V}_L = j\omega L \vec{I}_L$ → L'IMPEDEENZA $\vec{Z}_L = j\omega L$ SFASA DI 90° IN ANTICIPO,
QUINDI \vec{I}_L SARÁ IN RITARDO DI 90° RISPETTO A \vec{V}_L ;
QUINDI $\varphi = \angle \vec{V}_L - \angle \vec{I}_L = 90^\circ$

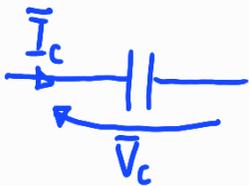
$$P = |\vec{V}_L| \cdot |\vec{I}_L| \cdot \overset{0}{\cos 90^\circ} = 0 \text{ WATT}$$

$$Q = |\vec{V}_L| \cdot |\vec{I}_L| \cdot \underset{-1}{\sin 90^\circ} = |\vec{V}_L| \cdot |\vec{I}_L| \text{ VAR}$$

$P=0$ $Q>0$
GLI INDUTTORI ASSORBONO
POTENZA REATTIVA

Negli induttori, la corrente è in ritardo di 90° sulla tensione, quindi il fattore di potenza è sempre 0. Ne consegue che gli induttori non assorbono né producono potenza attiva ma assorbono potenza reattiva.

POTENZA nei **CONDENSATORI**



$\vec{V}_C = \frac{1}{j\omega C} \vec{I}_C = \frac{-j}{\omega C} \vec{I}_C$ → L'IMPEDEENZA $\vec{Z}_C = \frac{-j}{\omega C}$ SFASA DI 90° IN RITARDO,
QUINDI \vec{I}_C SARÁ IN RITARDO DI 90° RISPETTO A \vec{V}_C ;
QUINDI $\varphi = \angle \vec{V}_C - \angle \vec{I}_C = -90^\circ$

$$P = |\vec{V}_C| \cdot |\vec{I}_C| \cdot \overset{0}{\cos(-90^\circ)} = 0 \text{ WATT}$$

$$Q = |\vec{V}_C| \cdot |\vec{I}_C| \cdot \underset{-1}{\sin(-90^\circ)} = -|\vec{V}_C| \cdot |\vec{I}_C| \text{ VAR}$$

$P=0$ $Q<0$
I CONDENSATORI PRODUCONO
POTENZA REATTIVA

Nei condensatori, la corrente è in anticipo di 90° sulla tensione, quindi il fattore di potenza è sempre 0. Ne consegue che i condensatori non assorbono né producono potenza attiva ma producono potenza reattiva.

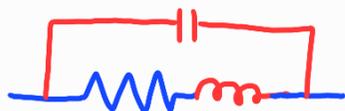
La potenza reattiva è eliminabile?

No, non è possibile per vari motivi:

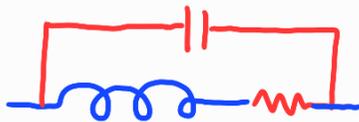
- 1) Per farlo occorrerebbe eliminare induttori e condensatori, ma ci sono molti circuiti che, per funzionare, ne hanno bisogno;
- 2) Se anche eliminassimo tutti gli induttori ed i condensatori, resterebbero le induttanze e capacità parassite dei resistori e dei cavi. Nel mondo reale, infatti, anche cavi e resistori hanno delle piccole

induttanze e capacità. Allo stesso modo i condensatori hanno delle piccole resistenze ed induttanze e gli induttori hanno delle piccole resistenze e capacità. In definitiva nella realtà i componenti non sono così ben definiti come studiato in teoria, ma ciascuno ha anche qualcosa anche degli altri (ved. figura, in rosso sono indicate le grandezze parassite).

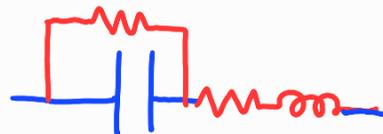
RESISTORE REALE



INDUTTORE REALE



CONDENSATORE REALE



Se non si può eliminare la potenza reattiva cosa si può fare per limitarne gli effetti negativi?

Quanto detto finora mostra che la potenza reattiva è prodotta dai condensatori e assorbita dagli induttori. Questo passaggio di potenza implica un passaggio di corrente, con gli effetti negativi già menzionati. Se si riuscisse a limitare questa corrente si limiterebbero tali effetti.

Come si può fare?

L'ideale sarebbe che condensatori e induttori stessero il più possibile vicini, in modo tale da scambiarsi potenza tra loro senza interessare tutto il circuito. Esiste una pratica chiamata **RIFASAMENTO** che consiste nel posizionare dei condensatori nell'impianto elettrico di un edificio (di solito industriale o del terziario) in modo da compensare subito la potenza reattiva assorbita dagli induttori, senza doverla far arrivare dalla rete esterna. Infatti di solito vi è un eccesso di potenza reattiva assorbita a causa del fatto che gli induttori sono presenti in moltissimi componenti soprattutto del mondo industriale (motori elettrici, sistemi di illuminazione, forni ad arco, sistemi di saldatura, sistemi di conversione dell'energia, alimentatori per apparecchiature elettroniche, ecc).

ENERGIA ELETTRICA IN ALTERNATA

In corrente alternata non vi è alcuna differenza rispetto alle formule già dette in corrente continua. Come per la potenza, però, bisogna distinguere tra energia attiva ed energia reattiva.

ENERGIA ATTIVA

$$E_A = P \cdot \Delta t$$

ENERGIA
ATTIVA

POTENZA
ATTIVA
[W]

INTERVALLO
DI TEMPO

ENERGIA REATTIVA

$$E_R = Q \cdot \Delta t$$

ENERGIA
REATTIVA

POTENZA
REATTIVA
[VAR]

INTERVALLO
DI TEMPO

L'unità di misura dell'energia dipende dalla scelta dell'intervallo di tempo.

SE Δt È IN SECONDI [s]:

- E_A È IN "JULE" [J]
- E_R NON SI UTILIZZA

SE Δt È IN ORE [h]:

- E_A È IN "WATTORA" [Wh]
- E_R È IN "VARORA" [VARh]