

Trasformatore

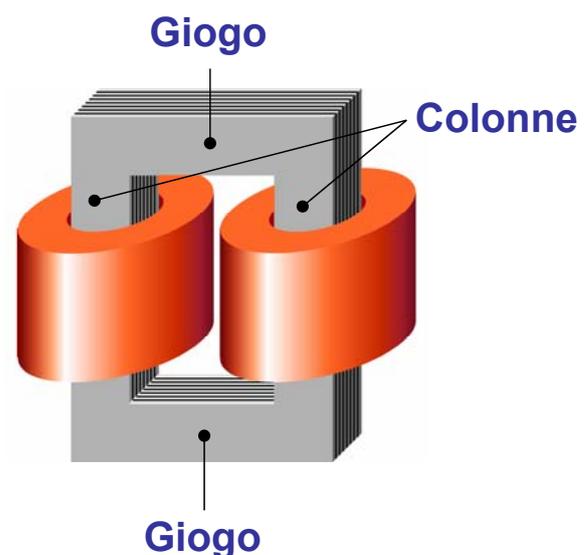
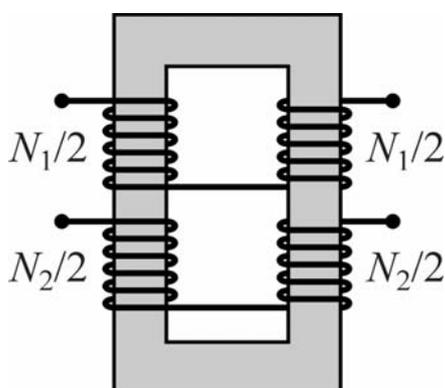
Parte 3

Caratteristiche costruttive

www.die.ing.unibo.it/pers/mastri/didattica.htm

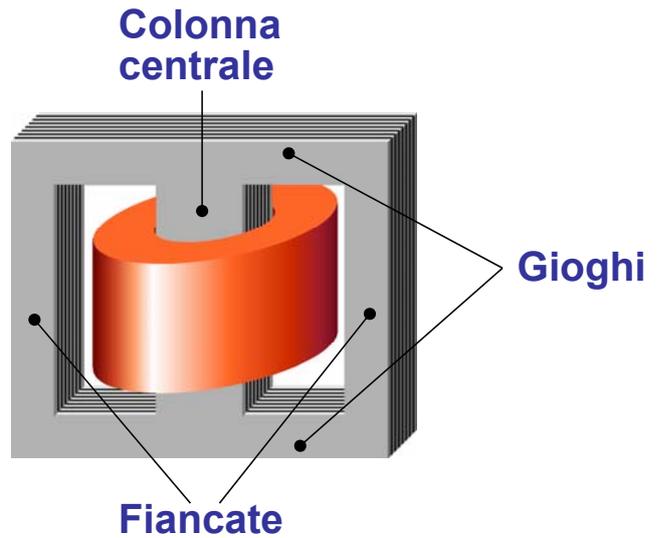
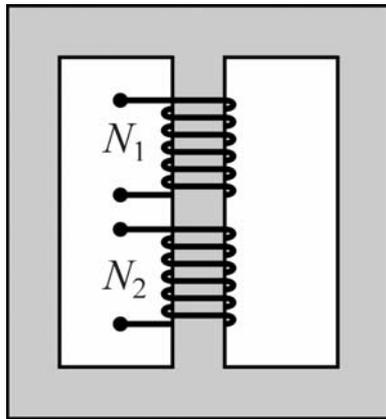
(versione del 16-12-2013)

Trasformatore monofase a colonne



- L'avvolgimento di alta tensione e l'avvolgimento di bassa tensione sono divisi in due sezioni disposte sulle due colonne
- Se i gioghi e le colonne hanno tutti la stessa sezione, il valore dell'induzione è lo stesso in tutte le sezioni del nucleo

Trasformatore monofase a mantello (o corazzato)

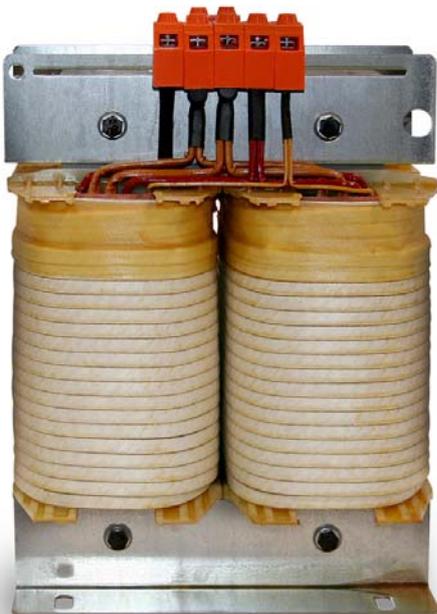


- Entrambi gli avvolgimenti sono disposti sulla colonna centrale
- Il flusso nei gioghi e nelle fiancate è pari alla metà del flusso nella colonna centrale
- ➔ Per avere lo stesso valore dell'induzione la sezione dei gioghi e delle fiancate deve essere la metà di quella della colonna centrale

3

Trasformatori monofase

A colonne

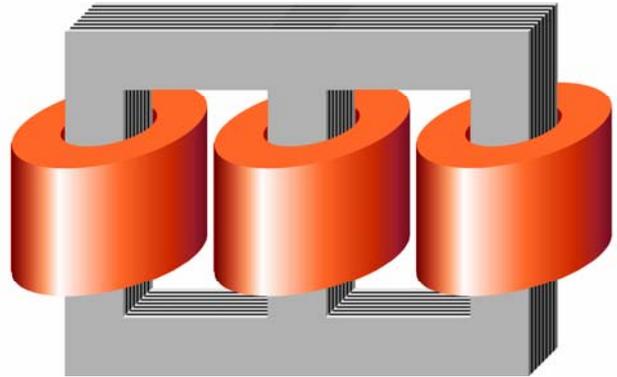
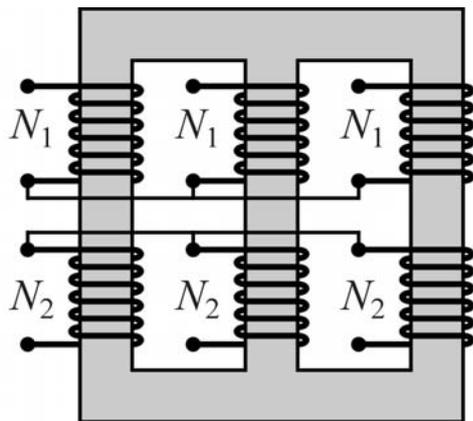


A mantello



4

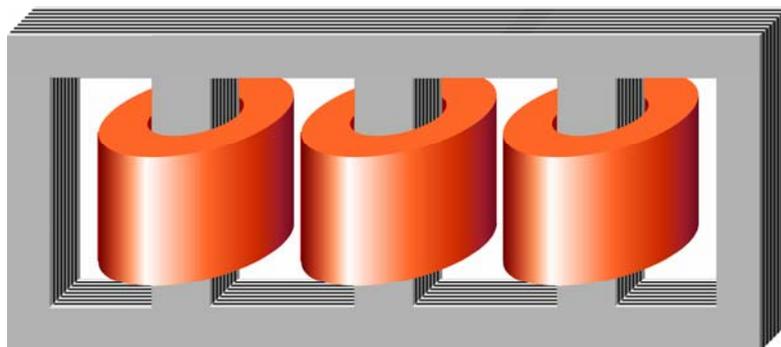
Trasformatore trifase a tre colonne



- Su ciascuna colonna sono disposti gli avvolgimenti di alta tensione e di bassa tensione di una fase
- Se le tensioni di alimentazioni costituiscono una terna simmetrica, anche i flussi nelle colonne formano una terna simmetrica
- ➔ Se i gioghi e le colonne hanno tutti la stessa sezione, il valore dell'induzione è lo stesso in tutte le sezioni del nucleo

5

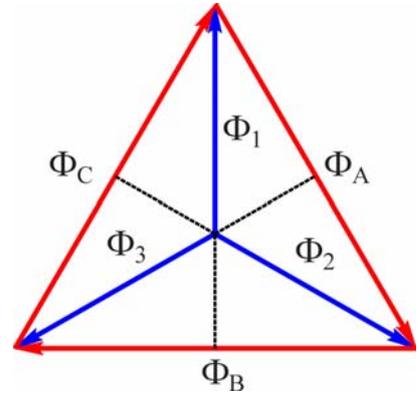
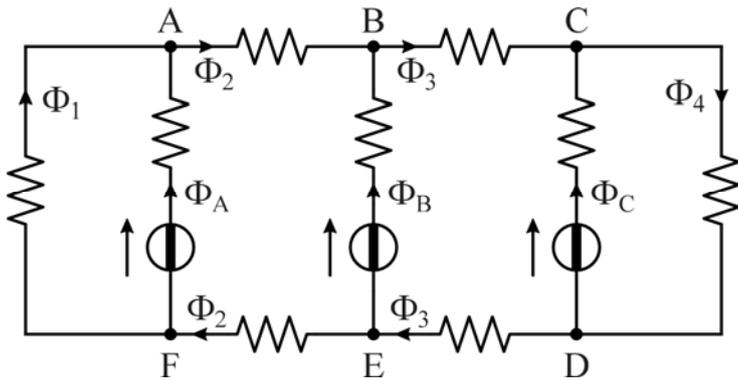
Trasformatore trifase a cinque colonne (1)



- Con questa configurazione si ottengono flussi nei gioghi e nelle fiancate di valore inferiore di un fattore $1/\sqrt{3} \cong 0.58$ a quello dei flussi nelle tre colonne centrali
- ➔ Per avere valore uguale dell'induzione in tutte le sezioni del nucleo, i gioghi e le fiancate devono avere sezione ridotta dello stesso fattore

6

Trasformatore trifase a cinque colonne (2)



$$\Phi_A = \Phi_2 - \Phi_1$$

$$\Phi_B = \Phi_3 - \Phi_2$$

$$\Phi_C = \Phi_4 - \Phi_3$$

$$\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = 0$$



$$\Phi_A = \Phi_2 - \Phi_1$$

$$\Phi_B = \Phi_3 - \Phi_2$$

$$\Phi_C = \Phi_1 - \Phi_3$$

$$\Phi_4 = \Phi_1$$

$$|\Phi_1| = \frac{1}{\sqrt{3}} |\Phi_A|$$

7

Trasformatori trifase

A 3 colonne



A 5 colonne



8

Realizzazione del nucleo (1)

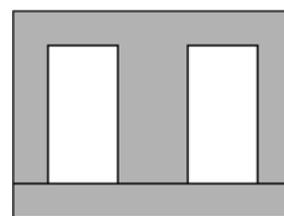
- Il nucleo viene realizzato mediante lamierini in ferro-silicio, con spessore tipicamente di 0.35 - 0.5 mm
 - ◆ L'impiego del silicio permette di ridurre l'ampiezza del ciclo di isteresi e di aumentare la resistività del materiale
 - ➔ Si riducono sia le perdite per isteresi che per correnti parassite
 - ◆ Si ha lo svantaggio che il materiale diviene più fragile
- Si utilizzano anche lamierini a cristalli orientati
 - ➔ Si hanno proprietà magnetiche migliori rispetto ai lamierini a cristalli non orientati quando la direzione del flusso di induzione magnetica coincide con la direzione di cristallizzazione (corrispondente alla direzione di laminazione)
 - ◆ Il comportamento anisotropo del materiale richiede accorgimenti particolari nella realizzazione del nucleo

9

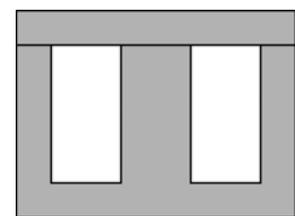
Realizzazione del nucleo (2)

- Per ragioni costruttive (per es. per facilitare il montaggio degli avvolgimenti) i nuclei non sono continui ma contengono un certo numero di traferri

- Nei trasformatori di potenza relativamente piccola (inferiore a qualche kVA) in genere ogni strato è formato da due lamierini

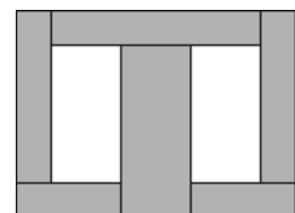
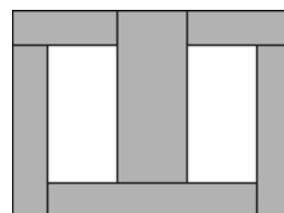


Strato pari



Strato dispari

- Nei trasformatori di potenza maggiore si utilizzano più strisce di lamierino

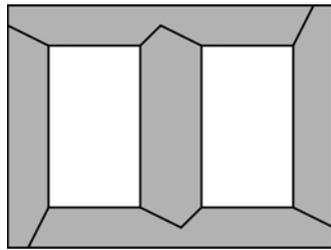


10

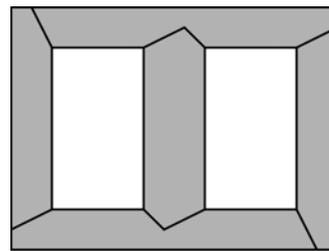
Realizzazione del nucleo (3)

- Nel caso di lamierini a cristalli orientati, le strisce hanno tagli obliqui per ridurre la lunghezza dei tratti in cui la direzione del flusso non coincide con la direzione di laminazione

Strato pari



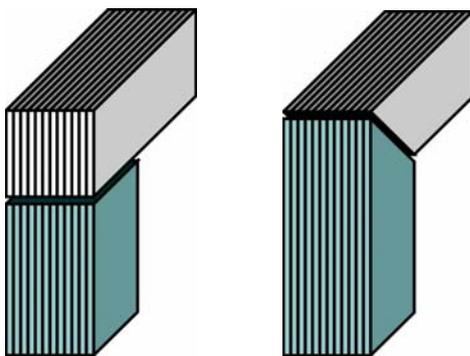
Strato dispari



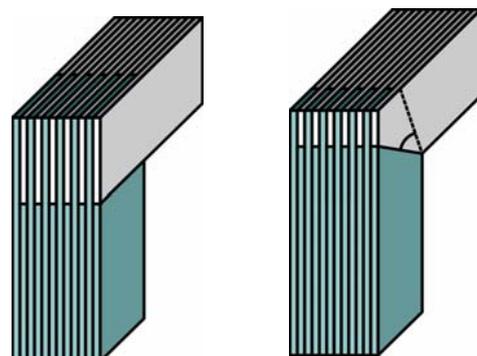
11

Giunti

Giunti affacciati



Giunti intercalati

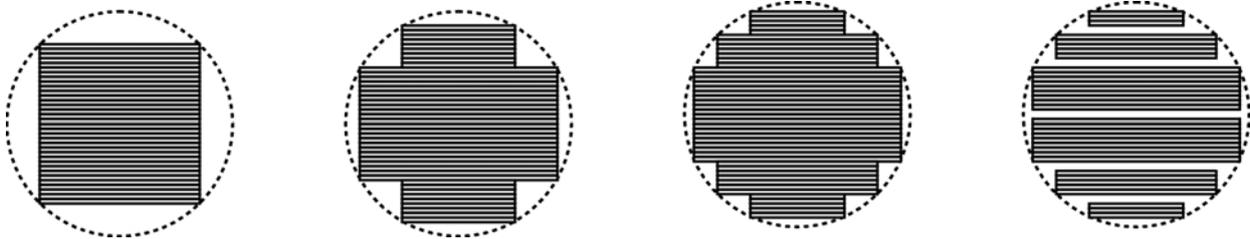


- Se per tutti gli strati si dispongono i lamierini allo stesso modo si ottengono **giunti affacciati**
 - ➔ operazioni di montaggio e eventuale smontaggio per manutenzione più semplici
- Mediante una disposizione a strati alterni si ottengono **giunti intercalati**
 - ➔ minore riluttanza e quindi minore corrente magnetizzante
 - ➔ struttura meccanicamente più robusta

12

Sezione delle colonne

- Nei trasformatori di potenza minore (fino a qualche kVA) le sezioni delle colonne e gli avvolgimenti hanno forma quadrata
- Per potenze maggiori gli avvolgimenti hanno forma circolare
 - ➔ minore lunghezza delle spire
 - ➔ maggiore resistenza agli sforzi elettrodinamici
- In questo caso per le colonne si adotta una sezione a gradini che approssima la sezione circolare
- Nei trasformatori di potenza elevata, per favorire lo smaltimento del calore, si introducono anche canali per la circolazione di un fluido refrigerante



13

Avvolgimenti

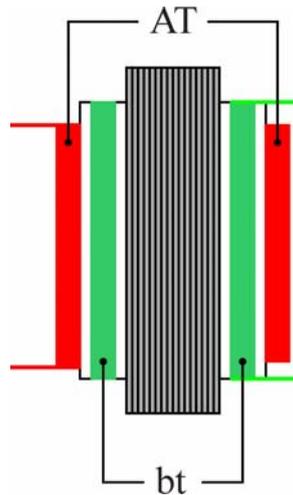
- Gli avvolgimenti sono realizzati con conduttori in rame o alluminio
- I conduttori possono avere sezione circolare o rettangolare (piattina)
 - ◆ La piattina è utilizzata per valori maggiori di sezione e consente un migliore sfruttamento del volume disponibile
- La disposizione degli avvolgimenti è determinata da vari fattori:
 - ◆ **accoppiamento magnetico:** ponendo i due avvolgimenti uno dentro l'altro si riducono i flussi dispersi
 - ◆ **isolamento:** i due avvolgimenti e il nucleo devono essere isolati tra loro
 - ◆ **raffreddamento:** nei trasformatori di elevata potenza, occorre avere dei canali di raffreddamento che consentano la circolazione di un fluido refrigerante per smaltire il calore prodotto a causa delle perdite nei conduttori e nel nucleo

14

Avvolgimenti concentrici (1)

- **Concentrico semplice:**

- ◆ gli avvolgimenti sono costituiti da due bobine concentriche
- ◆ di solito, per ragioni di isolamento, l'avvolgimento di bassa tensione è posto all'interno
- ◆ l'isolamento viene realizzato mediante tubi isolanti
- ◆ tra gli avvolgimenti viene lasciato uno spazio per il passaggio del fluido refrigerante



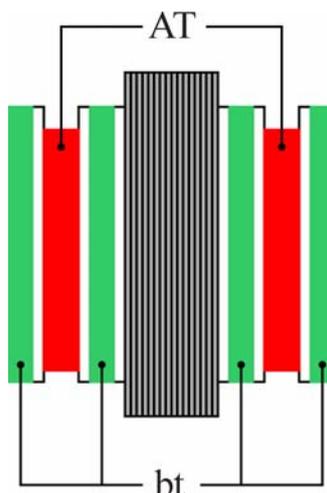
**Avvolgimento
concentrico
semplice**

15

Avvolgimenti concentrici (2)

- **Concentrico doppio:**

- ◆ uno degli avvolgimenti (di solito quello di bassa tensione) è diviso in due sezioni che occupano lo strato più interno e quello più esterno
- ◆ rispetto al caso precedente si ottengono reattanze di dispersione di valore minore
- ◆ inoltre si ha una riduzione degli sforzi elettrodinamici tra le bobine



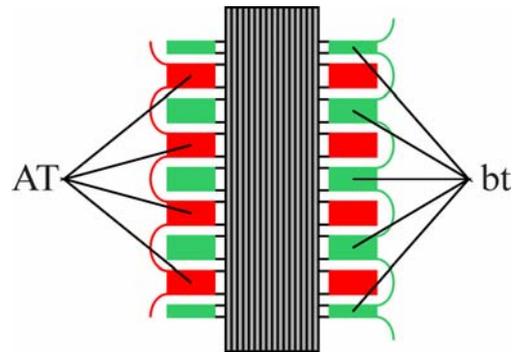
**Avvolgimento
concentrico
doppio**

16

Avvolgimenti alternati

- **Alternato:**

- ◆ gli avvolgimenti di alta e bassa tensione sono formati da più bobine, di uguale diametro, intercalate tra loro
- ◆ la prima e l'ultima bobina (che normalmente fanno parte dell'avvolgimento di bassa tensione) sono dimezzate per ridurre la reattanza di dispersione
- ◆ sono necessari più strati isolanti tra gli avvolgimenti
- ◆ questa disposizione dà luogo a sforzi elettrodinamici minori tra gli avvolgimenti e, quindi, viene impiegata prevalentemente nel caso di correnti elevate (e tensioni non molto elevate)



17

Raffreddamento (1)

- Per smaltire il calore prodotto dai fenomeni dissipativi occorre utilizzare sistemi di raffreddamento che divengono più complessi all'aumentare della potenza nominale del trasformatore
- **Trasformatori a secco:** (potenze fino a qualche decina di kVA) il raffreddamento è alla circolazione naturale o forzata (mediante ventole) dell'aria
- **Trasformatori in olio:** il trasformatore è collocato in un cassone di lamiera riempito di olio minerale che ha funzione sia di isolante che di fluido refrigerante
 - ◆ per favorire lo smaltimento del calore la parete esterna del cassone può essere munita di alette o di tubi di raffreddamento (10-100 kVA)
 - ◆ per potenze tra 50 e 500 kVA si utilizzano radiatori esterni raffreddati a convezione naturale
 - ◆ per potenze maggiori si impiegano scambiatori di calore esterni raffreddati a convezione forzata ad aria o ad acqua

18

Raffreddamento (2)

- I vari tipi di raffreddamento sono identificati con sigle composte da 2 o 4 lettere che indicano i fluidi refrigeranti e il tipo di circolazione:
 - ◆ A = aria
 - ◆ O = olio
 - ◆ W = acqua
 - ◆ L = liquido isolante non infiammabile
 - ◆ G = gas

 - ◆ N = circolazione naturale, dovuta ai naturali modi convettivi del fluido refrigerante
 - ◆ F = circolazione forzata mediante pompe o ventole
 - ◆ D = circolazione forzata e guidata

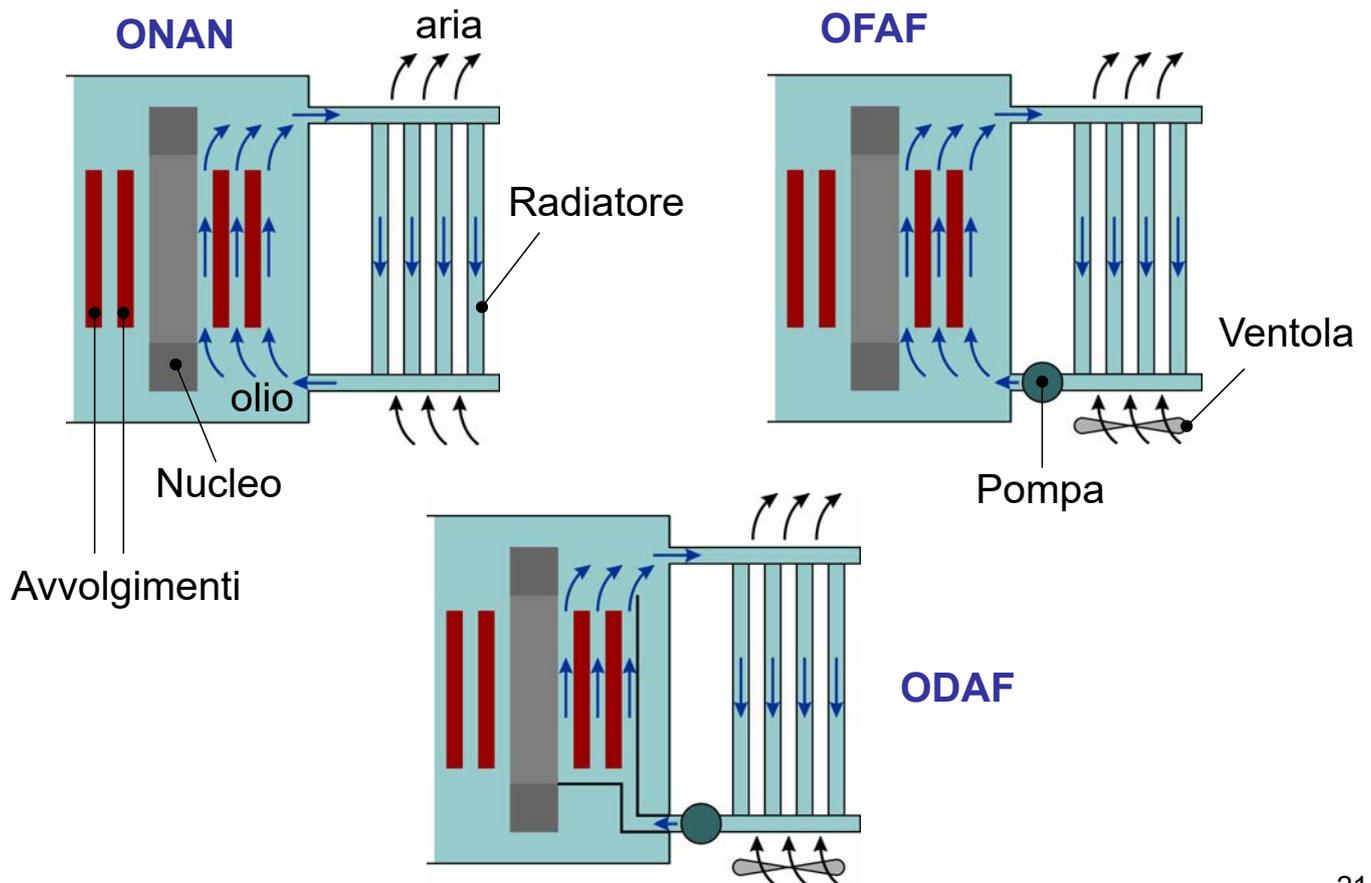
19

Raffreddamento (3)

- Esempi
 - ◆ **AN**: trasformatore a secco, circolazione d'aria naturale
 - ◆ **AF**: trasformatore a secco, circolazione d'aria forzata mediante ventole
 - ◆ **ONAN**: trasformatore in olio, circolazione naturale dell'olio e dell'aria
 - ◆ **OFAF**: trasformatore in olio, circolazione dell'olio forzata mediante pompe e circolazione dell'aria forzata mediante ventole
 - ◆ **ODAF**: trasformatore in olio, circolazione dell'olio forzata mediante pompe, flusso dell'olio diretto attraverso gli avvolgimenti, circolazione dell'aria forzata mediante ventole
 - ◆ **OFWF**: trasformatore in olio con raffreddamento esterno ad acqua, circolazione dell'olio e dell'acqua forzata mediante pompe

20

Raffreddamento (4)



21

Trasformatori di distribuzione

A secco

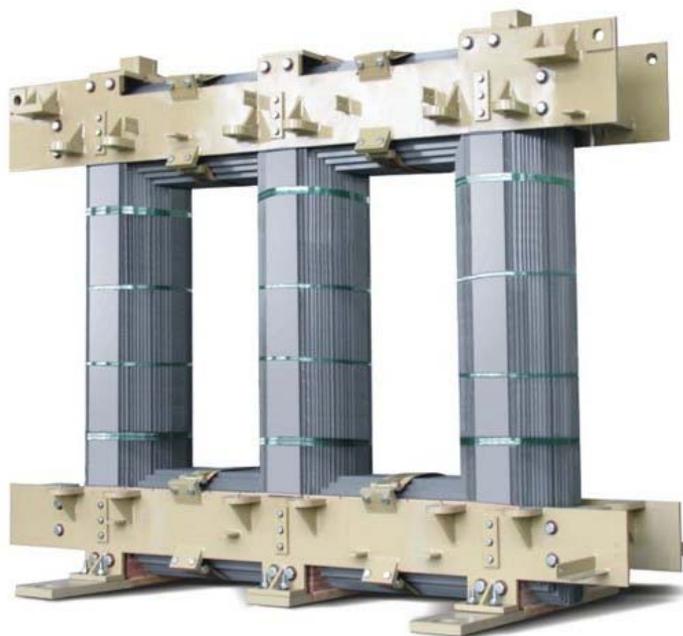


In olio

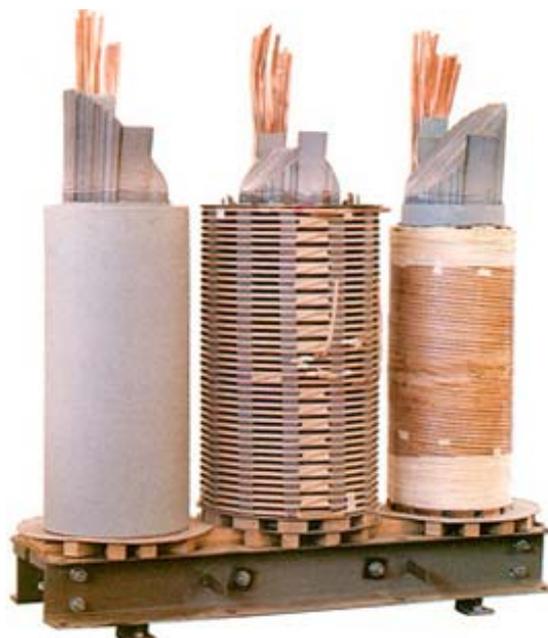


22

Nucleo



Avvolgimenti



Trasformatori di potenza

