

TRASFORMATORE MONOFASE Prova a vuoto (Elettrotecnica)

Obiettivo della prova.

Misurazione dei parametri di un trasformatore monofase a vuoto (I_0 , P_0 , V_{1n} , V_{2n}), connesso dal lato di bassa tensione, con tensione variabile e successiva rilevazione del rapporto di trasformazione n e del fattore di potenza $\cos(\varphi_0)$.

Cenni storici.

Il trasformatore è una macchina elettrica statica che appartenente alla categoria più ampia dei convertitori. La macchina ha importanza fondamentale nel mondo di oggi: senza di essa le grandi reti di trasporto dell'energia elettrica che collegano le centrali elettriche a milioni di industrie e di case non potrebbero funzionare.

Quindi la principale applicazione del trasformatore, in ambito impiantistico è quella di convertire i parametri di tensione e corrente in ingresso, rispetto a quelli in uscita, pur mantenendo costante la quantità di potenza elettrica (a meno delle perdite per effetto dell'isteresi e delle correnti parassite). Il trasformatore inoltre è una macchina in grado di operare solo in corrente alternata, perché sfrutta i principi dell'elettromagnetismo legati ai flussi variabili.

Dal punto di vista storico le principali tappe che hanno portato all'attuale trasformatore sono :

- Michael Faraday inventò il 29 agosto 1831 l'anello a induzione, il primo trasformatore. Egli lo usò però solamente per dimostrare i principi dell'induzione elettromagnetica e non ne intravede un uso pratico.
- Lucien Gaulard e John Dixon Gibbs presentarono a Londra nel 1881 un dispositivo chiamato *generatore secondario* e vendettero l'idea alla società americana Westinghouse. Fu il primo trasformatore di uso pratico, ma impiegava un nucleo lineare, abbandonato poi in favore del nucleo circolare. Fu anche presentato a Torino nel 1884, dove fu adottato per un sistema di illuminazione.
- William Stanley, un ingegnere della Westinghouse, costruì un modello di trasformatore nel 1885 dopo che George Westinghouse acquistò l'invenzione di Gaulard e Gibbs. Egli utilizzò per il nucleo due ferri sagomati a forma di *E* ed il modello entrò in commercio nel 1886.
- Ottó Bláthy, Miksa Déri e Károly Zipernowsky, ingegneri ungheresi della società Ganz di Budapest svilupparono nel 1885 un efficiente modello "ZBD" basato sul progetto di Gaulard e Gibbs.

Nikola Tesla nel 1891 inventò la bobina di Tesla, un trasformatore risonante con avvolgimenti sintonizzati in aria per produrre altissime tensioni ad alta frequenza.

Procedura di esecuzione della prova.

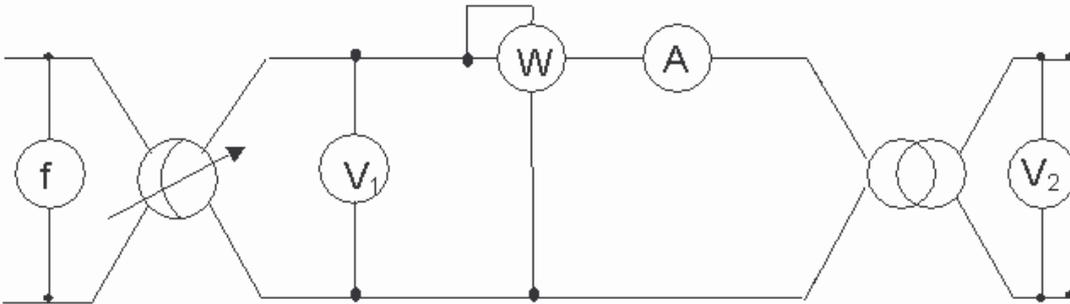
Si monta il circuito iniziando con il collegamento tra il generatore e il morsetto dell'amperometro e passando poi al primo morsetto dell'amperometrica del wattmetro, da cui, con un "cavallotto", ci si collega alla voltmetrica sempre del wattmetro. Successivamente si connette il secondo morsetto dell'amperometrica alla fase del trasformatore, mentre il secondo morsetto della voltmetrica va al neutro.

Inoltre al trasformatore viene collegata la fase, la quale proviene da una connessione effettuata precedentemente al primo morsetto di V_1 , mentre il secondo morsetto di V_1 viene utilizzato per il collegamento al neutro. Alla seconda uscita del trasformatore si installa un voltmetro V_2 .

Infine, verificato il circuito, si rilevano i valori di corrente (I_0), di tensione (V_{1n}), di potenza (P_0) e la tensione ai capi del trasformatore (V_{20}). Per la prova a vuoto si è usato un Wattmetro "a basso $\cos(\varphi_w)$ ", cioè con fattore di potenza compreso nell'intervallo tra 0,1 e 0,2.

Schema elettrico di misura.

Di seguito si riporta lo schema elettrico che si adotta per effettuare la misura :



Il trasformatore viene alimentato dal lato di bassa tensione (24V), ciò per garantire una certa sicurezza elettrica a coloro che effettuano la prova. Il numero minimo di misure effettuate è cinque.

Apparecchiature e dispositivi di misura.

Il trasformatore da analizzare ha i seguenti dati di targa :

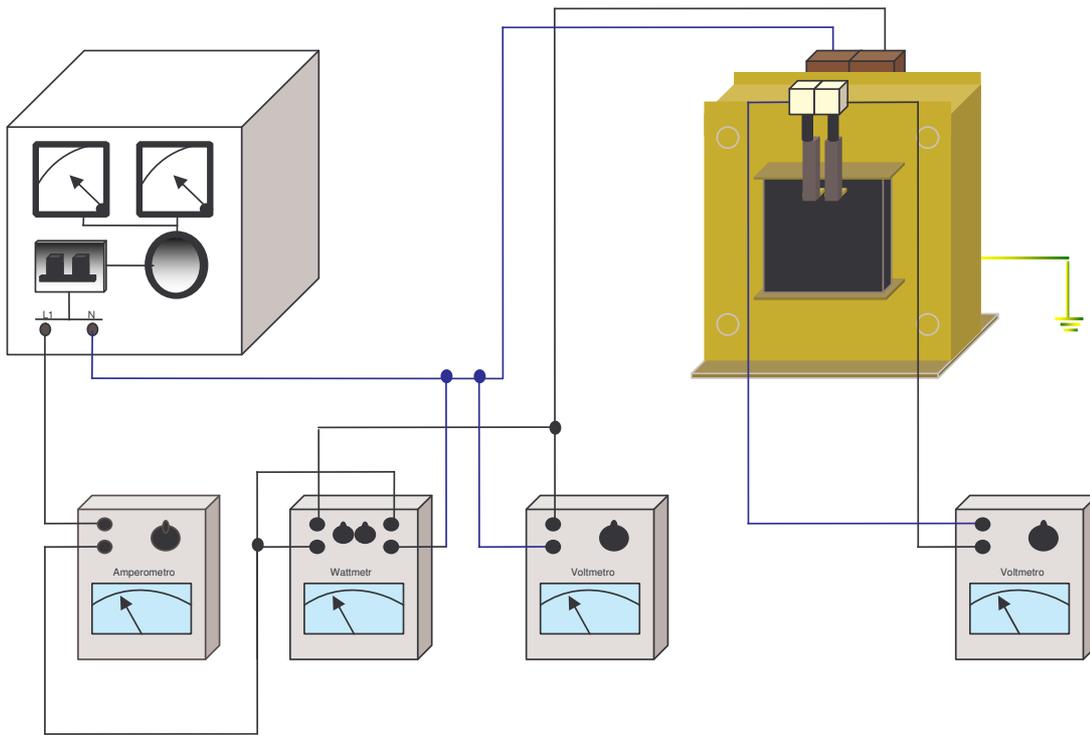
$$S_n = 1,5\text{kVA}, V_{1n} = 24\text{V}, V_{20} = 230\text{V}; n = 0,1043; I_{1n} = 62,5\text{A}; I_{2n} = 6,521\text{A}; f = 50\text{Hz}.$$

Le apparecchiature utilizzate, che si possono notare rappresentate nello schema rappresentato in precedenza sono :

Strumenti di misura	Quant.	Caratteristiche tecniche
Variac	1	$P_{\text{variac}} = 5\text{V} - 100 \text{ div.}$
Voltmetri	2	$P_v = 60 - 240\text{V}; \text{f.s. } 120 \text{ div.}$
Amperometri	1	$P_A = 2\text{A}; \text{f.s. } 100 \text{ div.}$
Wattmetri	1	$P_W = 2\text{A}, 75\text{V}; \text{f.s. } 180 \text{ div.}$
Frequenzimetro	1	$P_F = 0 - 100\text{Hz}.$

Schema di montaggio.

Lo schema di montaggio è il seguente :



Si precisa che realizzato l'impianto, prima di alimentarlo è necessario verificare che le portate degli strumenti siano adeguate in merito al valore dei parametri elettrici che devono essere misurati sul trasformatore. Ciò per evitare il danneggiamento degli stessi strumenti di misura. Inoltre il frequenzimetro ha solo la funzione di controllo della frequenza di rete che è fissa a 50Hz.

Relazioni matematiche.

Le formule utilizzate, relativamente agli strumenti di misura (Amperometro, voltmetro e wattmetro) sono le seguenti:

$$k_A = \frac{P_A}{f.s.} \quad k_V = \frac{P_S}{f.s.} \quad k_W = \frac{P_A \cdot P_V}{f.s.} \quad I = k_A \cdot NDL \quad V = k_V \cdot NDL \quad P = k_W \cdot NDL$$

LEGENDA	
P_A	portata dell'amperometro
P_V	portata del voltmetro
P_W	portata del wattmetro
$f.s.$	fondo scala
NDL	numero di divisioni lette
k	costante dello strumento

mentre alla fine della prova si ricavano le seguenti grandezze elettriche :

Commento [CM1]: La costante k è generica. Se è quella dell'amperometro diventa k_A , se è quella del voltmetro k_V , ecc.

$$n = \frac{V_{1n}}{V_{20}} \quad P_0 \quad I_0 \quad \cos \varphi_0 = \frac{P_0 \cdot 0,2}{V_{1n} \cdot I_0}^1$$

LEGENDA			
I_0	corrente a vuoto	n	rapporto di trasformazione
P_0	potenza a vuoto	$\cos \varphi_0$	fattore di potenza a vuoto

Si nota che il rapporto di trasformazione a vuoto ed il fattore di potenza sono grandezze derivate, cioè si ottengono dalla combinazione delle altre grandezze misurate.

Calcolo.

Si riportano di seguito i calcoli effettuati. i cui risultati sono stati inseriti nella tabella seguente :

1 – Costanti degli strumenti :

$$k_A = \frac{2}{100} = 0,02 A / div. \quad k_{V_{1n}} = \frac{60}{120} = 0,5 V / div. \quad k_{V_{2n}} = \frac{240}{120} = 2 V / div.$$

$$k_W = \frac{(2 \times 75)}{150} = 1 W / div.$$

2 – Rapporto di trasformazione :

$$n_1 = \frac{12}{104} = 0,115 \quad n_2 = \frac{16}{140} = 0,114 \quad n_3 = \frac{19}{164} = 0,115$$

$$n_4 = \frac{21,5}{184} = 0,116 \quad n_5 = \frac{23}{198} = 0,116$$

3 – Fattore di potenza a vuoto :

$$\cos \varphi_{01} = \frac{20 \cdot 0,2}{12 \cdot 0,64} = 0,52 \quad \cos \varphi_{02} = \frac{45 \cdot 0,2}{16 \cdot 0,88} = 0,63 \quad \cos \varphi_{03} = \frac{62 \cdot 0,2}{19 \cdot 1,14} = 0,57$$

$$\cos \varphi_{04} = \frac{79 \cdot 0,2}{21,5 \cdot 1,38} = 0,53 \quad \cos \varphi_{05} = \frac{92 \cdot 0,2}{23 \cdot 1,68} = 0,47$$

¹ Si inserisce il coefficiente 0,2, che in realtà è il valore del fattore di potenza del wattmetro, perché lo strumento utilizzato è a basso cos (φ_w).

I risultati sono riassunti nelle seguenti tabelle :

N.	AMPEROMETRO			WATTMETRO			VOLTMETRO 1			VOLTMETRO 2		
	k_A	N.D.L.	I_0	k_W	N.D.L.	P_0	k_{V1}	N.D.L.	V_{1n}	k_{V2}	N.D.L.	V_{20}
1	0,02	32	0,64	1	26	20	0,5	24	12	2	52	104
2	0,02	44	0,88	1	45	45	0,5	32	16	2	70	140
3	0,02	57	1,14	1	62	62	0,5	38	19	2	82	164
4	0,02	69	1,38	1	79	79	0,5	43	21,5	2	92	184
5	0,02	84	1,68	1	92	92	0,5	49	23	2	99	198

N.	$\cos(\varphi_0)$	n
1	0,52	0,115
2	0,63	0,114
3	0,57	0,115
4	0,53	0,116
5	0,47	0,116

Si nota che il fattore di potenza del trasformatore a vuoto è molto bassa e quindi è necessario rifasare² la macchina elettrica, in particolare se è di grande potenza.

Grafici.

Si collocano in grafico i risultati ottenuti per valutare l'andamento dei parametri elettrici in relazione alla macchina presa ad esame :

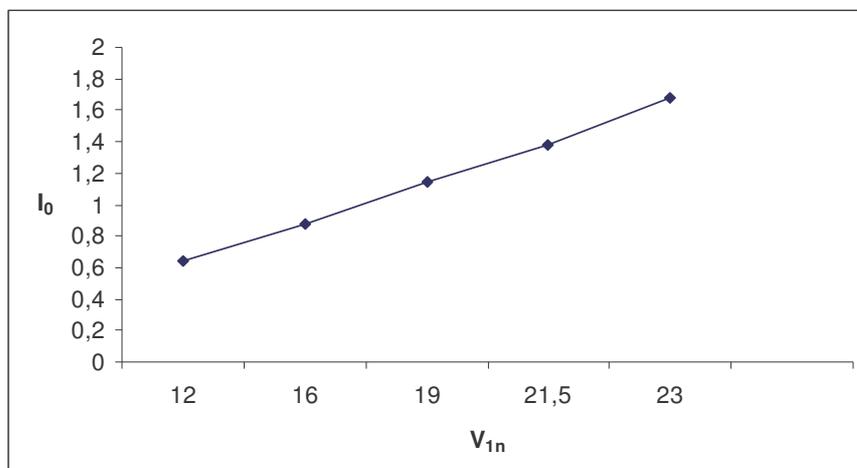


Figura 1 - Curva della corrente a vuoto.

² Il rifasamento è quella tecnica che riduce la potenza reattiva in rete, elevando quindi il fattore di potenza. Si deve effettuare obbligatoriamente quando il fattore di potenza istantaneo è inferiore a 0,7.

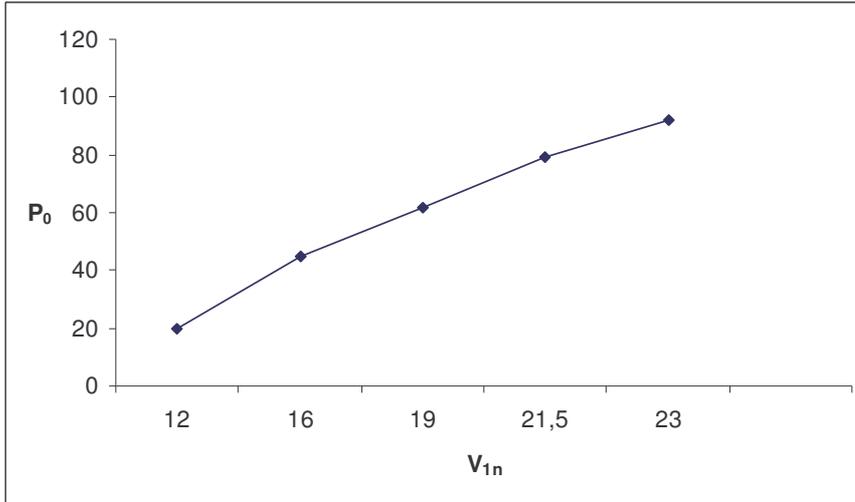


Figura 2 - Curva della potenza a vuoto.

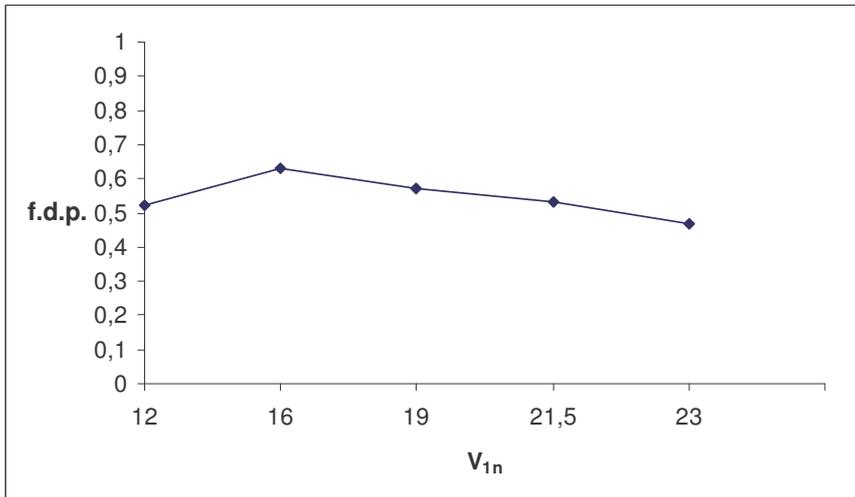


Figura 3 - Curva del f.d.p. a vuoto.

Commento [CM2]: Per f.d.p. s'intende il fattore di potenza o $\cos(\varphi_0)$.

Considerazioni finali.

Dalla prova effettuata si nota che mentre le curve di I_0 e P_0 tendono ad aumentare perché s'incrementano le perdite a vuoto per effetto Joule, il fattore di potenza tende a decrescere rapidamente, perché si ha un aumento della corrente magnetizzante I_μ , rispetto ad I_0 , e quindi della potenza reattiva Q_0 assorbita dalla macchina a vuoto. Pertanto il conseguente aumento del $\sin(\varphi_0)$ produce una diminuzione del $\cos(\varphi_0)$.

APPENDICE - La funzione coseno (Matematica)

Il coseno di un angolo.

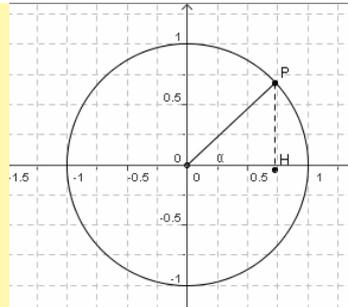
Si consideri la circonferenza goniometrica ed un suo punto $P(x_p, y_p)$.
 Proiettiamo il punto P sull'asse delle x ottenendo il punto H indichiamo con α l'angolo orientato \widehat{HOP} .

DEFINIZIONE

Coseno di un angolo

Consideriamo un angolo orientato α e chiamiamo P l'intersezione del secondo lato dell'angolo con la circonferenza goniometrica.

Definiamo coseno dell'angolo α , il valore dell'ascissa del punto P



$$\cos \alpha = x_p$$

Indichiamo il coseno di α con $\cos \alpha$.

Consideriamo ora una generica circonferenza di raggio r. Si può dimostrare che anche il rapporto $\frac{OH}{OP}$ non varia se varia il raggio della circonferenza.

DIMOSTRAZIONE

figura 1. Disegniamo due circonferenze di centro l'origine e raggi diversi. La circonferenza di raggio OP sia la circonferenza goniometrica

Il prolungamento del raggio OP interseca la seconda circonferenza nel punto P', la cui proiezione sull'asse x è il punto H'. I triangoli OHP e OH'P' sono simili, perché hanno gli angoli rispettivamente congruenti, quindi possiamo scrivere la seguente proporzione:

$$OH : OP = OH' : OP'$$

$$\text{Ossia } \frac{OH'}{OP'} = \frac{OH}{OP} = \cos \alpha$$

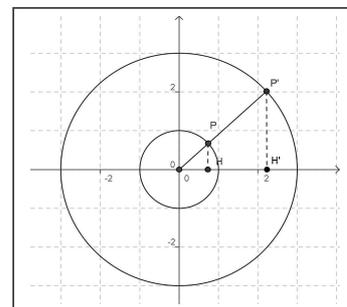
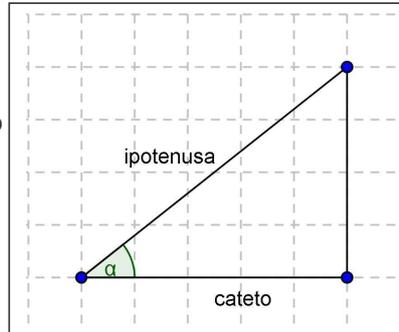


figura 1

Pertanto anche il rapporto tra l'ascissa del punto H e il raggio della circonferenza $\frac{OH}{OP}$ non dipende dalla circonferenza scelta, bensì solo dall'angolo α .

Si può affermare che tale rapporto è **funzione** dell'angolo α , nel caso della circonferenza goniometrica il rapporto vale $\frac{x_P}{1} = x_P$, ossia x_P .

Consideriamo un triangolo rettangolo OHP. Possiamo pensare all'ipotenusa OP come al raggio di una circonferenza. In tal caso, il coseno di α è uguale al rapporto tra il cateto adiacente all'angolo e l'ipotenusa **figura 2**.



Il coseno di angoli particolari.

Consideriamo la circonferenza goniometrica **figura 3**.

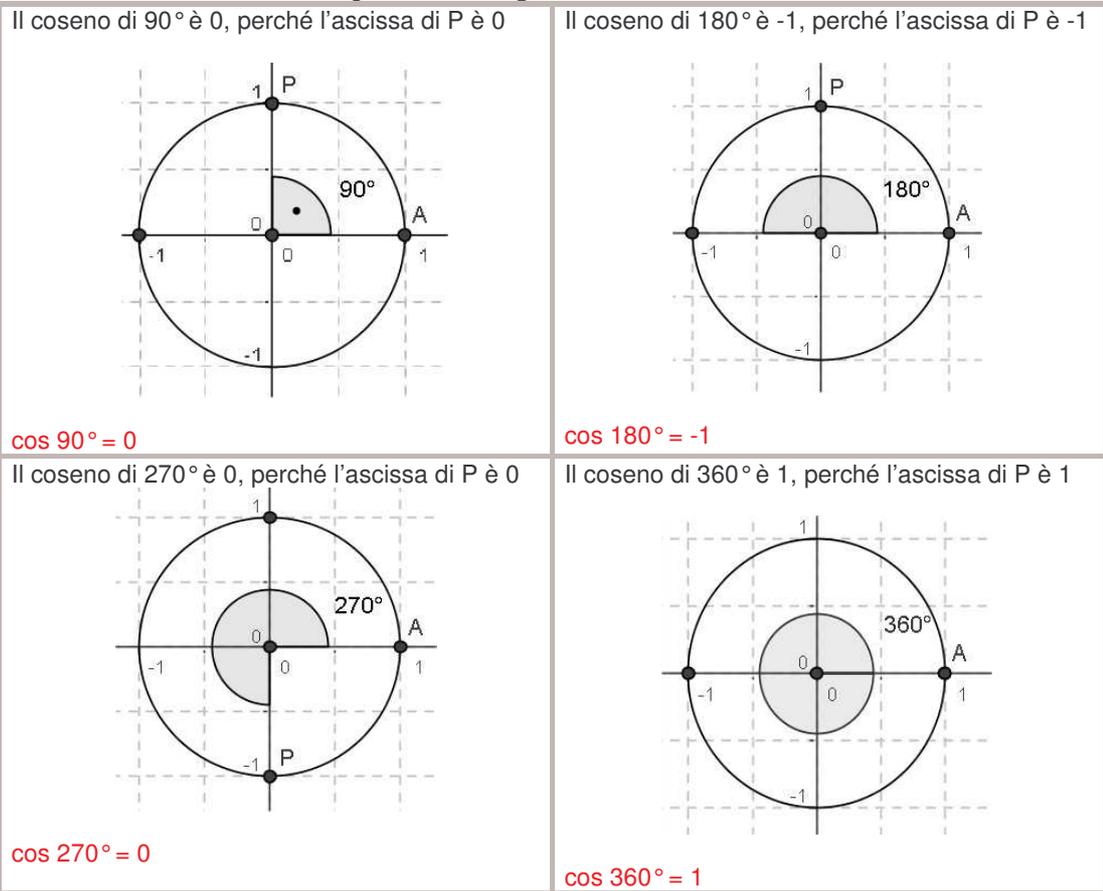


figura 3

Per alcuni angoli particolari, è possibile ricavare il valore del coseno da semplici considerazioni goniometriche **figura 4**.

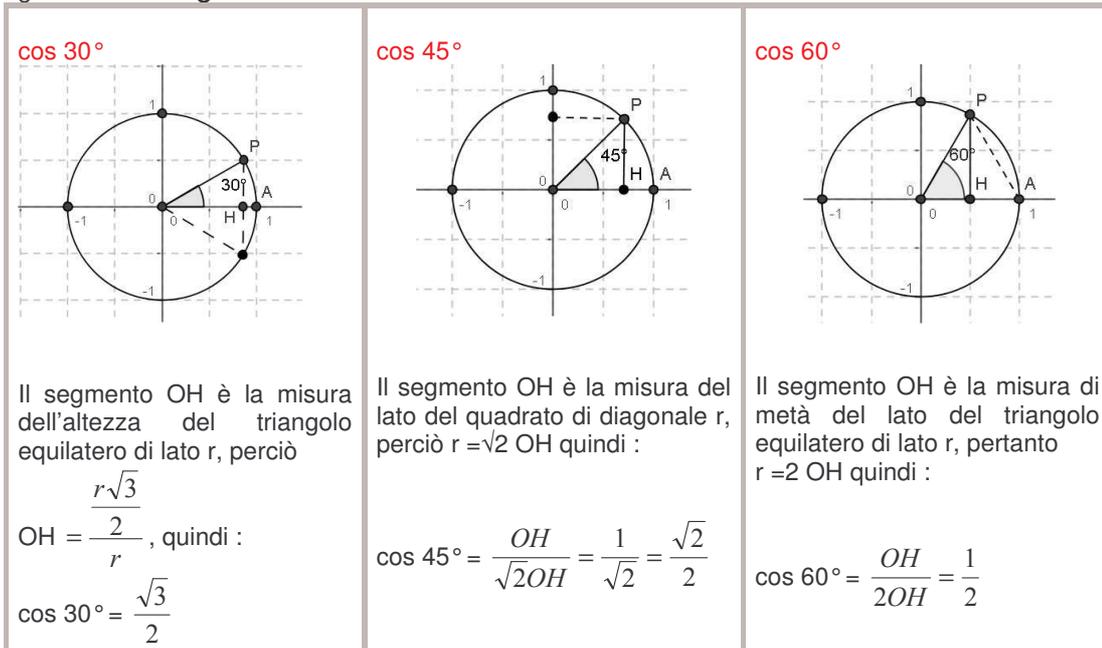


figura 4

Il grafico della funzione $y = \cos(x)$.

Il grafico della funzione coseno si chiama **cosinusoide** figura 5.

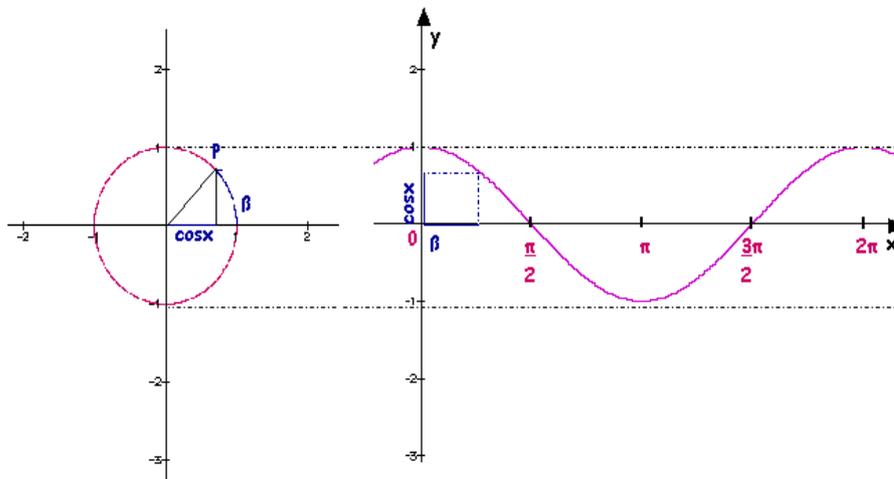


figura 5

Periodicità della funzione $y = \cos(x)$.

Si può dimostrare che il coseno è una funzione periodica di periodo 360° . Infatti qualunque sia l'angolo α , risulta sempre valida l'uguaglianza: $\cos \alpha = \cos(\alpha + k 360^\circ)$.

Osserviamo che, poiché le ascisse corrispondenti ai punti della circonferenza goniometrica variano tra -1 e 1, il coseno di un angolo può assumere soltanto i valori nell'intervallo $[-1; 1]$. figura 6.

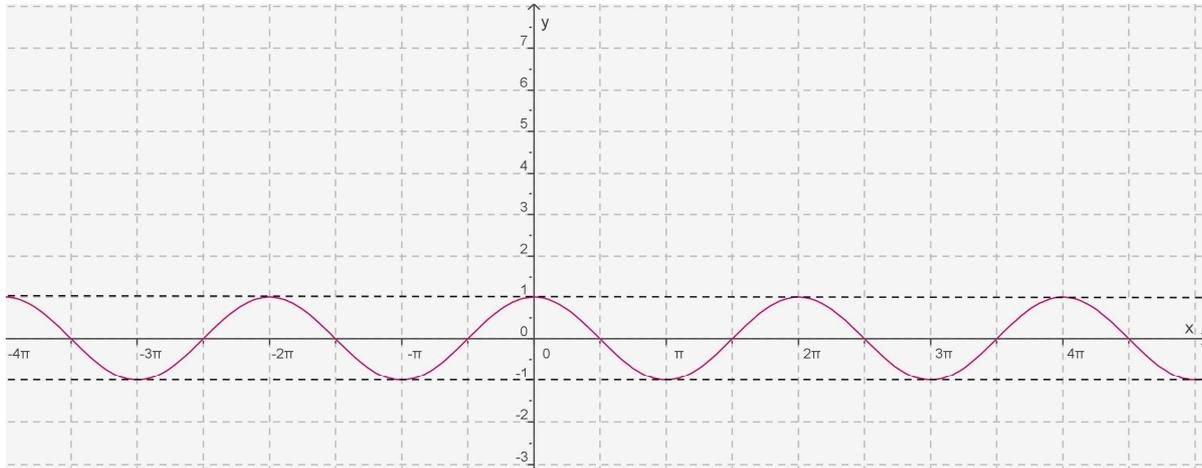


figura 6

TRASFORMATORE MONOFASE Prova a vuoto (Elettrotecnica)	1
Obiettivo della prova	1
Cenni storici	1
Procedura di esecuzione della prova	1
Schema elettrico di misura	2
Apparecchiature e dispositivi di misura	2
Schema di montaggio	3
Relazioni matematiche	3
Calcolo	4
Grafici	5
Considerazioni finali	6
APPENDICE - La funzione coseno (Matematica)	7
Il coseno di un angolo	7
Il coseno di angoli particolari	8
Il grafico della funzione $y = \cos x$	9
Periodicità della funzione $y = \cos x$	10

Studenti :

Bonacina Alex
Capitanio Davide
Mazzoleni Simone
Talarico Christopher
Testa Andrea

Docenti tutor :

La Marca Caterina
Mezzasalma Carmelo