

$$2F_N = \frac{F_x}{2\pi} \cdot 2 = D \quad F_N = \frac{F_x}{2\pi} = \frac{1}{2} i^2 \mu_0 N^2 \pi \frac{D_m}{h} \left( \frac{1}{2\pi} \right)$$

Ci interessa anche la tensione nel singolo conduttore che è  $\frac{F_N}{N S_{cu}} = \sigma$

$$\sigma_{\text{singolo}} = \frac{1}{N S_{cu}} = \frac{1}{4} i^2 \mu_0 N^2 \frac{D}{h}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 40 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{ie } \sigma_{\text{max, reale}} \approx 5 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

Se a questo  $\sigma_{\text{max}}$  si ~~rischia il salto circuito~~ <sup>rompe il trasformatore</sup>

All'interno del singolo avvolgimento abbiamo due conduttori percorsi da correnti equivalenti e che tendono ad attrarsi.

Forze di attrazione tra conduttori appartenenti allo stesso avvolgimento

$$L = \mu_0 N^2 2\pi \frac{D_m}{h} \left( \frac{b_1 + b_2}{3} + d \right) \Rightarrow \frac{\partial L}{\partial h} = -\mu_0 N^2 2\pi \frac{D_m}{h^2} \left( \frac{b_1 + b_2}{3} + d \right)$$

Di solito  $D \ll h$  quindi  $D/h^2 \ll 1$

$$F = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L}{\partial h} = -i^2 \mu_0 \pi \frac{D_m}{h^2} \left( \frac{b_1 + b_2}{3} + d \right) N^2$$

### Raffreddamento dei trasformatori

Per indicare il metodo del raffreddamento si usa la convenzione:

- A aria
  - O olio
  - W acqua
- } fluidi di raffreddamento primario a contatto con Fe e Cu

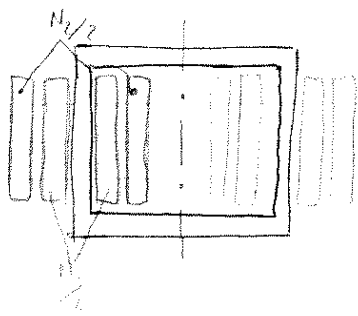
Il fluido ha circolazione

- N naturale
- F forzata
- D (deep) circolazione interna

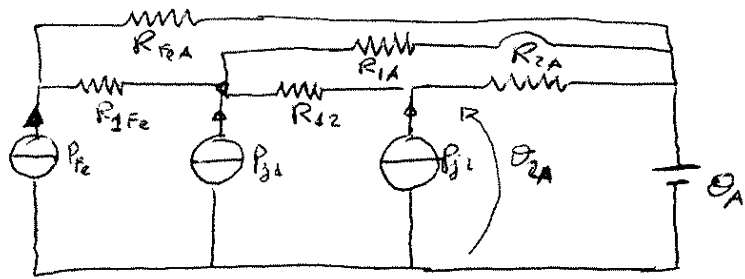
Non si ha quasi mai l'acqua come fluido di raffreddamento primario

(può accadere un raffreddamento OFWF)

Il riscaldamento del telaio è dovuto alle perdite Joule e alle perdite nel ferro.



modell  
termico  
=>

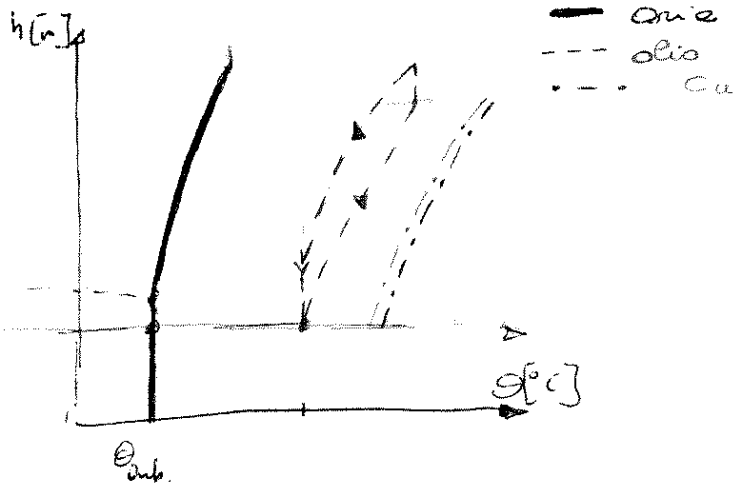
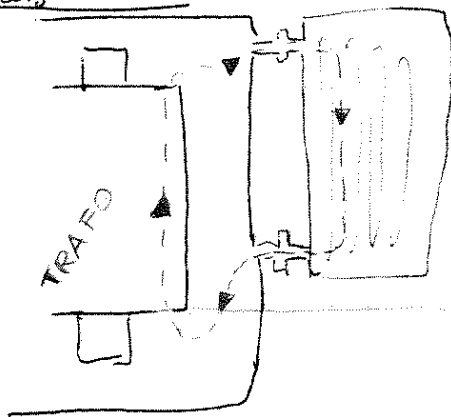


L'avvolgimento 2 dissipa le perdite sull'ombate con una resistenza  $R_{2A}$ .  
L'avvolgimento 1 dissipa il calore parte sull'ambiente e parte sull'avvolg. 2.  
 $R_{1A} > R_{12}$

Il ferro dissipa direttamente sull'ambiente.

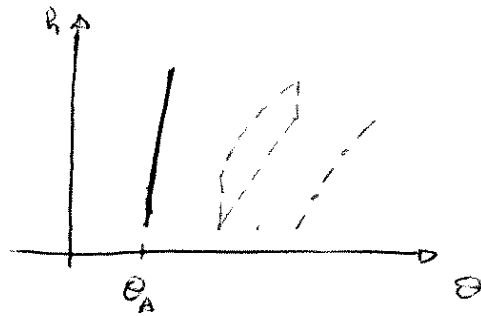
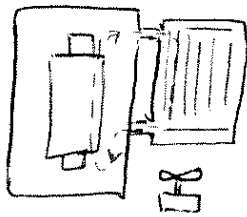
Il circuito può essere più semplice se immagino di avere piccole distanze tra avvolgimenti o di far passare un fluido refrigerante tra gli avvolgimenti e le colonne gli scambi termici avvengono solo tra avvolgimento/colonna e ambiente. Problema: se penso di poter far passare il fluido tra avvolgimenti e colonna vuol dire che il trafo è grande (questo implica che le temperature in alto sono diverse da quelle in basso). L'unico metodo è fare modelli complicati o procedere sperimentalmente.

Trasf. ONAN



Dal Cu ho 2 curve, quella a sinistra è il salto termico dovuto all'isolante

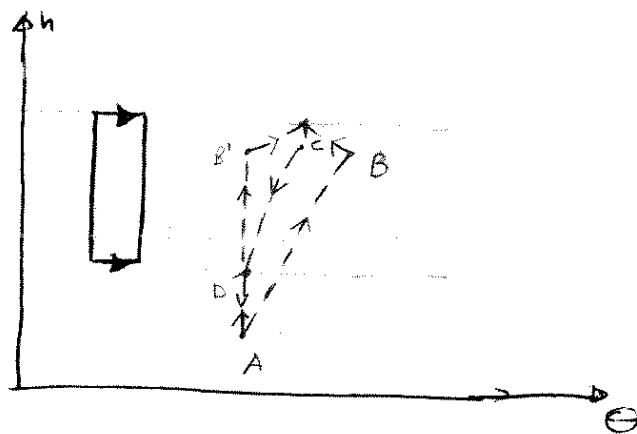
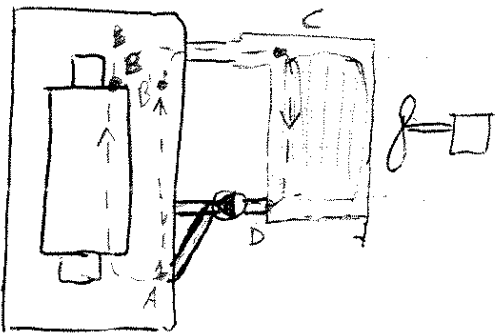
## Trasformatore ONAF



— cu  
 --- olio  
 ... ca

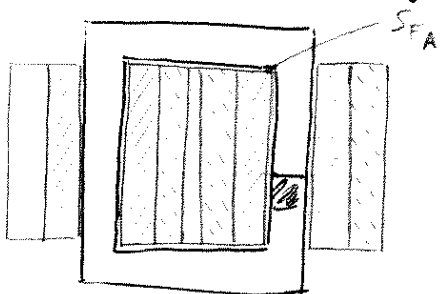
La curva dell'aria è più elevata rispetto all'ONAN. La  $\theta_{max\text{cu}}$  è minore rispetto al caso precedente - le temperature di olio e cu sono minori rispetto a quelle dell'ONAN.

## Trasformatore OFAF

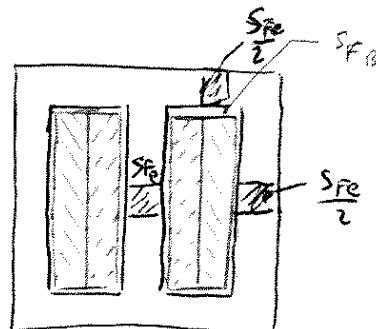


— cu  
 --- olio

## Confronto tra due trafo:



(A)



(B)

Se  $N_1 = N_2$  e  $N_A = N_B$   $\propto$  percu  $S_{FeA} = S_{FeB}$  e  $\omega - B_A = B_B$   
 la  $\alpha$  tra le colonne esterne del trasformatore B è  $\frac{S_{Fe}}{2}$

$$S_{FA} = N_1 S_{CuA} + N_2 S_{Cu2} = S_{FB} \quad \text{Quindi} \quad S_{FB} = S_{FA}$$

$$\text{Peso Fe}_B < \text{Peso Fe}_A$$

$$\text{Peso Cu}_B > \text{Peso Cu}_A$$