

## PREMESSA

L'obiettivo della presente tesi è di analizzare le principali tecniche diagnostiche attualmente utilizzate per il monitoraggio dei trasformatori nell'ottica di una manutenzione preventiva e predittiva, con particolare riferimento alle metodologie più innovative, alla loro possibilità di utilizzo in linea ed alle azioni correttive che permettono in alcuni casi di risolvere i problemi ed in altri di ridurli.

# INDICE DEGLI ARGOMENTI

## CAPITOLO 1

### ASPETTI COSTRUTTIVI DEI TRASFORMATORI

- 1.0 Premessa pag. 7
- 1.1 Il nucleo magnetico pag. 8
- 1.2 Gli avvolgimenti pag. 9
- 1.3 L'isolamento elettrico pag. 9
  - 1.3.1 L'aria pag. 9
  - 1.3.2 La resina pag. 10
  - 1.3.3 L'olio minerale pag. 11
  - 1.3.4 L'olio siliconico pag. 11
- 1.4 Sistemi di raffreddamento pag. 12
  - 1.4.1 Sistema di raffreddamento di un trasformatore in olio pag. 14
- 1.5 Principio di funzionamento di un trasformatore pag. 14
  - 1.5.1 Funzionamento a vuoto pag. 14
  - 1.5.2 Funzionamento a carico pag. 15

## CAPITOLO 2

### DIAGNOSTICA E MANUTENZIONE

- 2.0 Premessa pag. 16
- 2.1 La diagnostica pag. 16
- 2.2 La manutenzione pag. 17
  - 2.2.1 La manutenzione reattiva pag. 17
  - 2.2.2 La manutenzione preventiva pag. 18
  - 2.2.3 La manutenzione predittiva pag. 19
  - 2.2.4 Obiettivi della manutenzione pag. 19
  - 2.2.5 Grafico del tasso di guasto in funzione dell'età pag. 21

## CAPITOLO 3

### PROVE ELETTRICHE PER LA DIAGNOSTICA

- 3.0 Premessa pag. 22
- 3.1 Prove elettriche pag. 23
  - 3.1.1 Prove per determinare la resistenza degli avvolgimenti pag. 24
  - 3.1.2 Prove per determinare le perdite a vuoto pag. 24
  - 3.1.3 Prove per determinare le perdite a carico pag. 25

## CAPITOLO 4

### ANALISI DEI GAS DISCIOLTI

- 4.0 Premessa	pag. 26
- 4.1 Principio di funzionamento del gascromatografo	pag. 26
- 4.2 L'analisi dell'olio come indicatore di qualità di funzionamento	pag. 27
- 4.3 Caratteristiche chimiche dell'olio	pag. 28
- 4.4 Decomposizione dell'olio	pag. 28
- 4.5 Ricombinazione degli ioni	pag. 30
- 4.6 Decomposizione dell'isolamento cellulosico	pag. 30
- 4.7 Chimica del carbonio	pag. 32
- 4.7.1 Il metano	pag. 32
- 4.7.2 L'etano	pag. 33
- 4.7.3 L'etilene	pag. 33
- 4.7.4 Il carbocatione	pag. 34
- 4.7.5 L'acetilene	pag. 34
- 4.7.6 Altre sorgenti di gas	pag. 35
- 4.8 Lo zolfo corrosivo	pag. 35
- 4.9 Procedura per il prelievo dell'olio	pag. 36
- 4.10 Interpretazione delle concentrazioni di gas	pag. 38
- 4.10.1 Tipi di guasti	pag. 38
- 4.10.2 Gas prodotti durante i guasti	pag. 39
- 4.10.3 Determinazione del tipo di guasto basato sul calcolo del rapporto tra le concentrazioni	pag. 40
- 4.10.3.1 Rapporto tra gas prodotti dall'olio	pag. 40
- 4.10.3.2 Rapporto tra CO <sub>2</sub> e CO	pag. 40
- 4.10.3.3 Rapporto tra O <sub>2</sub> e N <sub>2</sub>	pag. 41
- 4.10.3.4 Rapporto tra C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> e H <sub>2</sub>	pag. 41
- 4.10.3.5 Idrocarburi C <sub>3</sub>	pag. 42
- 4.11 Azioni correttive per il trasformatore in olio	pag. 42
- 4.12 Azioni correttive off-line	pag. 42
- 4.12.1 Essiccazione avvolgimenti con l'olio d'isolamento	pag. 43
- 4.12.2 Degasaggio totale dell'olio d'isolamento	pag. 44
- 4.12.3 Sostituzione completa dell'olio	pag. 45

- 4.13 Azioni correttive on-line	pag. 46
- 4.13.1 Filtri per l'umidità dell'olio	pag. 46
- 4.13.2 Degasaggio on-line	pag. 47
- 4.13.3 Additivi per zolfo corrosivo	pag. 48
- 4.13.4 Tecniche di depolarizzazione selettiva	pag. 49

## CAPITOLO 5

### TECNICHE DI RILEVAMENTO DELLE SCARICHE PARZIALI

- 5.0 Premessa	pag. 50
- 5.1 La scarica parziale	pag. 51
- 5.2 Come si formano i vacuoli in un isolamento	pag. 52
- 5.3 La quantità di carica trasmessa dalla scarica parziale	pag. 53
- 5.4 Come si rivelano le scariche parziali	pag. 53
- 5.4.1 Tecnica che utilizza il circuito sensibile agli impulsi di corrente.	pag. 54
- 5.4.2 Tecnica che utilizza il circuito sensibile alle emissioni acustiche.	pag. 56
- 5.4.3 Tecnica che utilizza il circuito sensibile alle emissioni luminose.	pag. 57

## CAPITOLO 6

### IMMAGINE TERMOGRAFICA

- 6.0 Premessa	pag. 58
- 6.1 Radiazione elettromagnetica infrarossa	pag. 58
- 6.2 La termografia	pag. 59
- 6.3 Principio di funzionamento di una termocamera	pag. 59
- 6.4 Vantaggi della termografia	pag. 60
- 6.5 La termografia applicata alla manutenzione	pag. 61

## CAPITOLO 7

### ISPEZIONE INTERNA

- 7.0 Premessa	pag. 64
- 7.1 Ispezione del trasformatore con estrazione della parte attiva	pag. 64
- 7.2 Ispezione del trasformatore con il sistema visivo remoto	pag. 65

Conclusioni	pag. 67
-------------	---------

BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI	pag. 69
----------------------------	---------