ENRICO BIAGI

PICCOLI TRASFORMATORI MONOFASI

METODO DI CALCOLO

1 - Generalità

In un trasformatore, come è noto, si hanno due tipi di perdite: nel nucleo magnetico (perdite nel ferro) e negli avvolgimenti (perdite nel rame). Tali perdite, trasformandosi in calore, determinano un riscaldamento della macchina e quindi un innalzamento della sua temperatura, la quale, per altro, non crescerà illimitatamente, ma si stabilizzerà, a regime raggiunto, su un valore in corrispondenza del quale tutto il calore prodotto dalle perdite viene ceduto all'ambiente circostante,
Per il corretto funzionamento del trasformatore la temperatura massima di regime non deve oltrepassare determinati limiti dipendenti dalla natura dei materiali isolanti impiegati: in caso contrario questi ultimi subiscono un invecchiamento precoce determinando un accorciamento della vita media del trasformatore stesso.
Considerando, invece della temperatura massima, la sovratemperatura rispetto all'ambiente, la condizione di regime (uguaglianza, istante per istante, fra la quantità di calore prodotta e la quantità di calore ceduta) può essere espressa, in forma del tutto generale, da una relazione del tipo:

$$\Delta\theta = \frac{p}{K \cdot S}$$

dove:

- $\Delta\theta$ = sovratemperatura rispetto all'ambiente (°C)
- p = perdite totali del trasformatore (W)
- S = superfici di scambio attraverso le quali il calore prodotto nel trasformatore viene ceduto all'ambiente (m^2)
- K = coefficiente globale di trasmissione del calore [W/(m^2. °C)]

Dalla relazione precedente si possono trarre alcune importanti considerazioni. La prima è che, per un determinato ambiente (in genere aria per questi trasformatori) e quindi per un determinato coefficiente di trasmissione del calore, la sovratemperatura è direttamente proporzionale alle perdite e inversamente proporzionale alle superfici di scambio. La seconda è che, se per una serie di trasformatori che vanno da una potenza minima ad una massima si vuole mantenere costante la sovratemperatura di regime, dovrà rimanere costante, a parità di coefficiente di trasmissione del calore, il rapporto tra le perdite e le superfici di scambio.
È però d'altro canto noto che se, in una serie di trasformatori geometricamente simili nelle parti attive elettriche e magnetiche, le dimensioni lineari crescono secondo un coefficiente "*m*" e la densità di corrente e l'induzione rimangono costanti, le perdite aumentano secondo m^3 mentre le superfici aumentano soltanto secondo m^2 ; di conseguenza al crescere delle dimensioni e quindi delle potenze, il rapporto fra le perdite e le superfici di scambio non rimarrà costante ma tenderà viceversa ad aumentare, determinano un corrispondente aumento delle sovratemperature.
Se si vuole che queste ultime rimangano al di sotto di un determinato limite bisognerà allora intervenire o sulle perdite (diminuendole) o sulle superfici aumentandole. Siccome per i trasformatori a secco di cui si tratta non è economicamente conveniente aumentare le superfici di scambio (per esempio creando dei canali di ventilazione fra gli avvolgimenti stessi), l'unica soluzione praticabile è quella di intervenire sulle perdite, diminuendo, all'aumentare delle dimensioni, la densità di corrente negli avvolgimenti e l'induzione nel nucleo.

Per quanta riguarda l'induzione però, giova fin da ora ricordare - ciò apparirà meglio in seguito - come sia conveniente che essa sia la più alta possibile: di norma pertanto viene scelta di valore relativamente elevato e mantenuta costante per tutti i trasformatori indipendentemente dalla potenza.
Se così operando dovessero risultare troppo elevate le perdite nel ferro si può d'altronde ricorrere a lamierini a più bassa cifra di perdita.
In conclusione, l'unico modo di diminuire le perdite al fine di mantenere costanti le sovratemperature è quello di intervenire sulla densità di corrente.
Appare a questo punto evidente come quest'ultima dipenda dalle dimensioni geometriche del trasformatore e quindi in definitiva dalle dimensioni del nucleo e, più precisamente, come essa dovrà diminuire all'aumentare della potenza.
Su questo concetto, cioè sul calcolo della densità di corrente in funzione delle dimensioni del nucleo, è basato il procedimento di calcolo dei trasformatori qui esposto. In altri termini, stabilita la classe d'isolamento e quindi la sovratemperatura massima, scelto il tipo di lamierino con la relativa cifra di perdita e fissati i valori dell'induzione e del coefficiente di stipamento dei lamierini, per ogni nucleo di dimensioni assegnate si calcolerà:

- la densità di corrente;
- la potenza massima ottenibile;
- la caduta di tensione;
- il rendimento;
- i volt per spira.

Con questi elementi, come si vedrà meglio in seguito con un esempio, si potrà eseguire agevolmente e rapidamente il calcolo del trasformatore.

2 - Trasmissione del calore

La trasmissione del calore dalle superfici disperdenti del trasformatore all'ambiente avviene in due modi: per *irraggiamento* e per *convezione.*
La trasmissione del calore per irraggiamento è retta dalla relazione:

$$Q_i = K_i \cdot \left[\left(\frac{\theta_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta_2}{100} \right)^4 \right] \cdot S_i \qquad [1]$$

dove:

- Q_i = quantità di calore trasmessa per irraggiamento nell'unità di tempo (W);
- S_i = superficie disperdente per irraggiamento (m^2);
- θ_1 = temperatura assoluta della superficie disperdente (K);
- θ_2 = temperatura assoluta dell'ambiente (K);
- K_i = coefficiente di trasmissione del calore per irraggiamento [$W/(m^2 \cdot K^4)$].

Per una temperatura ambiente di 20 °C (293 K), si può assumere K_i = 4,7 $W/(m^2 \cdot K^4)$. Indicata allora con $\Delta\theta$ la sovratemperatura della superficie disperdente rispetto all'ambiente, la relazione precedente diventa:

$$Q_i = 4{,}7 \cdot \left[\left(\frac{293 + \Delta\theta}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \cdot S_i \qquad [1']$$

La trasmissione del calore per convezione è retta dalla relazione:

$$Q_c = K_c \cdot \Delta\theta \cdot S_c \qquad [2]$$

dove:

- Q_c = quantità di calore trasmessa per convezione nell'unità di tempo (W);
- S_c = superficie disperdente per convezione (m^2);
- $\Delta\theta$ = sovratemperatura della superficie disperdente (°C);
- K_c = coefficiente di trasmissione del calore per convezione ($W/(m^2.°C)$)

Tenendo conto che il coefficiente di trasmissione del calore per convezione è proporzionale alla radice quarta della sovratemperatura, si può dedurre:

$$K_c = 2{,}4 \cdot \sqrt[4]{\Delta\theta} \ \ W/(m^2 \cdot °C)$$

Sostituendo nella [2] si ottiene:

$$Q_c = 2{,}4 \cdot \Delta\theta^{1,25} \cdot S_c \qquad [2']$$

3 - Carichi termici

Spesso, come in questa sede, più che la quantità totale del calore, interessa quella trasmessa per unità di superficie. Ad essa si dà il nome di "*carico termico*" e si ricava dalle relazioni [1'] e [2'] dividendo per le rispettive superfici disperdenti.
Indicando con $q_i = Q_i/S_i$ (W/m^2) il carico termico per irraggiamento, dalla [1'] si ottiene:

$$q_i = 4{,}7 \cdot \left[\left(\frac{293 + \Delta\theta}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \qquad [3]$$

Analogamente indicando con $q_c = Q_c/S_c$ (W/m^2) il carico termico per convezione si ottiene:

$$q_c = 2{,}4 \cdot \Delta\theta^{1,25} \qquad [4]$$

Come è noto le Norme CEI prevedono per i trasformatori a secco diverse classi di isolamento a cui corrispondono altrettante sovratemperature massime ammissibili $\Delta\theta_{MAX}$. Per ognuna di esse, tramite le relazioni [3] e [4], si possono calcolare i corrispondenti carichi termici. Quelli relativi alle classi A, E, B, F sono riportati in tabella 1.

Tabella 1 - Carichi termici

Classe di isolamento	$\Delta\theta_{MAX}$ (°C)	q_i (W/m^2)	q_c (W/m^2)
A	60	380	400
E	75	510	530
B	80	560	570
F	100	770	760

4 - Superfici disperdenti

Agli effetti della trasmissione del calore e del calcolo delle superfici disperdenti si può fare l'ipotesi di considerare il trasformatore come un blocco unico, intendendo con ciò che, a regime, tutte le sue parti raggiungano la stessa temperatura. In altri termini si può considerare che tra ferro e rame avvengano degli scambi termici, cioè che le superfici disperdenti del ferro contribuiscano a smaltire anche il calore prodotto dalle perdite nel rame e viceversa.
In realtà nella costruzione dei trasformatori si impiegano materiali - come gli isolanti da una parte e il ferro e il rame dall'altra - che hanno caratteristiche termofisiche alquanto diverse (in particolare la conduttività termica); se però, come avviene in pratica, i trasformatori qui trattati sono privi di canali interni di raffreddamento fra avvolgimenti e nucleo e fra gli avvolgimenti stessi e inoltre questi ultimi sono impregnati con vernici termoindurenti in modo da eliminare qualsiasi sacca d'aria interna, tale ipotesi può essere accettabile.
Ciò premesso, consideriamo che il lamierino impiegato per la costruzione dei trasformatori sia del tipo riportato in fig. 1 con le dimensioni A, B, C, D, E, F espresse in metri.

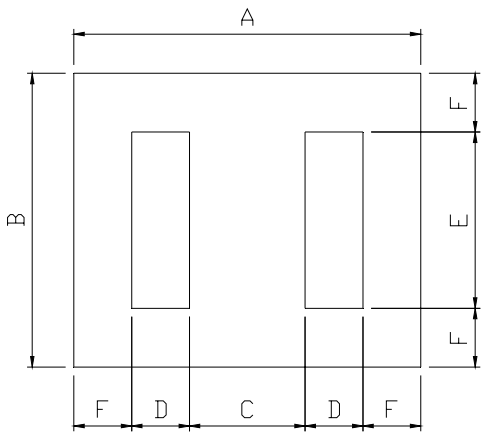

Fig. 1 - Lamierino monofase a mantello

Supponiamo inoltre che gli avvolgimenti riempiano completamente la finestra, talché le dimensioni d'ingombro del trasformatore siano quelle riportate in fig. 2.

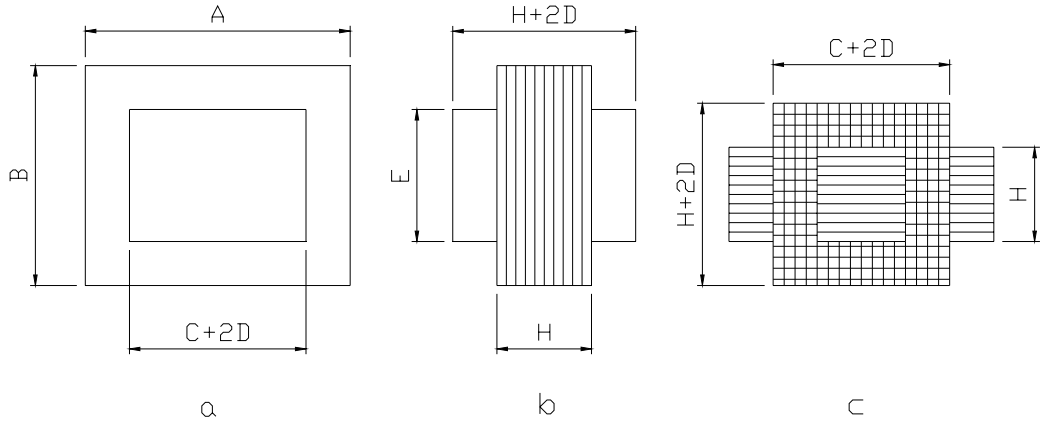

Fig. 2 - Dimensioni d'ingombro del trasformatore
a) vista frontale b) vista laterale c) sezione

Dalle figg. 3 e 4, considerando quali superfici utili per la trasmissione del calore quelle evidenziate, si ha:

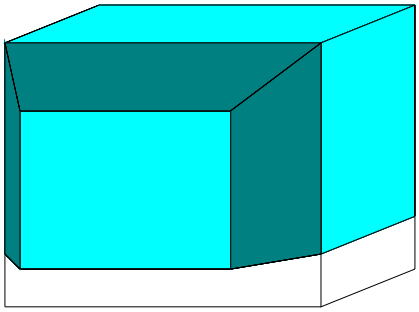

Fig. 3 - Superfici disperdenti per l'irraggiamento

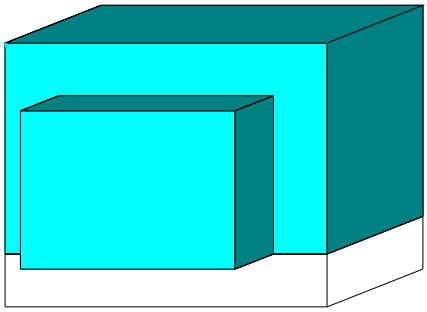

Fig. 4 - Superfici disperdenti per la convezione

a) per la superficie disperdente per irraggiamento S_i (m^2):

$$S_i = 2 \cdot \left[\frac{A + (C + 2D)}{2} \cdot \sqrt{F^2 + D^2} \right] + 4 \cdot \left[\frac{(E + F) + E}{2} \sqrt{F^2 + D^2} \right] + 2 \cdot [(C + 2D) \cdot E] + H \cdot (A + 2E + 2F)$$

da cui con semplici passaggi:

$$S_i = (A + C + 2D + 2F + 4E) \cdot \sqrt{F^2 + D^2} + 2E \cdot (C + 2D) + H \cdot (A + 2E + 2F) \qquad [5]$$

b) per la superficie disperdente per convezione S_c (m^2):

$$S_c = 2 \cdot [A \cdot (E + F)] + 2 \cdot [D \cdot (2E + C + 2D)] + H \cdot (A + 2E + 2F)$$

da cui:

$$S_c = 2A \cdot (E + F) + 2D \cdot (2E + C + 2D) + H \cdot (A + 2E + 2F) \qquad [6]$$

5 - Pesi e perdite

Posto:

- K_s = coefficiente di stipamento dei lamierini (rapporto fra la sezione netta e quella lorda del nucleo);
- K_r = Coefficiente di riempimento della finestra (rapporto fra la sezione netta totale del rame dei due avvolgimenti e la superficie della finestra;
- γ_{fe} = peso specifico del ferro (kg/mm^3);
- γ_{cu} = peso specifico del rame (kg/mm^3);
- H = spessore del nucleo (m);

il peso del ferro G_{fe} (kg) risulta (figg. 1 e 2):

$$G_{fe} = \gamma_{fe} \cdot K_s \cdot (A \cdot B - 2 \cdot D \cdot E) \cdot H \qquad [7]$$

e, se come già detto in precedenza si suppone che gli avvolgimenti riempiano completamente la finestra, si ha per quello del rame G_{cu} (kg) (fig. 2):

$$G_{cu} = \gamma_{cu} \cdot K_r \cdot [(C + 2D) \cdot (H + 2D) - C \cdot H] \cdot E = 2 \cdot \gamma_{cu} \cdot K_r \cdot (C + 2D + H) \cdot D \cdot E \qquad [8]$$

Posto ancora:

- w_s = cifra di perdita dei lamierini (W/kg);
- B_i = induzione (T);
- δ = densità di corrente (A/mm^2);

le perdite nel ferro p_{fe} (W) risultano:

$$p_{fe} = w_s \cdot B_i^2 \cdot G_{fe} \qquad [9]$$

e quelle nel rame p_{cu} (W):

$$p_{cu} = K_\theta \cdot \delta^2 \cdot G_{cu} \qquad [10]$$

essendo K_θ un coefficiente che dipende dalle sovratemperature e che assume i valori indicati nella tabella 2.

Tabella 2 - Valori del coefficiente K_θ in funzione della classe d'isolamento

Classe	A	E	B	F
$\Delta\theta_{max}$ (°C)	60	75	80	100
K_θ (Ω.mm^2/kg)	2,44	2,56	2,60	2,75

6 - Dimensionamento

È possibile a questo punto calcolare gli elementi necessari per il dimensionamento dei trasformatori.

– *Densità di corrente*

La condizione di regime si ha quando si eguagliano la quantità di calore ceduta all'ambiente nell'unità di tempo attraverso le superfici disperdenti e le perdite nel ferro e nel rame. Si può quindi porre:

$$q_i \cdot S_i + q_c \cdot S_c = w_s \cdot B_i^2 \cdot G_{fe} + K_\theta \cdot \delta^2 \cdot G_{cu}$$

da cui si ricava la densità di corrente δ (A/mm^2):

$$\delta = \sqrt{\frac{q_i \cdot S_i + q_c \cdot S_c - w_s \cdot B_i^2 \cdot G_{fe}}{K_\theta \cdot G_{cu}}} \qquad [11]$$

– *Potenza*

Indicata con V (in V) la tensione di uno dei due avvolgimenti e con I (in A) la relativa corrente, la potenza P (in VA) di un trasformatore monofase vale:

$$P = U \cdot I$$

La tensione è legata all frequenza f (in Hz), al numero di spire N e al flusso Φ (in Wb) dalla relazione:

$$U = 4{,}44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi$$

Ricordando poi il legame fra flusso, induzione e dimensioni del nucleo:

$$\Phi = K_s \cdot B_i \cdot C \cdot H$$

si ottiene per la tensione la seguente espressione:

$$U = 4{,}44 \cdot K_s \cdot f \cdot N \cdot B_i \cdot C \cdot H \qquad [12]$$

Per ricavare l'espressione della corrente si può fare il seguente ragionamento. Indicando con s_1 e s_2 (mm^2) le sezioni dei conduttori rispettivamente del primario e del secondario, con N_1 e N_2 le relative spire, la sezione complessiva del rame dei due avvolgimenti risulta $S_{cu} = N_1 . s_1 + N_2 . s_2$ (mm^2). Dette I_1 e I_2 Le correnti primaria e secondaria e assunta per i due avvolgimenti la stessa densità di corrente δ, si ha:

$$S_{cu} = \frac{N_1 \cdot I_1}{\delta} + \frac{N_2 \cdot I_2}{\delta}$$

Ammettendo poi, con sufficiente approssimazione, $N_1 . I_1 = N_2 . I_2 = N . I$, si ottiene anche:

$$S_{cu} = 2 \cdot \frac{N \cdot I}{\delta}$$

Ricordando infine che, per la definizione di coefficiente di riempimento della finestra, si può scrivere nel nostro caso (con le unità di misura assunte):

$$K_r = \frac{S_{cu}}{E \cdot D} \cdot 10^{-6}$$

si ha per l'espressione della corrente:

$$I = \frac{k_r \cdot \delta}{2 \cdot N} \cdot E \cdot D \cdot 10^6$$

Sostituendo nella formula della potenza le espressioni della tensione e della corrente ora ricavate, si ottiene:

$$P = 2{,}22 \cdot K_s \cdot K_r \cdot f \cdot B_i \cdot \delta \cdot C \cdot H \cdot E \cdot D \cdot 10^6 \qquad [13]$$

– *Caduta di tensione*

Se si considera trascurabile la componente induttiva, la caduta di tensione si riduce alla sola componente ohmica. Indicato con Δu il suo valore percentuale, essa vale:

$$\Delta u = \frac{p_{cu}}{P} \cdot 100 \qquad [14]$$

– *Rendimento*

Il rendimento convenzionale η si calcola con la relazione:

$$\eta = \frac{P}{P + p_{fe} + p_{cu}} \qquad [15]$$

– *Volt per spira*

I volt per spira e (in V/sp) si ricavano dalla relazione [12] dividendo per il numero delle spire N:

$$U = 4{,}44 \cdot K_s \cdot f \cdot B_i \cdot C \cdot H \qquad [16]$$

7 - lamierini unificati UNEL 82611

I lamierini unificati sono largamente impiegati nella costruzione dei trasformatori di piccola potenza. Rispetto ad altri lamierini simili, essi presentano numerosi vantaggi.

Oltre a quello fondamentale della normalizzazione nella costruzione dei trasformatori, essi possono essere così sintetizzati:

- facilità di reperimento in commercio: essi sono presenti nei cataloghi di quasi tutti i fabbricanti di lamierini;
- facilità di reperimento degli accessori per la costruzione dei trasformatori: calotte e serrapacchi per il serraggio del nucleo, morsettiere, ecc.;
- possibilità di impiego, per i supporti degli avvolgimenti, della vasta gamma di rocchetti in materiale termoplastico reperibili già pronti in commercio.

I lamierini UNEL 82611 sono caratterizzati dal fatto che le loro dimensioni (specificate nella fig. 1), sono legate, per tutta la serie, a quella della colonna centrale da relazioni ben definite, e precisamente:

$$A = 3.C \qquad B = 2{,}5.C \qquad E = 1{,}5.C \qquad D = F = 0{,}5.C \qquad [17]$$

per cui ognuno di essi può essere univocamente identificato con una sola delle sue dimensioni, quella della colonna centrale appunto (C) generalmente espressa in millimetri,
I lamierini della serie qui presa in considerazione sono quelli che vanno dalla colonna 25 alla colonna 50 (tabella 3) con i quali si possono ottenere potenze da circa 50 fino a circa 1000 VA.

Tabella 3 - Lamierini unificati UNEL 82611 (dimensioni in mm)
Dimensioni riferite alla fig. 1

C	A	B	E	D	F
25	75	62,5	37,5	12,5	12,5
28	84	70	42	14	14
32	96	80	48	16	16
36	108	90	54	18	18
40	120	100	60	20	20
45	135	112,5	67,5	22,5	22,5
50	150	125	75	25	25

Con tali lamierini, ponendo γ_{fe} = 7600 kg/m^3 e γ_{cu} = 8900 kg/m^3 ed esprimendo, per comodità, le dimensioni C e H del nucleo in millimetri, le relazioni da [5] a [16] tenendo presente la [17] diventano:

- Superfici disperdenti (m^2):

$$S_i = \left(14{,}5 \cdot C^2 + 7 \cdot C \cdot H\right) \cdot 10^{-6} \qquad [18]$$

$$S_c = \left(17 \cdot C^2 + 7 \cdot C \cdot H\right) \cdot 10^{-6} \qquad [19]$$

- Pesi del ferro e del rame (kg):

$$G_{fe} = 45{,}6 \cdot K_s \cdot C^2 \cdot H \cdot 10^{-6} \qquad [20]$$

$$G_{cu} = 13{,}35 \cdot K_r \cdot \left(2 \cdot C^3 + C^2 \cdot H\right) \cdot 10^{-6} \qquad [21]$$

– Densità di corrente (A/mm^2):

$$\delta = \sqrt{\frac{q_i \cdot (14{,}5 \cdot C + 7 \cdot H) + q_c \cdot (17 \cdot C + 7 \cdot H) - 45{,}6 \cdot K_s \cdot w_s \cdot B_i^{\,2} \cdot C \cdot H}{13{,}35 \cdot K_\theta \cdot K_r \cdot \left(2 \cdot C^2 + C \cdot H\right)}} \qquad [22]$$

– Potenza (VA)

$$P = 1{,}665 \cdot K_s \cdot K_r \cdot f \cdot \delta \cdot B_i \cdot C^3 \cdot H \cdot 10^{-6} \qquad [23]$$

– Perdite nel ferro e nel rame (W):

$$p_{fe} = 45{,}6 \cdot K_s \cdot w_s \cdot B_i^{\,2} \cdot C^2 \cdot H \cdot 10^{-6} \qquad [24]$$

$$p_{cu} = 13{,}35 \cdot K_\theta \cdot K_r \cdot \delta^2 \cdot \left(2 \cdot C^3 + C^2 \cdot H\right) \cdot 10^{-6} \qquad [25]$$

– Caduta di tensione percentuale (%):

$$\Delta u = 8 \cdot \frac{K_\theta \cdot \delta}{K_s \cdot f \cdot B_i} \cdot \left(\frac{2}{H} + \frac{1}{C}\right) \cdot 10^2 \qquad [26]$$

– Rendimento:

$$\eta = \frac{1}{1 + 27{,}4 \cdot \frac{w_s \cdot B_i}{K_r \cdot f \cdot \delta} \cdot \frac{1}{C} + 8 \cdot \frac{K_\theta \cdot \delta}{K_s \cdot f \cdot B_i} \cdot \left(\frac{2}{H} + \frac{1}{C}\right)} \qquad [27]$$

– Volt per spira (V/sp):

$$e = 4{,}44 \cdot K_s \cdot f \cdot B_i \cdot C \cdot H \cdot 10^{-6} \qquad [28]$$

Dall'esame delle relazioni [23] e [26] trova ora giustificazione l'affermazione fatta in precedenza che nella costruzione dei trasformatori conveniente adottare valori elevati dell'induzione. Si vede infatti come, a parità di dimensioni del nucleo e di tutti gli altri elementi, a valori più elevati dell'induzione corrispondano potenze più grandi e cadute di tensioni più piccole.
In realtà, come si nota dalla [22], all'aumentare dell'induzione la densità di corrente non rimane costante, ma diminuisce: però sempre meno di quanto aumenta l'induzione.

7.1 - Tabelle per il calcolo dei trasformatori

Se ora per ogni colonna di dimensioni C (mm) si assumono diversi valori di H (mm) (per esempio quelli corrispondenti ai rocchetti in materiale termoplastico reperibili in commercio già pronti) si

ottiene, con le relazioni precedenti, una serie di valori che insieme ai dati di specifica (potenza nominale, frequenza, tensioni primaria e secondaria) costituiscono gli elementi di partenza per il calcolo dei trasformatori.
A titolo d'esempio, nelle tabelle 5 ,6 e 7 sono riportati i valori relativi alle colonne 25, 28 e 32 ottenuti con:

- classe di isolamento: E (q_i = 510 W/m^2 , q_c = 530 W/m^2);
- frequenza: f = 50 Hz;
- induzione: B_i = 1,3 T;
- cifra di perdita dei lamierini: w_s = 2,3 W/kg;
- coefficiente di stipamento dei lamierini: K_s = 0,94
- coefficiente di riempimento della finestra che a seconda della colonna assume i valori riportati nella tabella 4.

Tabella 4 - Valori del coefficiente K_r in funzione della colonna

Colonna (mm)	25	28	32	36	40	45	50
K_r	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,40	0,41

Tabella 5 - Dati di calcolo relativi alla colonna 25

B_i = 1,3 T	w_s = 2,3 W/kg		K_s = 0,94	Classe E	K_r = 0,32
Rocchetto	P (VA)	δ (A/mm^2)	u (%)	η	e (V/sp)
25 x 25	62	4,88	19,62	0,808	0,1696
25 x 30	73	4,80	17,16	0,824	0,2035
25 x 35	84	4,73	15,39	0,835	0,2374
25 x 40	95	4,66	14,06	0,844	0,2713
25 x 45	105	4,60	13,03	0,851	0,3052
25 x 50	116	4,55	12,20	0,857	0,3391

Tabella 6 - Dati di calcolo relativi alla colonna 28

B_i = 1,3 T	w_s = 2,3 W/kg		K_s = 0,94	Classe E	K_r = 0,34
Rocchetto	P (VA)	δ (A/mm^2)	u (%)	η	e (V/sp)
28 x 28	94	4,41	15,85	0,835	0,2127
28 x 35	115	4,31	13,43	0,852	0,2659
28 x 40	129	4,25	12,21	0,860	0,3038
28 x 45	143	4,19	11,26	0,867	0,3418
28 x 50	157	4,14	10,50	0,872	0,3798
28 x 55	171	4,09	9,87	0,877	0,4178

Tabella 7 - Dati di calcolo relativi alla colonna 32

B_i = 1,3 T	w_s = 2,3 W/kg		K_s = 0,94	Classe E	K_r = 0,36
Rocchetto	P (VA)	δ (A/mm^2)	u (%)	η	e (V/sp)
32 x32	151	3,94	12,39	0,862	0,2778
32 x 35	164	3,90	11,56	0,868	0,3028
32 x 40	184	3,84	10,45	0,876	0,3472
32 x 45	204	3,78	9,59	0,882	0.3906
32 x 50	223	3,72	8,89	0,887	0,4341
32 x 60	261	3,63	7,85	0,895	0,5209

In maniera analoga si possono ottenere le tabelle di calcolo per le altre colonne da 36 a 50.

8 - Conclusione

Il metodo qui proposto può apparire laborioso in quanto per il dimensionamento dei trasformatori richiede una serie preliminare di calcoli che vanno ripetuti sia per ogni nucleo di dimensioni prestabilite sia a seconda dei parametri costruttivi preliminarmente scelti. In realtà tale apparente complicazione può essere facilmente superata se per l'esecuzione dei calcoli, dato proprio il loro carattere ripetitivo, si ricorre all'impiego di un PC.

NOTA 1

L'articolo riporta anche l'esempio di calcolo di un trasformatore con i seguenti dati di specifica:

- Potenza: P = 200 VA
- Frequenza: f = 50 Hz
- Tensione primaria: U_1 = 220 V
- Tensione secondaria a pieno carico: U_2 = 48 V

Il calcolo del trasformatore è riportato nella seconda parte dell'articolo, sempre presente nella sezione "Pubblicazioni", con il titolo "PICCOLI TRASFORMATORI MONOFASI – Esempio di calcolo".

NOTA 2

Il calcolo del trasformatore dell'esempio precedente può essere eseguito con il programma in QBasic "trafo" riportato in questo stesso sito nella sezione "Software"
I "dati di calcolo" possono essere ricavati molto rapidamente con il programma in QBasic "traftab" riportato in questo sito nella sezione "Software".