



Zugo



CH

CORSO DI LAUREA
in INGEGNERIA INDUSTRIALE

Curriculum

Ingegneria Elettrica

Tesi di Laurea

Costruzione di un trasformatore trifase in resina di potenza e sottovalutazione dei punti critici derivanti da una progettazione o da una inadeguata preparazione o formazione dei tecnici addetti alla realizzazione del prodotto

RELATORE

Prof. Stefano Masullo

CANDIDATO

Marco Spagli

Anno Accademico 2023/2024

Costruzione di un trasformatore trifase in resina di
potenza e sottovalutazione dei punti critici derivanti
da una progettazione o da una inadeguata
preparazione o formazione dei tecnici addetti alla
realizzazione del prodotto

Ringraziamenti

Dedicato a mio padre Dante.

A tutti i collaboratori che mi hanno fatto crescere professionalmente in questi anni e alle persone che mi sono state vicine durante la mia vita professionale e non.

Un ringraziamento particolare a Mattia Orloff e Antonella Di Lucia che mi hanno aiutato a sviluppare la tesi

Sommario

Premessa55

Introduzione e scopo66

Misurazione della resistenza d'isolamento133

Principi costruttivi dei trasformatori344

Tecnologia38

Composizione di un trasformatore trifase39

Vantaggi dei trasformatori in resina488

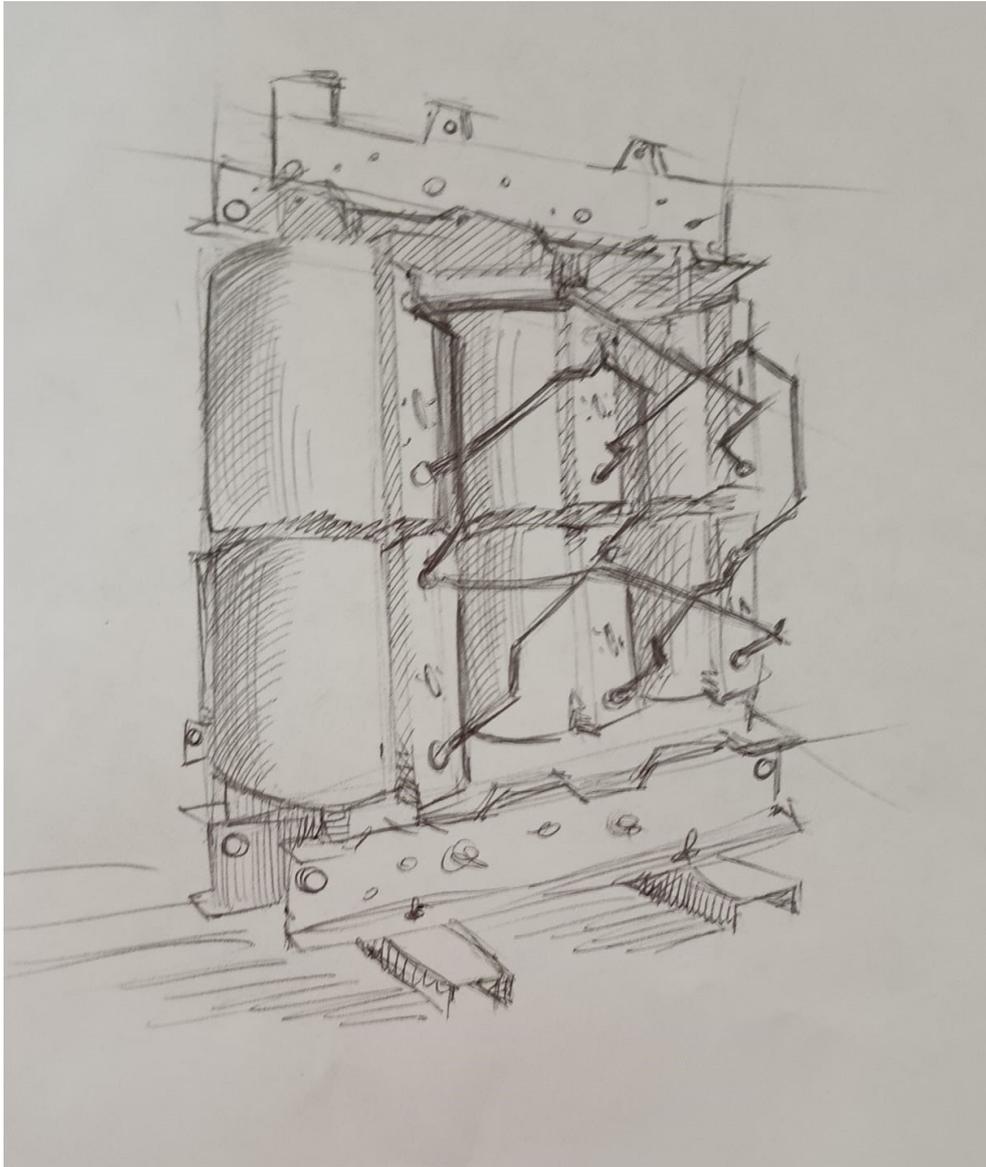
Scopo della tesi511

Conclusioni588

Bibliografia599

Premessa

Nella tesi si analizza la composizione e il funzionamento dei trasformatori trifase in resina e i problemi per cattiva comunicazione che possono insorgere all'interno di un'azienda e/o coi vari collaboratori



Introduzione e scopo

Definizione trasformatore di potenza: I trasformatori di potenza sono uno dei componenti più rilevanti delle reti elettriche: permettono di trasformare l'energia elettrica in vari livelli di tensione rendendone possibile il trasporto anche a lunga distanza dalle centrali alle reti di alta, media e bassa tensione e di renderla fruibile ai consumatori finali.

Definizione trasformatore elettrico: una macchina statica composta da due o più avvolgimenti che per induzione elettromagnetica trasforma un sistema di tensione e corrente alternata in un altro

sistema generalmente di differenti valori di tensione o corrente, alla stessa frequenza con lo scopo ultimo di trasmettere la potenza elettrica.

In conformità alle norme di sicurezza CEI EN 60076, il piano di progettazione dei trasformatori deve includere: soluzioni per prevenire l'aumento di temperatura, il rispetto dei livelli d'isolamento e le prove dielettriche tutto secondo le molteplici classi di appartenenza.

Le sopracitate classi sono:

- Classe di protezione dei trasformatori, è una caratteristica costruttiva di un'apparecchiatura di sicurezza contro le correnti pericolose e si distingue nelle seguenti sottoclassi:
 - Classe di protezione I, tutte le parti metalliche accessibili del trasformatore sono separate dalle parti in tensione tramite l'isolamento fondamentale. Inoltre le parti metalliche conduttrici accessibili devono essere collegate tramite morsetto di terra ad un conduttore di protezione (facente parte dell'impianto elettrico dell'installazione). Tutte le parti metalliche accessibili sono separate dalle parti in tensione tramite un isolamento principale. Inoltre il trasformatore viene fornito insieme ad un morsetto di massa collegato con le parti metalliche. Tale punto può essere collegato al conduttore di protezione di terra dell'impianto fisso di installazione a garanzia della sicurezza dell'isolamento principale in caso di guasto.
 -
 - Classe di protezione II Tutte le parti metalliche accessibili del trasformatore sono separate dalle parti in tensione mediante un isolamento doppio o rinforzato; l'isolamento tra i circuiti primari ed il nucleo e tra i circuiti secondari ed il nucleo deve essere del tipo doppio o rinforzato in modo da garantire che tutte le parti accessibili del trasformatore siano separate dalle parti in tensione. In questo caso il trasformatore non deve essere provvisto del morsetto di terra.
 - Classe di protezione III La protezione contro i contatti diretti ed indiretti si basa sull'alimentazione a bassissima tensione di sicurezza (SELV) in cui non si

generano tensioni superiori ai 50VAC e 120VCC. In questo caso il trasformatore è di sicurezza e deve essere sprovvisto del morsetto di terra

- Classe termica di isolamento: Le classi termiche di isolamento classificano i materiali di isolamento in relazione delle temperature massime che sono in grado di sopportare nel tempo evitando l'alterazione delle loro caratteristiche meccaniche ed elettriche. Le norme specifiche del prodotto definiscono le temperature massime accettabili nelle condizioni massime di funzionamento per i diversi componenti in relazione ai materiali impiegati per la costruzione del trasformatore e della relativa classe di isolamento nel seguente modo:
A= 105°C E= 120°C B= 130°C F= 155°C H= 180°C
Le temperatura ambiente in cui viene installato un trasformatore influenza le temperature massime della classe di isolamento che un trasformatore può raggiungere a piena potenza. La classe termica viene sempre indicata in targa.

- Classificazione dei trasformatori in funzione della resistenza al cortocircuito:
 - Trasformatore non resistente al cortocircuito, trasformatore costruito per essere protetto contro un eccessivo aumento della sua temperatura (sovraccarico o cortocircuito) tramite un dispositivo di protezione non fornito con il trasformatore stesso.

 - Trasformatore resistente al cortocircuito, trasformatore la cui temperatura in caso di sovraccarico o di cortocircuito non supera i limiti previsti, la resistenza al corto circuito può essere ottenuta con o senza dispositivi di protezione incorporati.

 - Trasformatore a prova di guasto, trasformatore che a seguito di uso anormale non è più in grado di

funzionare ma non presenta alcun pericolo per l'utilizzatore e per le parti adiacenti.

Tutte le specifiche tecniche di un trasformatore devono essere riportate sulla targa apposta alla fine della linea di produzione. Ad esempio

General Characteristics

Protection degree IP00
 Range Ambient temperature: -25 ° C + 40 ° C
 INDOOR installation
 Natural air cooling (AN)
 Frequency: 50 Hz
 Max installation altitude: <1000 m.s.l.
 Phases number: 3
 THD <10%

Technical Features

PRIMARY WINDING
 Primary voltage: **15.000V** insulation class **17,5/38/95 kV**
 Primary voltage: **20.000V** insulation class **24/50/125 kV**
 Primary voltage regulation: ± 2x2.5%
 Winding type: Incorporated in vacuum mold

SECONDARY WINDING
 Secondary voltage: **400V+N**
 Insulation class 1,1-3 kV
 Winding type: vacuum impregnated

Vectorial group: **Dyn11** (TRIANGOLO/STELLA+N)
 Winding materiale: AL/AL
 Thermal class: 155°C
 Over temperature : K100°
 Fire,climatic and environmental class: **E2-C2-F1**
 Insulation and Temperature class: **F/F**

STANDARD EQUIPMENT

- Towing eyelets
- Electrical characteris cs nameplate
- Roller castors
- Preparation for connection to the ground stainless steel
- Switching on the resin primary windings for the adjustment +/- 2x2.5% of rated voltage
- Temperature sensor: nr. 3 on the windings and nr. 1 on the core, cabled in its aluminum box centralization, temperature probes ed with the shield. (Cod. PT100S sensor)
- Digital thermometer unit for display and temperature monitoring (except RS485 op on - unit can be supplied on request)
- Test certificate and its installation and maintenance manual of the transformer
- Declaration of conformity product

Caratteristiche Costruttive

Grado di Protezione IP00
 Range Temperatura ambiente : -25°C + 40°C
 Installazione INDOOR
 Raffreddamento aria naturale (AN)
 Frequenza: 50 Hz
 Altitudine installazione max: <1000 m.s.l.
 Numero Fas: 3
 THD <10%

Caratteristiche Tecniche

AVVOLGIMENTO PRIMARIO
 Tensione Primaria: **15.000V** classe isolamento **17,5/38/95 kV**
 Tensione Primaria: **20.000V** classe isolamento **24/50/125 kV**
 Regolazione tensione primaria: ± 2x2.5%
 Tipo avvolgimento: Inglobato in stampo sottovuoto

AVVOLGIMENTO SECONDARIO
 Tensione Secondaria: **400V+N**
 Classe isolamento 1,1-3 kV
 Tipo avvolgimento: Impregnato sottovuoto

Gruppo Vettoriale: **Dyn11** (TRIANGOLO/STELLA+N)
 Materiale avvolgimenti: AL/AL
 Classe termica: 155°C
 Sovratemperatura : K100°
 Classe ambientale,climatica, al fuoco: **E2-C2-F1**
 Classe isolamento e temperatura: **F/F**

EQUIPAGGIAMENTO STANDARD

- Occhelli di traino
- Targa dati caratteristiche elettriche
- Ruote orientabili
- Predisposizione per il collegamento a terra in acciaio inox
- Commutazione sugli avvolgimenti primari in resina per la regolazione ± 2x2.5% della tensione nominale
- Sonde di temperatura : nr. 3 sugli avvolgimenti e nr. 1 sul nucleo centrale , cabled in relativa cassetta di centralizzazione in alluminio , sonde di temperature provviste di schermatura. (cod. sonde PT100S)
- Centralina termometrica digitale per la visualizzazione e monitoraggio della temperatura (escluso opzione RS485 – Centralina fornibile su richiesta)
- Bollettino di collaudo e relativo manuale di installazione e manutenzione del trasformatore
- Dichiarazione di conformità prodotto






Su richiesta è possibile progettare e realizzare trasformatore con diversa tensione in ingresso e in uscita

On request we can design and realize transformers with different voltage input and output

17

L.E.F. S.R.L. - Via Rodolfo Morandi, 12 - 50019 Sesto Fiorentino (FI) - ITALY | tel +39 055 4217727 - Fax +39 055 4254492 | info@lef.it - www.lef.it

Sempre in tema di sicurezza è sicuramente molto importante una guida di installazione finalizzata alla massima comprensione e delucidazione del montaggio di un trasformatore senza però tralasciare il funzionamento delle singole parti del prodotto; il modo giusto per far capire ai tecnici e agli operai specializzati il corretto funzionamento e un adeguato montaggio del trasformatore oltre alla formazione tramite corsi specialistici è fornire un manuale d'uso nel quale sono presenti informazioni dettagliate ma scritte e disposte in maniera chiara, concisa e facilmente comprensibile.

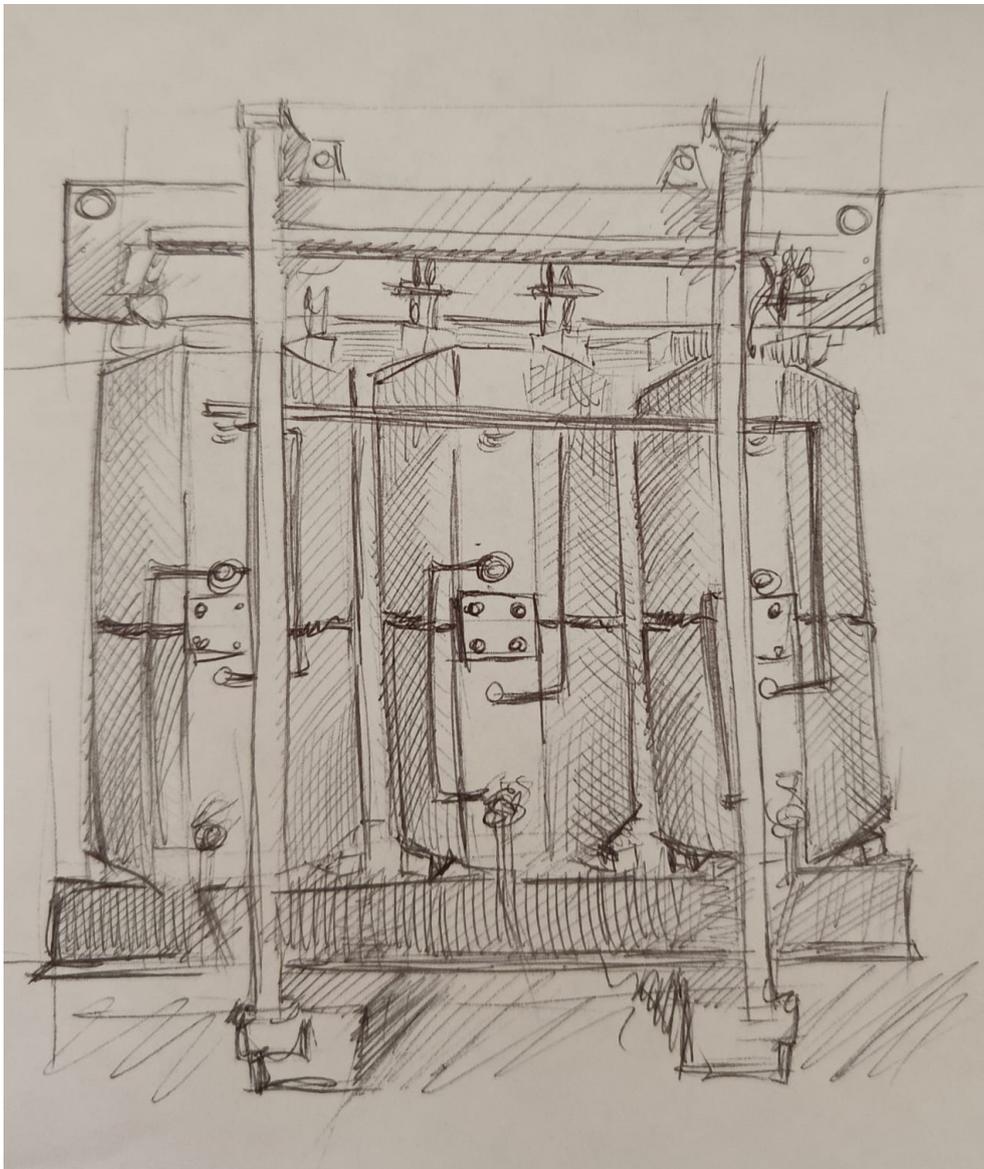
Un ottimo esempio di manuale ben strutturato è sicuramente il seguente:

1	Introduzione	
1.1	Norme tecniche di riferimento	3
2	Indicazioni per la sicurezza	
2.1	Note per l'installatore	3
3	Generalità trasformatore	
3.1	Elenco componenti trasformatore	
3.2	Targa Dati trasformatore	4
4	Trasporto e Movimentazione	
4.1	Ricezione	
4.2	Movimentazione	
4.3a	Esempi di movimentazione (traslazione)	5
4.3b	Esempi di movimentazione (sollevamento)	
4.3c	Esempi di movimentazione	
4.4	Immagazzinaggio	6
5	Temperature di esercizio	
5.1	Condizioni standard di installazione	7
6	Posizionamento in locale tecnico- distanze da rispettare	7
7	Installazione e collegamenti	
7.1	Posizione delle prese e delle protezioni	
7.2	Regolazione rapporto di trasformazione (singola tensione MT in ingresso)	
7.3	Regolazione rapporto di trasformazione (Doppia tensione MT in ingresso)	8
8	Messa in funzione	
8.1	Verifiche meccaniche	
8.2	Verifiche elettriche prima della messa in servizio	
8.3	Operazioni da svolgere prima della messa in servizio	9
9	Collegamenti MT/BT	
9.1	Esecuzione a giorno (IP00)	10
9.2	Esecuzione con box di protezione (IP21/31)	11
10	Connessioni	
10.1	Connessioni lato di bassa tensione BT	
10.2	Connessioni lato di media tensione MT	
10.3	Connessione a terra del trasformatore	
10.4	Controllo connessioni	12
11	Ventilazione/Aerazione locale tecnico	
11.1	Flusso di aria	13
12	Protezioni contro le sovratensioni	13
13	Misura della resistenza verso degli avvolgimenti	13
14	Messa in tensione	13
15	Accessori inclusi nel trasformatore	
15.1	Sonde di temperatura PT100S	
15.2	Sostituzione o riposizionamento sonde	14
15.3	Centralina termometrica di monitoraggio	15
16	Pulizia e Manutenzione	
16.1	Pulizia	
16.2	Manutenzione durante il servizio continuo	
16.3	Manutenzione durante il servizio discontinuo	16
17	Sistemazione trasformatore su mezzo di trasporto	16
18	Simboli di Sicurezza	18

Sicuramente un tema che per nessun motivo va tralasciato è la manutenzione del trasformatore che ovviamente deve essere effettuata da personale specializzato e competente, un ottimo esempio di manutenzione è quella fatta sui trasformatori MT/BT trifasi in resina, la quale richiede più step utili per garantire poi il corretto funzionamento del trasformatore nel tempo, gli step sono i seguenti:

- **Pulizia:** se il trasformatore è rimasto in giacenza per lungo tempo, procedere alla pulizia generale della macchina. Pulire gli avvolgimenti di MT e di BT da eventuali depositi di polvere e sporco con un aspiratore. Eliminare ogni presenza di condensa asciugando il trasformatore con panni asciutto e soffiando aria calda secca. Assicurarsi che il locale sia asciutto, pulito, dotato di una sufficiente ventilazione e privo del rischio di ingresso acqua. Non fissare accessori o canalizzazioni agli avvolgimenti e al nucleo del trasformatore
- **Manutenzione durante il servizio continuo:** A cadenza semestrale gli avvolgimenti di media e bassa tensione dovranno essere sottoposti a pulizia da polveri e sporco utilizzando getti di aria compressa secca a bassa pressione e strofinacci asciutti e deve essere verificato il posizionamento dei blocchetti di sospensione e bloccaggio bobine, provvedendo eventualmente a serrare le relative piastre di registro con coppia di serraggio compresa tra 20 e 40 Nm. Dovranno inoltre essere controllate le condizioni di serraggio dei collegamenti elettrici di media e bassa tensione e delle piastrine di regolazione. Tali interventi devono essere eseguiti a trasformatore fuori tensione e collegato a terra
- **Manutenzione durante il servizio discontinuo:** dopo un periodo di sosta, immediatamente prima della messa in servizio, gli avvolgimenti di media e bassa tensione dovranno essere sottoposti a ciclo termico di eliminazione della condensa depositata e pulizia da polveri e sporco utilizzando getti di aria compressa secca a bassa pressione e strofinacci asciutti, verificando il posizionamento dei blocchetti di

sospensione e bloccaggio bobine e provvedendo eventualmente a serrare le relative piastre di registro con coppia di serraggio compresa tra 20 e 40 Nm. Dovranno inoltre essere controllate le condizioni di serraggio dei collegamenti elettrici di media e bassa tensione e dei ponticelli di regolazione. Utilizzando un Megaohmetro tipo Megger con tensione superiore a 1000 V, è infine necessario eseguire un controllo della resistenza, degli avvolgimenti tra loro e verso massa: dovranno essere misurati i valori superiori a 20 M Ω tra MT e BT verso massa e superiori a 10 M Ω tra BT e MT verso massa. Per valori inferiori si raccomanda di eseguire un altro ciclo di essiccazione



Misurazione della resistenza d'isolamento

Un'altra manutenzione molto importante è la misurazione della resistenza di isolamento del trasformatore, essa è un compito importante che deve essere eseguito periodicamente per garantire la sicurezza e l'affidabilità del trasformatore. La resistenza di isolamento del trasformatore indica la qualità del materiale isolante utilizzato e indica il livello di efficacia del sistema isolante che circonda l'avvolgimento. I metodi per testare la resistenza d'isolamento sono i seguenti:

- **Test di Megger**
Il metodo più comune utilizzato per misurare la resistenza di isolamento di un trasformatore è il test Megger. Utilizzando un Megger, possiamo misurare la resistenza di isolamento del trasformatore creando una carica ad alta tensione e bassa corrente attraverso il materiale isolante del trasformatore. Ciò fa sì che venga prelevata una piccola corrente e quindi venga effettuata la misurazione della resistenza. I risultati del test Megger sono solitamente espressi in megaohm (MΩ). I valori accettabili di resistenza di isolamento per i trasformatori variano in base alla tensione nominale del trasformatore. Una regola pratica è che la resistenza di isolamento dovrebbe essere almeno cento volte la tensione operativa del trasformatore.
- **Test dell'indice di polarizzazione**
Il test dell'indice di polarizzazione è un altro metodo utilizzato per misurare la resistenza di isolamento di un trasformatore. Il test PI viene utilizzato per determinare le condizioni del sistema di isolamento del trasformatore e la sua capacità di fornire sicurezza e proteggere il trasformatore da danni dovuti a guasti elettrici. In questo test, la resistenza di isolamento viene misurata a due intervalli di tempo, solitamente a 10 minuti e 1 minuto. L'indice di polarizzazione viene quindi calcolato prendendo il rapporto tra la resistenza di isolamento misurata a 10 minuti e la resistenza di isolamento misurata a 1 minuto. Un valore dell'indice maggiore di due indica che l'isolamento del trasformatore è in buone condizioni.

- **Test della tensione di passo**
Il test della tensione a gradino è un metodo per misurare la resistenza di isolamento di un trasformatore applicando una tensione continua a gradini all'avvolgimento e misurando la corrente risultante. Questo test viene utilizzato per valutare le condizioni di isolamento del trasformatore e può rivelare eventuali punti deboli nel sistema di isolamento. Durante il test della tensione di passo, la tensione viene aumentata in passi predeterminati e viene misurata la corrente risultante. La resistenza di isolamento viene quindi calcolata in base alla corrente misurata ad ogni passaggio. I risultati di questo test sono complicati da interpretare ed è meglio lasciarli a professionisti esperti.

In conclusione, esistono molteplici metodi che possono essere utilizzati per misurare la resistenza di isolamento di un trasformatore. Il test Megger, il test dell'indice di polarizzazione e il test della tensione di gradino sono i metodi più comunemente utilizzati. Questi test forniscono informazioni importanti sulle condizioni dell'isolamento del trasformatore e possono aiutare a prevenire guasti elettrici e garantire un funzionamento sicuro. I valori della resistenza di isolamento variano in base alla tensione nominale del trasformatore ed è importante comprendere i risultati di ciascun test e come interpretarli. In definitiva, test e manutenzione regolari dell'isolamento del trasformatore sono essenziali per garantire il funzionamento sicuro e affidabile del trasformatore.

Sistemi di monitoraggio

Più nello specifico il processo diagnostico fu introdotto dai primi anni '80, si trattava di sistemi per il controllo delle vibrazioni linea d'assi dei gruppi termici, ovvero sistemi HW e SW con grande potenzialità di acquisizione ed elaborazione. Tali sistemi hanno via via integrato diverse grandezze termiche dell'impianto fino ad incorporare i sistemi di monitoraggio cosiddetti "stand-alone" degli alternatori. Un'ulteriore evoluzione dei sistemi di monitoraggio, in senso lato, è stato il passaggio alla remotizzazione dal campo alla sede.

Tale pratica è il risultato della modifica dei contratti di service che hanno visto gli OEM sempre più coinvolti nell'andamento degli impianti e, in particolare, nella continuità di servizio con penali molto salate in caso di scarsa "disponibilità".

Sono nati, infatti, i cosiddetti LTSA. "Long Term Service Agreement", che responsabilizzano gli OEM per la qualità e la continuità del servizio degli impianti per periodi anche di 12 anni. Hanno così spinto a dotare le macchine e gli impianti di sistemi di monitoraggio on-line completi e sofisticati.

Questa strumentazione speciale serve alla remotizzazione da campo a sede dei dati e di renderli fruibili a un elevato numero di esperti con competenze diverse, in tempo reale e senza necessità, a volte, di lunghi spostamenti; questo è particolarmente importante quando i problemi riscontrati richiedono l'intervento di specialisti diversi e quando gli impianti seguiti da uno stesso OEM siano numerosi e dislocati in diverse parti del mondo. Anche gli Owners che non stipulano LTSA con gli OEM, spesso, sono interessati ad equipaggiare macchinario ed impianti con opportuni e sofisticati sistemi di monitoraggio on-line per applicare la filosofia della CBM (Condition Based Maintenance) invece delle storiche manutenzioni programmate su base temporale. In particolare, negli impianti dove siano presenti turbine a gas (in ciclo aperto o in ciclo combinato) le pale "calde", ad esempio, sono da considerare parti di consumo e dopo un certo numero di ore "equivalenti", che va sempre più crescendo (per qualche OEM si parla di 30000 ore), vengono sostituite. Il monitoraggio on-line degli alternatori consente, allora, di effettuare gli interventi necessari "all'ombra delle attività di manutenzione delle turbine a gas. Il monitoraggio continuo permette, per lo più, di sapere cosa è necessario fare e di predisporre in anticipo la fabbricazione e/o il reperimento di parti di ricambio che

potrebbero richiedere, altrimenti, anche tempi lunghi di approvvigionamento.

Ci sono poi casi di guasti o malfunzionamenti del componente alternatore che vanno valutati di volta in volta e possono richiedere una rapida decisione circa la possibilità di esercire la macchina eventualmente ad un regime ridotto, rimandando l'intervento manutentivo "pesante" ad un periodo più favorevole ovvero, come detto, durante la manutenzione di altri componenti o dell'intero impianto o quando siano disponibili le parti di ricambio necessarie.

Quanto detto sopra comprende l'importanza della sorveglianza degli alternatori negli impianti, che grazie al loro elevati rendimenti ed al loro basso impatto ambientale, sono spesso considerati delle vere e proprie comodità ma che di fatto devono garantire un'affidabilità elevata e la cui manutenzione, come detto, deve essere il più possibile funzionale alle esigenze dei componenti più strategici dell'impianto; In tutto questo processo giocano un ruolo fondamentale gli sviluppi compiuti da sensoristica, elettronica, acquisizione ed elaborazione dati, simulazione.

In questo processo sempre più automatizzato sembra anche che l'intervento dell'uomo perda di significato, mentre non è affatto così. Molto spesso, non è possibile prescindere dall'esperto per una valutazione diagnostica e/o la decisione di continuare il servizio in sicurezza. Tutti i modelli diagnostici, seppure parziali, sono frutto dell'esperienza e della competenza variegata degli esperti.

Gli esperti, inoltre, sono in grado di indicare con maggiore competenza le grandezze ed i parametri da monitorare perché gli sviluppi tecnologici eccezionali cui assistiamo potrebbero spingere ad una acquisizione indiscriminata di una miriade di dati, in particolare quando l'operazione è praticamente quasi "gratuita"; acquisire per acquisire è, infatti, un pericolo reale dovuto alla sempre maggiore capacità dei computer e dei sistemi di trasmissione

L'esperto è colui che sa cosa controllare, ne conosce il significato e sa valutare la sensibilità dei vari parametri. Prima di procedere all'analisi pratica di alcune prove è opportuno richiamare ancora alcuni concetti non tutti gli impianti sono dotati di sistemi di monitoraggio on-line permanentemente montati e ancor meno assoggettati a remotizzazione.

L'esame visivo dell'esperto è ancora un parametro importante nella valutazione dello stato di salute della macchina, nonostante gli sforzi ingenti e ultradecennali degli specialisti (al contrario di quanto accade per alcune parti metalliche dei componenti termici), non esistono ancora formule in grado di stimarne la "vita residua" per molti parametri, più che il valore assoluto contano le variazioni nel tempo (trend) per questi motivi l'intervento periodico di un esperto, dotato di adeguata strumentazione portatile (sia per prove di tipo on-line sia di tipo off-line e possibilmente con competenze multidisciplinari) è determinante nella continuità di servizio e nella buona gestione degli alternatori. Il controllo del macchinario rotante è oggi diventato ancora più importante in conseguenza della diffusione sempre più ampia degli impianti ad energia rinnovabile che obbligano a un funzionamento discontinuo anche impianti studiati per produrre energia con continua a valori più possibile prossimi al nominale, come ad esempio cicli combinati.

IL SISTEMA D'ISOLAMENTO: L'isolamento di massa delle bobine degli alternatori, fino agli anni '50, veniva realizzato applicando un certo numero di nastri di nastro micato (mica in scaglie come dielettrico e nastri di carta come supporto), distribuite con continuità nel tratto in cava e sulle testate e utilizzando una miscela bituminosa (compound bituminoso asfaltico) per l'impregnazione.

La miscela bituminosa utilizzata era caratterizzata da una forte termoplasticità, tanto che, solida a temperatura ambiente, diventava liquida a 150-160 °C e un rammollimento accentuato si riscontrava già attorno ai 90- 100 °C. Questo sistema di isolamento presentava alcuni vantaggi (buone caratteristiche dielettriche, assenza quasi totale di vacuoli, uniformità d'isolamento in cava e in testata, facilità di montaggio e smontaggio nel caso di bobine intere) a fronte di alcuni pesanti svantaggi:

- tendenza al rigonfiamento per effetto della temperatura, dove l'isolamento non era tenuto in posto, specie in corrispondenza dei canali di ventilazione e dell'uscita delle bobine dal pacco
- nel caso di pacchi di notevole lunghezza, il fenomeno di migrazione della mica ("creeping" secondo la terminologia anglosassone).

Questo sistema di isolamento, ormai obsoleto, si trova ancora in numerose macchine in servizio, specialmente negli impianti idraulici.

A partire dagli anni '50, si è incominciato ad utilizzare dei sistemi di isolamento che prevedono l'impiego, per l'impregnazione, di resine termoindurenti (poliesteri o epossidiche). La capacità dielettrica è ancora affidata alla mica (oggi in polvere, nella mica carta) e la resistenza meccanica dei nastri è ottenuta utilizzando come basi nastri di Dacron.

Il sistema di isolamento più tradizionale per grandi macchine rotanti, è stato per molti anni il cosiddetto sistema "resin-rich", detto anche "pre-preg"

In questo sistema le barre sono isolate con nastri preimpregnati ovvero già arricchiti di resina nella percentuale richiesta il sistema di isolamento con nastri preimpregnati (mica su nastro di supporto in filato di vetro impregnati, con resina) prevede la cottura (polimerizzazione delle barre singole mediante l'applicazione in autoclave di asfalto bituminoso in temperatura e pressione): apposite attrezzature (angolari e nastri di sacrificio) permettono alle barre "brattate" di raggiungere con precisione le dimensioni richieste per l'inserimento nelle cave statore. Per quanto riguarda il sistema di isolamento dell'avvolgimento statore, va segnalata, a partire dagli anni 90 anche per grandi macchine rotanti, la diffusione del sistema VPI, per lo più per macchine raffreddate in aria (uso di nastri isolanti "secchi con apporto di resina, ad alta viscosità, dall'esterno mediante impianto opportuno, soluzione una volta propria dei motori e quindi di macchine rotanti di dimensioni modeste). Questa soluzione derivata, come detto, dai motori viene oggi utilizzata in alternativa ai sistemi resin-rich. Con il sistema VPI, nella versione integrale, l'impregnazione dell'avvolgimento viene effettuata sul pacco già avvolto richiedendo notevoli quantità di resina che poi viene conservata nell'impianto d'impregnazione in vista del trattamento dei pacchi successivi.

Notare che più recentemente per problemi di qualità e di riparabilità in caso di guasti, al VPI integrale si è finito per preferire il VPS di barra, per il quale l'uso dei nastri alle modalità di impregnazione sono le stesse, ma per il quale invece di andare ad impregnare l'intero pacco avvolto si procede a trattare le singole barre isolate (si riduce così notevolmente anche il volume della resina circolante internamente all'impianto di impregnazione). In generale, comunque, quando si parla quindi di VPI e di "resin-rich" si parla di due diverse tecnologie, che co esistono e che sono utilizzate a seconda del costruttore. Più recentemente, grazie alla collaborazione unitaria tra

unitaria delle macchine (a parità di tipo di raffreddamento), sono stati messi a punto dei nastri a conducibilità termica aumentata sia per i sistemi di isolamento VPI sia per quelli di tipo "resin-rich", tali macchine hanno, per momento, diffusione limitata.

SOLLECITAZIONI ED INVECCHIAMENTO DELL' ISOLAMENTO DELL'AVVOLGIMENTO STATORE

L'isolamento statore è vero "cuore della macchina elettrica (5) e, essendo a tensione elevata (anche, oltre a 20 kV), & origine e sede dei guasti più gravi e ricorrenti (6) Ricordiamo infatti che i materiali isolanti a prescindere da eventuali difetti di fabbricazione sono sottoposti ad invecchiamento più meno rapido, durante il funzionamento della macchina, in conseguenza a tre diversi tipi di sollecitazioni

- Termiche
- Meccaniche,
- Elettriche.

Tali sollecitazioni sono spesso tra loro concomitanti o, comunque, strettamente correlate.

Quando l'isolamento viene sottoposto a surriscaldamento per lunghi periodi di tempo le resine organiche tendono a degradare e gli strati di isolamento si distaccano uno dall'altro (delaminazione). Di conseguenza si generano scariche parziali negli interstizi e nei vucoli e la bobina "allentata incomincia a vibrare", con conseguente abrasione meccanica dei nastri micati.

In realtà, già all'origine, per necessità di montaggio le semi bobine sono realizzate con una certa tolleranza, ma, per evitare vibrazioni meccaniche che sono connaturate con il funzionamento stesso della macchina (forze di attrazione e repulsione bobine, per esempio "bar force") più modernamente sono state predisposte dai costruttori delle molle elastiche laterali e radiali, per recuperare tali tolleranze di montaggio ed eventuali rischi generatisi in esercizio, In caso di applicazione di carichi ciclici/intermittenti, oggi così frequenti anche per la diffusione delle energie rinnovabili non programmabili, a causa dei coefficienti lineari di espansione termica diversi, rame e materiali isolanti hanno un'espansione termica differente. Tali sollecitazioni causano, generalmente, un indebolimento della coesione tra rame e Isolamento, con fenomeni di fessurazione in uscita cava (girth cracking).

Per le macchine ad impregnazione globale la principale problematica è costituita dal distacco della resina dalla superficie del

nucleo magnetico, a seguito del "thermal-cycling" ossia un fenomeno, che nel tempo causa l'erosione della parete isolante per effetto delle vibrazioni delle barre in cava. Anche le testate dell'avvolgimento statore, specie quando raggiungono sviluppi ragguardevoli (grandi macchine), sono soggette a forze elettromagnetiche a 100/120 Hz, che possono condurre ad abrasioni nei punti di bloccaggio e allentamento delle legature, pregiudicando la funzionalità dell'intero sistema di ammaraggio delle testate.

Sempre parlando di testate, per contenere le dimensioni, capita che lo spazio minimo tra le spire sia minimo e abbiano luogo delle scariche parziali, in tali zone.

Quando siano presenti in macchina olio umidità mescolati con polvere o altre impurità è normale che si inneschino scariche elettriche superficiali lungo le terminazioni e le testate nell'avvolgimento.

Tornando alla cava, se il rivestimento conduttivo della bobina si deteriora, si generano scariche elettriche in cava e si ha produzione di ozono.

Le scariche e l'ozono accelerano la decomposizione e rottura dei legami della resina. A causa della decomposizione della resina, le bobine possono "smagrirsi" e non risultare più ancorate solidamente. In caso di allentamento, le superfici conduttive sono le prime ad essere danneggiate, creandosi delle aree caratterizzate da elevate sollecitazioni elettriche, il danno interessa successivamente la parete micata dell'isolamento contro massa con una progressiva erosione della stessa fino al cedimento dielettrico con scarica.

Per quanto detto sopra le problematiche che possono presentarsi in esercizio sono molteplici ma possono essere ricondotte sostanzialmente al movimento dell'avvolgimento, in cava e in testata e la presenza/comparsa di scariche parziali che invecchiano i materiali fino anche alla scarica distruttiva.

Resistenza di isolamento ed indice di polarizzazione

Il controllo periodico o continuativo dello stato dell'isolamento dell'avvolgimento statore è determinante per il buon esercizio e la vita della macchina. Una delle prove tradizionali e ricorrenti si misura

la resistenza di isolamento, che si esegue applicando una tensione in continua tra l'avvolgimento e terra misurando la corrente che fluisce nel circuito di misura, La corrente non ha però, valore costante nel tempo e, per tanto, si è stabilito convenzionalmente calcolare il cosiddetto indice di polarizzazione rapportando la resistenza misurata dopo 10 min a quella misurata dopo 1 minuto. Tale parametro è anche molto meno sensibile alla temperatura di quanto lo sia la resistenza d'isolamento vera e propria.

La corrente di prova, come detto precedentemente, non è dunque costante nel tempo ed è composta da quattro diverse componenti:

- capacitive
- di conduzione
- di dispersione superficiale
- di assorbimento

La corrente capacitiva è quella relativa al condensatore costituito dall'avvolgimento della macchina, dal nucleo magnetico e dall'isolante interposto e ha una costante di tempo di decadimento che dipende, oltre che dalla capacità di tale sistema, dalla resistenza interna del generatore di tensione utilizzato per la prova.

Il minuto preso a riferimento dalle norme è tale da assicurare che la corrente capacitiva risulti ininfluenza. La costante di conduzione è dovuta alla migrazione di elettroni/ioni attraverso il dielettrico, costituito dalla parete isolante. Il fenomeno ha luogo tipicamente se l'isolamento ha assorbito umidità.

I sistemi di isolamento termoplastici (quelli più "antichi") assorbono umidità e quindi la corrente di conduzione è sempre diversa da zero mentre i sistemi termoindurenti (quelli "moderni") non sono, tendenzialmente, "penetrabili" agli elettroni e agli ioni.

Un'altra ragione per la circolazione di corrente nei sistemi termoindurenti è la presenza di fessurazioni/vacuoli nell'isolamento e di agenti contaminanti.

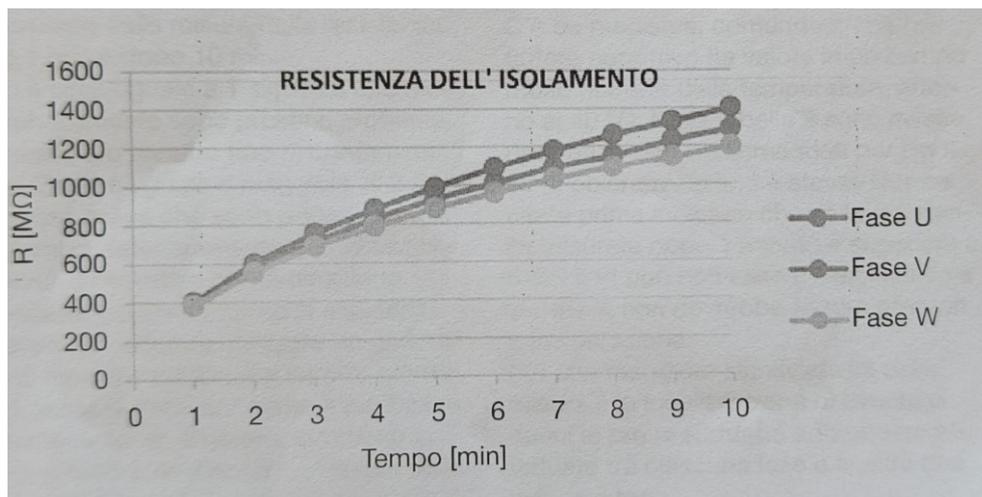
La caratteristica di questa corrente è di rimanere costante nel tempo. Altrettanto costante è la corrente che circola sulla superficie dell'isolamento (dispersione superficiale) a causa della

contaminazione, parzialmente conduttiva, provocata da olio o umidità misti a polvere o altre impurità. La corrente di assorbimento è, invece, dovuta alla corrente di polarizzazione che si esaurisce quando le molecole polari contenute nella barriera isolante (materiale organico) sottoposte al campo elettrico costante applicato durante la prova hanno terminato di allinearsi.

L'orientamento, infatti, avviene all'interno di un materiale viscoso e a prezzo di un certo attrito che utilizza l'energia fornita al mezzo dal generatore di tensione come corrente. La corrente di assorbimento dipende principalmente dalla struttura molecolare del materiale dielettrico ed è influenzata dalla temperatura.

Per la valutazione dello stato dell'isolamento, le correnti di interesse sono quella di conduzione e quella di dispersione superficiale, correnti che, se presenti, risultano costanti nel tempo. La corrente di assorbimento, se presente, è nulla dopo 10 min ma è diversa da zero dopo 1 min. La misura della sola resistenza di isolamento non dà però un'indicazione sempre o comunque univoca, poiché è fortemente influenzata dalla temperatura e, inoltre, il suo valore dipende dal tipo di materiale isolante e dal tipo di contaminazione. L'indice di polarizzazione è meno sensibile alla temperatura. dal momento che è ipotizzabile che la temperatura rimanga pressoché la stessa.

Se la misura risultante è circa uguale a 1 significa che molto probabilmente sono presenti problemi di umidità e/o un altro tipo di contaminazione. Se PI è uguale o maggiore di 2 l'esperienza indica che sono poco probabili problemi di deterioramento dell'isolamento dovuti a umidità e contaminazione. Per misurare correttamente la resistenza d'isolamento occorre utilizzare un generatore di tensione continua e un amperometro in grado di misurare correnti più basse del nano-Ampere. Esistono strumenti in grado di fornire direttamente il valore della resistenza.



Poiché la misura della I dipende fortemente dall'umidità, le norme suggeriscono di effettuare questa misura con l'avvolgimento a temperature superiore a quella corrispondente al "punto di rugiada". Se la temperatura è inferiore occorre riscaldare l'avvolgimento al fine di asciugare l'umidità che si è condensata sull'avvolgimento. Non è infatti possibile trovare un coefficiente correttivo che tenga conto con precisione dell'influenza dell'umidità. La tensione da applicare durante la prova deve essere commisurata a quella nominale della macchina per permettere di evidenziare eventuali difetti nell'isolamento senza però andare a sollecitare eccessivamente l'isolamento e pregiudicarne l'integrità. I valori di riferimento sono quelli previsti dalle Norme. I valori di riferimento, per la resistenza di isolamento con le tre fasi provate contemporaneamente, per 1 min e a temperatura pari a 40 °C sono i seguenti:

- per la maggior parte degli avvolgimenti realizzati prima del 1970 (normalmente di classe termica B) tensione nominale concatenata +1 (valore in mega ohm)
- per gli avvolgimenti realizzati a partire dagli anni '70 (normalmente isolamento di Classe F) ≥ 100 mega ohm

I precedenti valori devono essere moltiplicati per 5 nel caso di temperatura riferita a 20 °C invece di 40 °C. Per una maggiore significatività della misura e la localizzazione di eventuali danni le prove suddette andrebbero effettuate tra ciascuna fase e le altre due messe a terra.

MISURA DEL TAN DELTA E DELLA CAPACITÀ

L'applicazione di una tensione alternata tra rame e massa genera una corrente capacitiva teoricamente sfasata di 90° elettrici, in realtà esiste una componente resistiva in tale corrente, dovuta all'allineamento dei dipoli, contenuti nel materiale isolante, al campo che varia secondo la frequenza di prova.

L'allineamento dei dipoli e delle cariche, come già visto prima, richiede che venga fornita una certa energia dall'esterno. La presenza di impurità o di vacuoli nell'isolamento è responsabile dell'incremento di questa componente resistiva che viene quantizzata dal tan delta (angolo di perdita o fattore di dissipazione), ove delta rappresenta l'angolo di sfasamento della corrente reale rispetto a quella ideale capacitiva.

La misura, oltre a indicare la "qualità dell'isolamento", è un metodo indiretto per determinare se sono presenti scariche parziali.

L'esecuzione della misura a bassa tensione, in fase di manutenzione, permette di verificare il grado di pulizia e il contenuto di umidità, ad esempio. ed, in generale, la corretta manutenzione dell'isolamento A basse tensioni il fattore di potenza risulta indipendente dalla tensione.

Quando la tensione cresce si innescano scariche parziali in presenza di vacuoli ed il fattore di potenza aumenta.

È prassi applicare gradini di tensione del 20% fino a raggiungere la piena tensione nominale verso terra.

In corrispondenza del primo gradino, normalmente, ci si trova, al di sotto dell'innescò delle scariche parziali. Se la differenza tra il fattore di dissipazione calcolato alla tensione nominale e quello al 20% del valore nominale viene rapportato in percentuale al corrispondente valore misurato al valore di tensione nominale verso terra si ottiene il cosiddetto fattore di dissipazione Tip- Up.

Un parametro molto interessante da correlare con il fattore di dissipazione è la capacità. Anche per essa è importante la correlazione tra il valore misurato a tensione nominale e quello misurato al primo gradino di tensione, ovvero al 20% della tensione nominale.

La valutazione di entrambi i parametri è fondamentale per l'interpretazione dei fenomeni. Sia la degradazione termica sia la

contaminazione/presenza di umidità fanno crescere il fattore di dissipazione al primo gradino, la capacità dell'avvolgimento diminuisce mentre in caso di contaminazione/presenza di umidità tale capacità aumenta. Ciò è facilmente comprensibile pensando che la costante dielettrica relativa di un materiale generico è circa 304, mentre per l'acqua è circa 80 e 1 per l'aria e i gas.

Per una buona sorveglianza, fattore di dissipazione e capacità misurati al primo gradino di tensione, vanno valutati come trend. Per la misura della capacità è raccomandato uno strumento di elevata precisione poiché una diminuzione dell' 1% della capacità corrisponde ad un degrado termico severo dell'isolamento.

Questo si spiega con il fatto che solo una parte molto piccola dell'isolante solido si trasforma in gas.

In caso di umidità (vale in particolare per i sistemi di isolamento più vecchi) o contaminazione, la capacità, come detto, tende a crescere. Oltre all'aumento della costante dielettrica si può avere un aumento della superficie dell'ipotetico condensatore rappresentato dall'avvolgimento e dal ferro, se il fenomeno di umidità/contaminazione si estende alle testate dell'avvolgimento.

Un avvolgimento molto contaminato può avere nel tempo una crescita della capacità superiore al 10%.

Per quanto detto in precedenza il fattore di dissipazione Tip-Up è un indicatore dell'attività delle scariche parziali nell'isolamento.

Tale parametro è maggiormente sensibile alle scariche parziali prodotte dalla delaminazione o dai cicli di carico, ma non è sensibile agli allentamenti delle barre in cava ai danni della vernice semiconduttiva o alle scariche. Anche la capacità Tip-Up ha un significato molto simile al fattore di dissipazione Tip-Up poiché quando ha luogo una scarica parziale lo spessore del condensatore avvolgimento-terra diminuisce e quindi la capacità aumenta.

I valori di questi parametri per macchine uscite di fabbrica sono poco significativi poiché, come detto, quello che più conta è il loro andamento nel tempo.

In ogni caso si può dire che il valore del fattore di dissipazione al gradino di tensione del 20% per un sistema di isolamento integro a

base di mica e resina epossidica/poliestere è pari a inferiore all'1.5%, mentre il fattore di dissipazione Tip-Up è circa 11%.

Per la capacità non esistono dei criteri di accettabilità altrettanto definiti, ma per gli statori ad impregnazione globale nuove la sua misura consente di stabilire se l'impregnazione è avvenuta completamente e correttamente

SCARICHE PARZIALI

La scarica parziale è una scarica elettrica che interessa solo una parte del dielettrico esistente fra due conduttori (Norme CEJ 42-3, Fascicolo 703). Essa può prodursi nei vuoli di un isolamento solido, in bolle gassose nei liquidi isolanti, ovvero fra strati dielettrici di caratteristiche diverse. La scarica può anche verificarsi in corrispondenza di punte o spigoli acuti di superfici metalliche. Generalmente la scarica parziale si sviluppa con un meccanismo tale da non pregiudicare la tenuta di un componente in una normale procedura di prova in alta tensione ma, benché metta in gioco piccole quantità di energia, risulta tale da causarne un lento e progressivo deterioramento del dielettrico che può condurre alla rottura definitiva dell'oggetto alla tensione nominale di esercizio

Si possono distinguere tre differenti tipi di scariche parziali

- scariche interne
- scariche superficiali
- scariche "corona"

Le scariche interne costituiscono nella maggior parte dei casi la causa principale di riduzione della durata di vita di un componente. La loro origine è da ricercarsi nella presenza nel dielettrico solido di vuoli, all'interno del qual vengono a trovarsi aria o gas.

Tali inclusioni gassose possono formarsi durante i processi di lavorazione del prodotto a svilupparsi, come detto, a seguito di stress meccanici, elettrici o a particolari cicli termici imposti al macchinario.

Le scariche superficiali si possono manifestare lungo le interfacce tra dielettrici differenti se esiste una elevata componente del campo parallela alla superficie.

Una volta prodotta la scarica, la variazione di distribuzione del campo elettrico porta alla propagazione della scarica in zone diverse da quella iniziale. Le scariche possono così provocare il deterioramento e il tracciamento della superficie del dielettrico e condurre alla scarica completa-

Le scariche "corona" si manifestano in corrispondenza di "punte" e, generalmente, in campi fortemente divergenti. L'effetto corona in aria genera ozono che, interagendo con l'isolamento polimerico produce azoto, il quale a sua volta, combinandosi con il vapore acqueo, può corrodere le superfici metalliche dei conduttori, formando così un deposito conduttivo che, per tracciamento, porta alla scarica completa.

In un sistema costituito da due elettrodi tra i quali è interposto un isolante gassoso, un elettrone libero in prossimità del catodo, sotto l'azione del campo elettrico applicato, si muove in direzione dell'anodo. Nel suo tragitto l'elettrone in questione può entrare in collisione con una molecola neutra del gas e, se il tutto avviene con energia sufficiente, può produrne l'estrazione di un nuovo elettrone che a sua volta può contribuire alla ionizzazione di altre molecole e a formare così una vera e propria valanga di elettronica che si muovono in direzione dell'anodo.

Gli ioni positivi formati nel tratto tra gli elettrodi, muovendosi più lentamente rispetto alla valanga elettronica in direzione del catodo, possono, per urto con l'elettrodo, dare luogo al rilascio di ulteriori elettroni che possono partecipare all'autosostentamento della valanga.

La tensione corrispondente al campo elettrico che applicato a questa sorta di "condensatore" dà avvio al fenomeno detto "tensione di innesco".

Infatti, come noto, la rigidità dielettrica degli isolamenti in gas dipende dalla pressione e dall'umidità. Ad esempio, a parità di altre condizioni al contorno, la rigidità dell'aria e dell'idrogeno sono circa uguali, ma se l'idrogeno viene esercitato a 3 atmosfere la sua rigidità diventa tre volte quella dell'aria a pressione atmosferica. A seguito

dell'innescò, ha luogo una serie di scariche che coprono un ampio campo di frequenze che va dalla corrente continua fino al GHz.

Da rilevare che le scariche parziali hanno luogo generalmente per macchine a tensioni superiori ai 5 kV, anche se si segnalano scariche parziali in macchine con tensione nominale di 4 kV. A mano a mano che l'isolamento si degrada, il numero e l'ampiezza delle scariche parziali aumenta. Il fenomeno delle scariche parziali come già detto, va generalmente interpretato come trend, anche se alcuni costruttori lo prendono a riferimento per la qualità dell'isolamento ed eseguono la prova in stabilimento.

A comprova di quanto detto si segnalano anche casi di macchine, in passato, con elevate scariche parziali all'origine, regolarmente in servizio dopo molti anni. Questa misura iniziale ha, comunque, una certa importanza in vista delle successive valutazioni del trend e costituisce il riferimento al tempo zero, sempre che le successive condizioni di misura siano confrontabili.

Una piccola digressione mentano le scariche in corrente continua che, a seguito del crescente impiego della trasmissione hanno mostrato gli effetti nocivi prodotti dalle cariche spaziali, le inversioni di polarità, le variazioni di temperatura e la posizione dei difetti nel dielettrico.

Tornando alle scariche in alternata, mentre in misure illustrate in precedenza danno un'indicazione generale dello stato dell'isolamento e anche dell'attività complessiva delle scariche parziali, una misura mirata permette la localizzazione delle zone affette da degrado, grazie all'analisi della polarità, prima di tutto, e poi con eventuali misure locali. Inoltre, va segnalato che, mentre le misure di resistenza d'isolamento, possono essere realizzate esclusivamente off-line, la misura delle scariche parziali può essere effettuata, a seconda dei casi, sia con macchina in servizio sia a macchina ferma.

Ovviamente, nei due casi le modalità di esecuzione sono diverse e le informazioni che si possono dedurre anche. Una limitazione delle misure off- line, ad esempio, è rappresentata dalla necessità di un generatore, nel circuito di misura, esente da scariche parziali e di potenza sufficiente per energizzare la macchina. Nel caso di misure "on line" le misure possono essere inficiate da disturbi ("rumore") provenienti dalla rete, se non si prendono opportuni accorgimenti.

Sedi tipiche di scariche parziali, nelle macchine rotanti di media-grande potenza sono

- tra l'isolamento di spira o di piattina e l'isolamento contromassa, principalmente a causa dei cicli termici (carico)
- all'interno dell'isolamento contromassa a causa della delaminazione termica (alte temperature) o per cattiva impregnazione durante la fabbricazione,
- tra il rivestimento semiconduttivo e nucleo magnetico in cava a causa di eventuale cattivo contatto tra rivestimento semiconduttivo cava o presenza di bobine lasche
- scariche in testata tra terminali fasi differenti

PD "on-line"	PD "off-line"
Avvolgimento sollecitato meccanicamente con possibilità di valutare l'influenza delle variazioni di carico sui risultati	Avvolgimento non sollecitato da vibrazioni meccaniche legate al carico
Avvolgimento alla temperatura di funzionamento	Avvolgimento a temperatura ambiente
Isolamento lato centro stella sollecitato come in esercizio	Si sollecita anche l'isolamento lato centro stella che in esercizio non è sollecitato elettricamente
Sollecitazioni fase-fase normali	Sollecitazioni fase-fase diverse da quelle reali
Gas di raffreddamento nelle condizioni operative normali	Gas di raffreddamento in condizioni diverse da quelle reali di funzionamento
Misure eseguibili in ogni momento	Misure eseguibili solo in fermata con smontaggio connessioni

Ogni scarica parziale genera segnali trasmessi per vie differenti: conduzione, accoppiamento capacitivo/induttivo e radiazione. Il fenomeno, comunque, maggiormente sfruttato è la nascita di transitori elettrici nel circuito di misura in seguito ad una scarica parziale. La trasformata di Fourier di un impulso di corrente o di tensione prodotto genera frequenze fino al GHz, come detto. Le componenti ad alta frequenza viaggiano verso i terminali attraverso una via breve (per accoppiamento capacitivo) mentre in componenti a bassa frequenza percorrono tutto l'avvolgimento prima di arrivare ai terminali del generatore.

I segnali ad alta frequenza, di conseguenza, le attività localizzate in spire-barre lontane dai sensori possono essere riconosciute come scariche parziali.

Ciò nonostante, durante il funzionamento normale della macchina, solo le spire-barre funzionanti a tensione elevata (ovvero quella vicine alla linea e agli accoppiatori) sviluppano un'attività di scarica significativa e così il problema non è realmente un grande handicap.

Il modo più comune di misurare le scariche parziali è usare come accoppiatori dei condensatori ad alta tensione, esenti essi stessi da

scariche, connessi al terminal di linea poiché il condensatore d'accoppiamento è connesso in parallelo tra avvolgimento e terra, costituisce un filtro che permette la trasmissione degli impulsi ad alta frequenza mentre blocca i segnali a basse frequenze.

La misura può essere effettuata durante il normale funzionamento della macchina, periodicamente o in modo continuo. Di particolare importanza per l'identificazione della zona sede di attività di scarica sono le varie elaborazioni dei segnali. Le grandezze fondamentali rilevate, oltre alla tensione di innesco e di disinnesco, sono:

- l'ampiezza di scarica (valore di picco del singolo impulso di scarica)
- l'angolo di fase (fase, in gradi, del ciclo della tensione di prova in corrispondenza della quale avviene la scarica)

Dalle quantità base possono poi essere dedotte delle grandezze secondarie, che per semplicità, possono essere divise in tre gruppi distinti, a seconda che esse siano analizzate in funzione del tempo, in funzione dell'ampiezza di scarica oppure dell'angolo di fase.

Il primo gruppo di grandezze consiste di quantità che possono essere valutate nel tempo sia nella semionda positiva che nella semionda negativa della tensione di alimentazione

Si possono pertanto determinare, per esempio

- l'energia dissipata in funzione del tempo
- numero delle scariche in funzione del tempo
- la corrente media di scarica in funzione del tempo
- l'ampiezza massima di scarica in funzione del tempo
- l'ampiezza media di scarica in funzione del tempo.

Il secondo gruppo di quantità dedotte è costituito dallo spettro degli impulsi di scarica, ossia la distribuzione del numero delle scariche manifestatesi in funzione dell'ampiezza di scarica e la distribuzione in funzione dell'energia dissipata.

Il terzo gruppo comprende quantità espresse in funzione dell'angolo di fase che, pertanto, potrebbero essere rappresentative della ripetitività del fenomeno di scarica parziale e delle condizioni di innesco della scarica. Il ciclo della tensione di prova viene suddiviso in un numero prefissato di finestre temporali, ognuna corrispondente ad un ben determinato intervallo di fase; in ognuna di queste finestre viene poi fatta una valutazione statistica dei singoli eventi di scarica. Ne risultano le seguenti distribuzioni:

- distribuzione del numero di impulsi in funzione dell'angolo che rappresenta il numero di scariche parziali osservate in ogni finestra temporale in funzione dell'angolo di fase,
- distribuzione dell'ampiezza massima di scarica che descrive il valore massimo di scarica osservato in ognuna delle finestre temporali, funzione dell'angolo di fase,
- la distribuzione dell'ampiezza media degli impulsi di scarica che può essere ottenuta dalla media aritmetica delle ampiezze di scarica rilevate in ciascuna delle finestre temporali

Vengono costruiti due tipi di grafico.

Uno è un diagramma che riporta il numero di scariche parziali per secondo in funzione dell'ampiezza degli impulsi. Il confronto tra attività positiva e negativa indica se l'attività è all'interno dell'isolamento oppure in superficie. Un secondo grafico tridimensionale identifica la posizione angolare, riferite a 50/60 Hz.

Nelle misure off-line tutto l'avvolgimento è energizzato alla stessa tensione e le scariche parziali possono così originarsi in qualsiasi punto lungo l'avvolgimento, anche vicino al neutro che durante il funzionamento lavora a tensioni prossime allo zero. È buona pratica energizzare, se possibile, in questo caso, ciascuna fase, con le altre messe a terra, dalla parte opposta a dove sono posizionati condensatori. Inoltre è consigliabile raddoppiare le misure invertendo, per ciascuna fase, le due estremità.

Dato che durante un test off-line il rumore non è significativo e alle basse frequenze l'impedenza induttiva dell'avvolgimento è bassa allora è meglio eseguire un test alle basse frequenze per migliorare la sensibilità delle finestre del sistema alle scariche.

Recentemente il nuovo standard IEC 60034-27 richiede un test a bassa frequenza con un taglio delle frequenze sotto i 100 kHz per le misure off-line. Esistono strumenti che permettono di eseguire la misura con banda passante nel range tra 50 kHz e 5 MHz, quindi in accordo con lo standard IEC.

Per una migliore localizzazione delle scariche parziali, possono anche essere utilizzate delle sonde a radio frequenze con significativi risultati mediante lo scanner di ogni cava. Da tale rilievo è possibile analizzare singolarmente ogni singola cava e quindi identificare le cave oggetto di maggiore attività attraverso misure con sonda ad ultrasuoni o Corona Scope.

Particolarmente utili possono essere anche le misure della resistenza di contatto tra la vernice semiconduttrice e il nucleo eseguite in corrispondenza dei canali di ventilazione.

Tipo di scarica	Posizione delle PD rispetto al periodo	Asimmetria tra la distribuzione delle scariche negative e positive	Dipendenza dal carico	Dipendenza dalla temperatura
Scariche interne al contromassa (delaminazione)	45° e 225°	Nessuna prevalenza polarità	No	Diminuzione con l'aumento della temperatura
Scariche in cava (Avvolgimenti allentati)	Prevalenza 225°	Maggiori ampiezze durante il ciclo di tensione negativo (polarità positiva)	Crescita con il carico	Diminuzione con l'aumento della temperatura
Distacco tra isolamento di spira e conduttori di rame (cicli carico/termici)	Prevalenza 45°	Maggiori ampiezze durante il ciclo di tensione positiva (polarità negativa)	Piccola	Riduzione con la crescita della temperatura
Scariche tra due fasi in testata	15°, 75°, 195° e 225°	Nessuna prevalenza Polarità	No	Non prevedibile
Contatto tra il rivestimento semiconduttivo	Prevalenza 225° se severamente degradato può spostarsi a 0°, 180°	Maggiori ampiezze durante il ciclo di tensione negativo (polarità positiva)	No	Crescita con la crescita della temperatura

(PD= scarica parziale)

Principi costruttivi dei trasformatori

Il trasformatore è nato come avvolgimenti di filo conduttore (solenoidi) avvolti su un anello di materiale ferromagnetico detto nucleo magnetico. L'avvolgimento al quale viene fornita energia viene detto *primario*, mentre quello dal quale l'energia è prelevata è detto *secondario*. I trasformatori sono macchine reversibili, per cui l'avvolgimento primario potrebbe essere anche visto come secondario e viceversa. Quando sul primario viene applicata una tensione elettrica alternata sinusoidale, per effetto dell'induzione magnetica si crea nel nucleo un flusso magnetico con andamento sinusoidale. Per la legge di Faraday-Neumann-Lenz, questo flusso variabile induce nel secondario una tensione sinusoidale.

La tensione prodotta nel secondario è proporzionale al rapporto tra il numero di spire del primario e quelle del secondario. Ogni trasformatore è caratterizzato da alcuni dati nominali. Questi servono a denominare la macchina ed a definirne le prestazioni agli effetti delle garanzie e del collaudo nonché, evidentemente, del servizio.

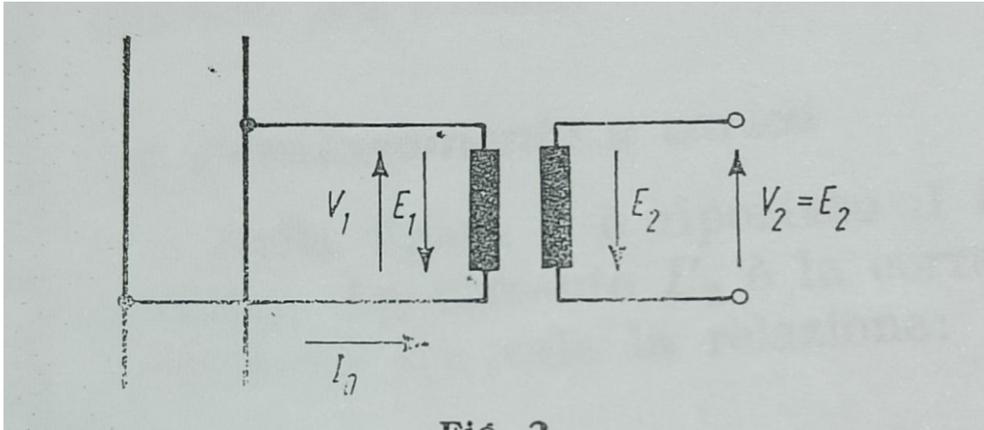
Sono dati nominali:

- la frequenza;
- le tensioni e le correnti riferite alle prese principali dei singoli avvolgimenti;
- le potenze (apparenti) di ciascuno degli avvolgimenti;
- le corrispondenti condizioni di regime;
- le caratteristiche di isolamento.

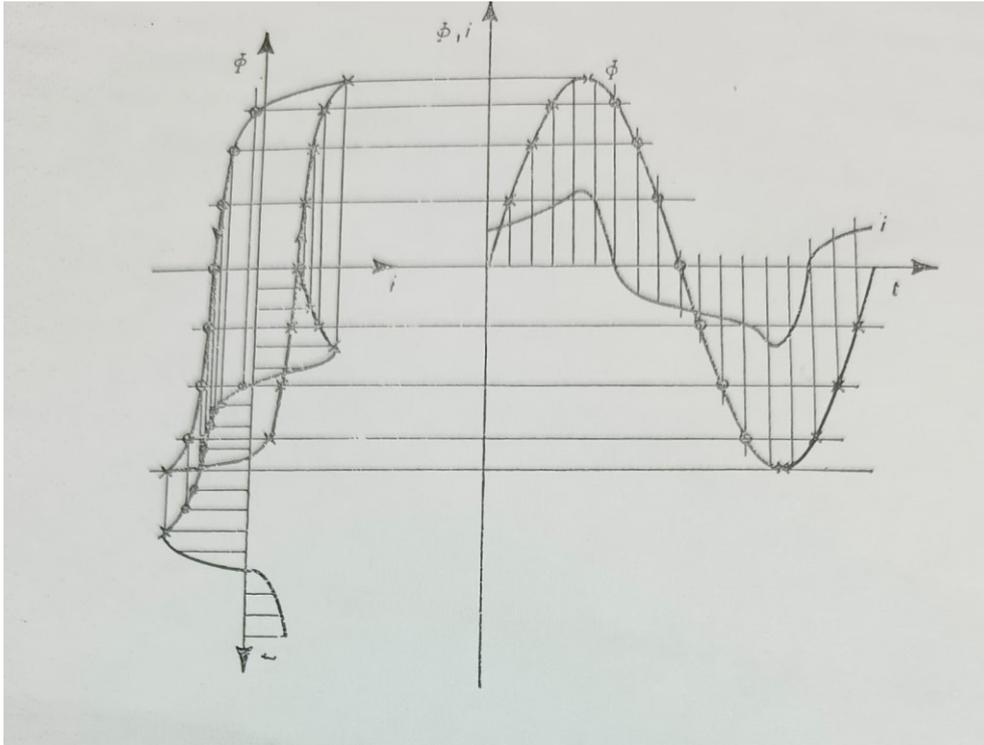
I dati di tensione, corrente e potenza nominale non sono tutti indipendenti tra di loro, ed è perciò sufficiente l'indicazione di due soli di essi.

Funzionamento a vuoto

Nel funzionamento a vuoto il circuito secondario, aperto, non è percorso da corrente alcuna; nel nucleo, a regime, ha sede il flusso necessario alla produzione della forza controelettromotrice primaria che equilibra la tensione applicata.



Se la tensione di alimentazione è sinusoidale, la corrente a vuoto non lo può essere, in ragione della non linearità della relazione tra forza magnetomotrice a flusso; un procedimento per ricavare la forma dell'onda della corrente magnetizzante dal ciclo di isteresi del materiale. All'onda di corrente magnetizzante così ricavata va sommata, per ottenere la corrente a vuoto, un'onda sinusoidale corrispondente alla forza magnetomotrice assorbita dai trasferri del nucleo, il comportamento dei quali è lineare con l'induzione. La corrente a vuoto così ricavata comprende anche la componente attiva corrispondente alle perdite, e può essere scomposta in armoniche con uno sviluppo in serie di Fourier. In ragione della dissimmetria intorno agli zeri dell'onda, resta esclusa la presenza di armoniche di ordine pari; nella figura 5 è data, in funzione dell'induzione, la composizione tipica dell'onda di corrente in condizioni di magnetizzazione sinusoidale libera per un moderno lamierino a cristalli orientati.



Risulta evidente, in base a queste considerazioni, che il riportare la corrente a vuoto di un trasformatore e le sue componenti attiva e magnetizzante in un diagramma vettoriale non è a rigore corretto, poiché il diagramma presuppone che le grandezze siano sinusoidali; in particolare, è del tutto convenzionale il significato dell'angolo di sfasamento tra le tensioni e la corrente a vuoto, angolo che viene definito dal suo coseno, inteso come rapporto tra potenza attiva e potenza apparente assorbita. L'impedenza del circuito di alimentazione del trasformatore (crescente con il crescere del grado di armonicità, poiché si tratta di impedenza induttiva) nei confronti delle armoniche della corrente a vuoto ne riduce la incidenza nella corrente stessa; ciò porta ad una alterazione, più o meno grande, nella forma d'onda del flusso e perciò nella forma delle tensioni indotte.

Funzionamento a carico

La composizione della corrente con la corrente a vuoto dà luogo alla corrente primaria. Il diagramma si riferisce al circuito nel quale sono considerate separatamente le impedenze primaria e secondaria, sulla base dei rispettivi valori delle resistenze e delle reattanze.

Le Norme CEI 14-4 definiscono all'articolo 1.2.18 ossia le perdite dovute al carico (dette anche perdite di corto circuito) come la potenza attiva assorbita dal trasformatore per ogni coppia di avvolgimenti, alla temperatura di riferimento, nelle condizioni

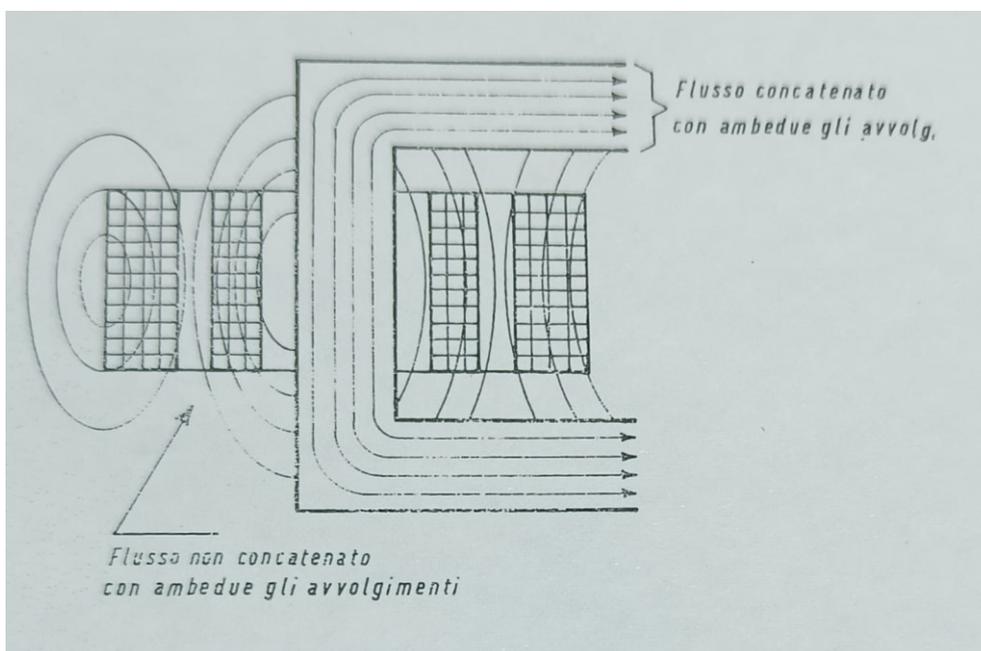
nominali di frequenza e di corrente (o comunque nelle condizioni convenute per il collaudo) con l'avvolgimento non alimentato messo in corto circuito e con i restanti avvolgimenti (ove esistono) aperti ai loro terminali di linea.

Ancora, l'articolo 1.2.19 definisce la tensione di corto circuito come la tensione, a frequenza nominale, che si deve applicare ad un avvolgimento perché nell'altro, posto in corto circuito ai suoi morsetti terminali, si stabilisca la corrente (nominale), gli eventuali avvolgimenti non facenti parte della coppia considerata essendo aperti ai loro terminali di linea.

Dalla prova di corto circuito si ricava che la tensione di corto circuito si scompone nelle due componenti: attiva (in fase con la corrente) e reattiva (in quadratura con la corrente);

La componente attiva è data non soltanto dalle resistenze ohmiche (misurate in corrente continua, riportate ad un avvolgimento ed espresse in percento) dei due avvolgimenti, ma invece anche da ogni e qualsiasi perdita, tanto nei materiali attivi quanto nelle strutture del trasformatore, riconducibile alla presenza della corrente di carico.

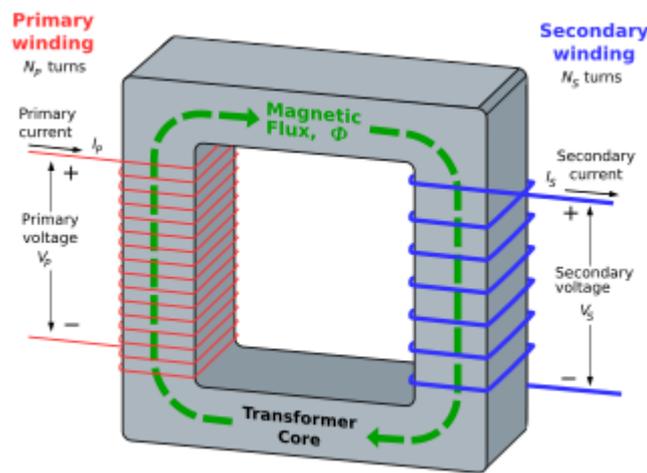
La componente reattiva è invece dovuta al cosiddetto flusso di dispersione, ovvero a quella parte del flusso che, concatenato con un avvolgimento, non si concatena con l'altro, in ragione della necessaria separazione fisica tra i due; in pratica, il flusso di dispersione è quella parte del flusso che si sviluppa al di fuori dei lamierini del nucleo.



Tecnologia

La tecnologia del trasformatore è fondata su tre principi:

- una corrente elettrica variabile produce un campo magnetico variabile da cui un flusso variabile;
- un flusso variabile nel tempo induce all'interno di un conduttore elettrico una tensione, a sua volta variabile nel tempo, ai suoi capi. Variando la corrente nell'avvolgimento primario varia il campo magnetico sviluppato.
- Il flusso magnetico induce una tensione nell'avvolgimento secondario.



La corrente passando attraverso l'avvolgimento primario crea un campo magnetico. Gli avvolgimenti primario e secondario sono avvolti attorno a un nucleo magnetico di elevata permeabilità magnetica come il ferro, cosicché la massima parte del flusso passi sia attraverso l'avvolgimento primario sia nel secondario.

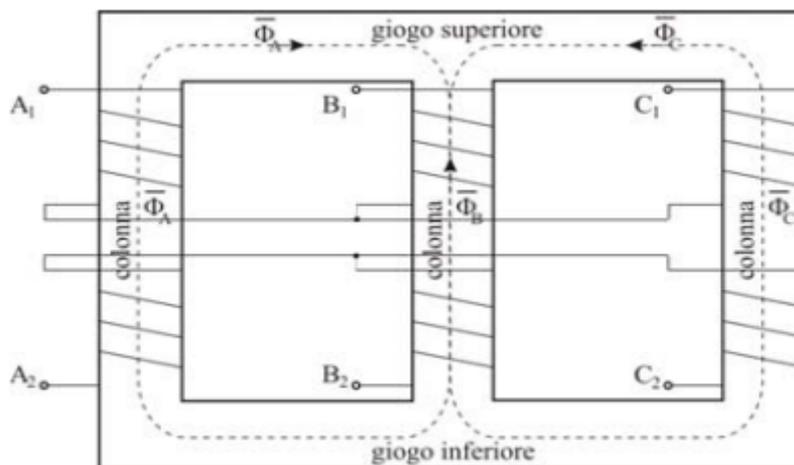
La descrizione semplificata succitata trascurava parecchi fattori pratici, in particolare la corrente primaria necessaria per costituire un campo magnetico nel nucleo, e la contribuzione al campo causata dalla corrente nel circuito secondario.

I modelli di un trasformatore ideale normalmente assumono un nucleo di riluttanza magnetica trascurabile con avvolgimenti di resistenza elettrica zero. La corrente necessaria per originare il flusso è chiamata corrente di magnetizzazione; dato che si assume che il nucleo abbia riluttanza zero, la corrente di magnetizzazione è trascurabile, tuttavia ancora necessaria per creare il campo magnetico.

Il campo magnetico variabile induce una FEM (forza elettromotrice) da un capo all'altro di ciascun avvolgimento. La FEM primaria, agendo come fa in opposizione alla tensione del primario, è talvolta chiamata forza controelettromotrice. Ciò è dovuto alla legge di Lenz che stabilisce che l'induzione di una FEM sia sempre tale da opporsi alla variazione del campo magnetico che l'ha indotta.

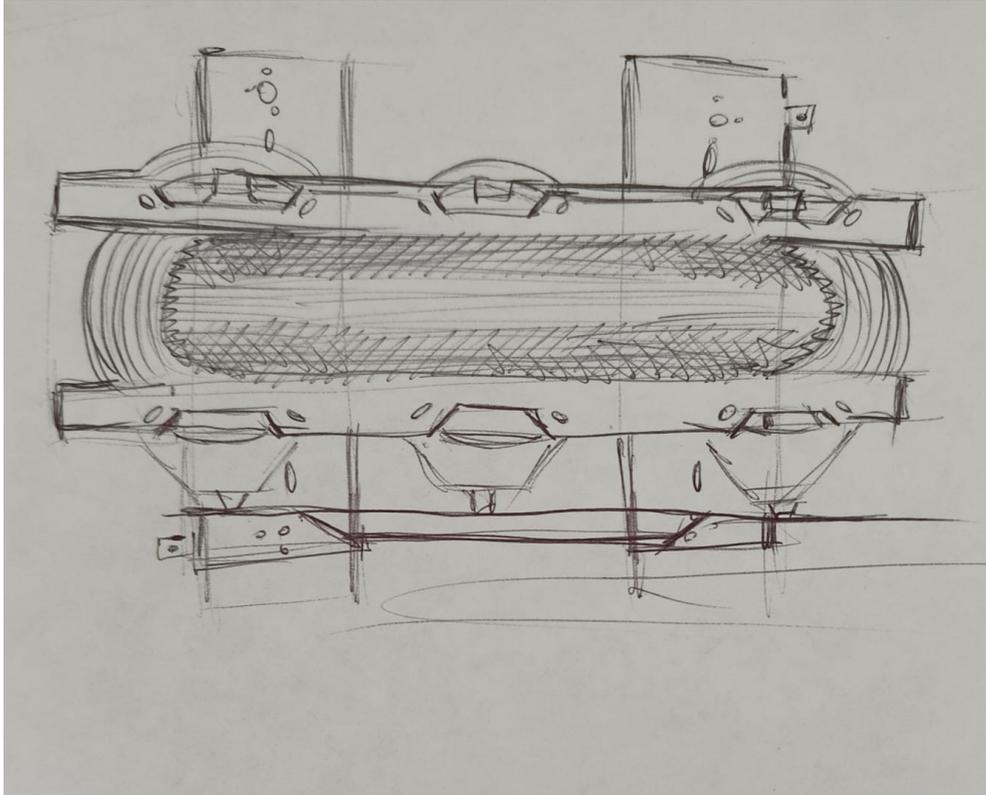
Composizione di un trasformatore trifase

Nucleo:



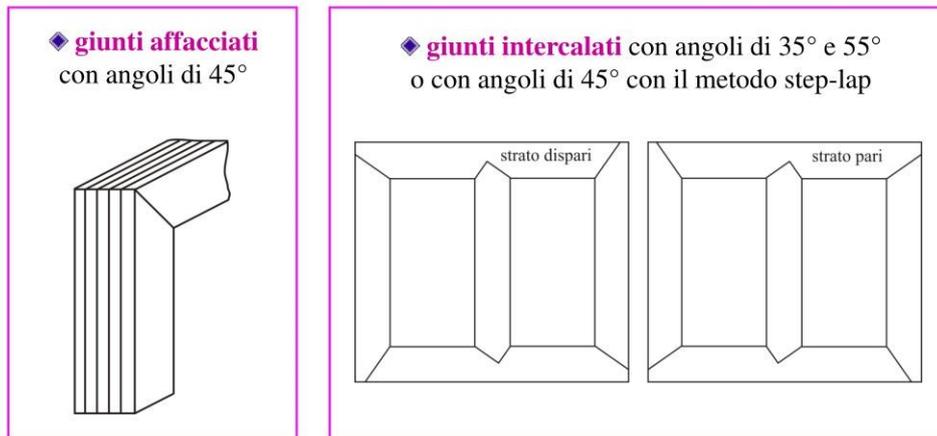
Il nucleo magnetico più comune per i trasformatori trifase è a tre colonne: su ogni colonna vengono montati l'avvolgimento di bassa tensione e quello di alta tensione di una fase. Se le tensioni di alimentazione costituiscono una terna simmetrica, anche i flussi magnetici nelle colonne prodotti da ciascuna fase formano una terna simmetrica: sono variabili sinusoidalmente nel tempo, hanno lo stesso valore massimo e sono sfasati tra loro di 120° (la somma vettoriale dei tre flussi è sempre nulla). Se colonne e gioghi hanno tutti la stessa sezione, l'andamento dell'induzione magnetica sarà lo stesso in tutti i tratti del nucleo. Nei trasformatori trifase a tre colonne i flussi nelle tre colonne devono avere uguale il valore massimo. Tuttavia, mentre il percorso magnetico del flusso Φ_B è costituito dalla sola colonna centrale, il percorso magnetico dei flussi Φ_A e Φ_C comprende anche metà di ciascun giogo. Pertanto, la riluttanza del nucleo magnetico percorso dal flusso Φ_B sarà inferiore a quella dei nuclei percorsi dai flussi Φ_A e Φ_C e quindi sarà inferiore la corrente magnetizzante relativa alla colonna centrale. Tuttavia, questo squilibrio di correnti si manifesta solo nel funzionamento a vuoto,

poiché nel funzionamento a carico le correnti magnetizzanti risultano trascurabili rispetto alle correnti primarie, e queste risultano equilibrate (o meno) a seconda che sia equilibrato (o squilibrato) il carico sulle tre fasi secondarie.



Giunti del nucleo:

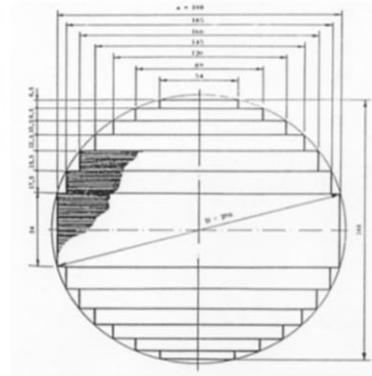
I trasformatori trifase sono prevalentemente realizzati con lamierini a cristalli orientati; per fare in modo che le linee di forza dell'induzione magnetica si sviluppino il più possibile nella direzione di laminazione è opportuno suddividere in più pezzi i lamierini, sono da evitare i gioghi a 90°, perché aumenterebbero le perdite nel ferro, perciò si possono avere:



Colonne del nucleo:

Le colonne sono ottenute tramite sovrapposizione di lamierini, si cerca quindi di approssimare una circonferenza attraverso una struttura a gradini, tale costruzione del nucleo deve prevedere la presenza di canali di raffreddamento per la circolazione del fluido refrigerante, distanziando opportunamente i pacchi di lamierini; Il problema però consiste nel massimizzare la sezione della colonna, una volta fissato il numero di gradini e il diametro del cerchio circoscritto

Colonne del nucleo



3

Avvolgimenti:

Gli avvolgimenti sono costituiti da bobine solenoidali intere con altezza pari a quella di colonna, in genere a più strati coassiali in senso radiale, specie per il lato “alta tensione”, o da bobine parziali a più strati, coassiali e sovrapposte in senso assiale con eventuali canali di raffreddamento. Sono realizzati a filo tondo o a piattina, anche con più fili o con più piattine in parallelo. Su ciascuna colonna del circuito magnetico è avvolta la bobina del primario e quella del secondario; in genere l'avvolgimento a bassa tensione è quello più interno, cioè più vicino alla colonna, per ridurre i problemi di isolamento degli avvolgimenti verso massa. La bobina primaria e quella secondaria della generica fase sono magneticamente accoppiate e concatenano lo stesso flusso. Si assume che non vi sia accoppiamento magnetico tra le diverse fasi.



In particolare, nei trasformatori trifase in resina l'avvolgimento in bassa tensione è realizzato con un unico nastro di alluminio di altezza identica all'avvolgimento in alta tensione. L'avvolgimento è normalmente realizzato in nastro di alluminio perché il suo coefficiente di dilatazione termica è molto simile a quello della resina, per cui, al variare della temperatura della macchina, le tensioni meccaniche che si generano sono molto limitate.

LV windings (LV = Low Voltage)



L'avvolgimento in AT è a bobine separate: in questo modo sono ridotti al minimo i gradienti di tensione interni, con scarsa possibilità di innesco di scariche parziali. La particolarità costruttiva di avere la AT in più nastri di alluminio e la BT in un foglio di alluminio diminuisce gli sforzi assiali in un eventuale cortocircuito.

HV windings (HV = High Voltage)



Il numero di spire equivale al numero di “giri” di lamina attorno alla colonna (ogni spira, che occupa che tutta l'altezza dell'avvolgimento, è un “giro” attorno alla colonna). Nell'avvolgimento in alta tensione il numero di spire totali viene equamente suddiviso nei vari dischi (es. 1000 spire totali, 10 dischi, ogni disco avrà 100 spire): il primo disco avrà un inizio, che equivale all'inizio dell'intero avvolgimento, e una fine, che viene collegata con saldatura al principio del secondo disco e così via (quindi i dischi sono tutti in serie tra loro).

Raffreddamento del trasformatore

Il raffreddamento dei trasformatori è necessario per asportare il calore prodotto a causa delle perdite di potenza (negli avvolgimenti e nel ferro), al fine di evitare che la temperatura della macchina superi il valore ammissibile legato alla classe termica di isolamento. Riguardo il tipo di fluido refrigerante utilizzato per raffreddare direttamente gli avvolgimenti e il nucleo (parti attive), la normativa CEI 14-4/2 distingue i trasformatori in:

- a secco, in cui fluido refrigerante è l'aria (es. trasformatori inglobati in resina);
- immersi in liquido isolante, in cui parti attive ossia nucleo e avvolgimenti, sono immerse in liquido isolante (es. olio minerale), contenuto in un cassone e avente la duplice

funzione di isolante e fluido refrigerante. In questo caso, vi è la circolazione del liquido isolante all'interno del cassone e di un altro fluido refrigerante (aria o acqua) all'esterno.

A seconda del tipo di circolazione dei fluidi refrigeranti, si possono avere vari modi di raffreddamento, identificati con le opportune sigle. Alcuni esempi sono:

- AN (Air Natural): trasformatori a secco (in aria o in resina) con circolazione naturale dell'aria, attraverso moti convettivi naturali (potenze fino a qualche MVA);
- AF (Air Forced): la circolazione dell'aria avviene tramite ventole, che aumentano l'efficacia del raffreddamento (in caso di guasto al sistema di raffreddamento, si ha però un rapido surriscaldamento della macchina);
- AFWF: trasformatori in aria o in resina raffreddati con una combinazione di aria forzata e acqua forzata
- ONAN (Oil Natural Air Natural), la circolazione dell'olio all'interno del cassone e dell'aria all'esterno avvengono per moti convettivi naturali dei due fluidi. Occorre che la superficie di scambio termico (superficie del cassone) sia piuttosto estesa: si ottiene costruendo il cassone con fasci tubieri esterni (radiatori) per il passaggio dell'olio
- ONAF (Oil Natural Air Forced): la circolazione dell'aria esterna è attivata tramite ventole (aerotermini).
- OFAF (Oil Forced Air Forced) e ODAF: la circolazione dell'olio all'interno del cassone avviene tramite pompe, quella dell'aria all'esterno tramite ventole. All'esterno del cassone sono presenti dei veri e propri scambiatori di calore olio-aria
- OFWF (Oil Forced Water Forced) e ODWF: è il metodo di raffreddamento più energetico, utilizzato generalmente per trasformatori di elevata potenza. Sono presenti scambiatori di calore olio-acqua e la circolazione dei due fluidi è attivata mediante pompe. La pressione dell'olio deve essere più elevata di quella dell'acqua, in modo che, in caso di guasto, sia l'olio a uscire e non l'acqua a entrare (ricordiamo che basta una piccola percentuale di acqua per compromettere la

tenuta isolante dell'olio). Questo tipo di trasformatore non presenta elementi per la dissipazione, quali i radiatori; quindi, offre il vantaggio di una struttura compatta, riducendo non solo le dimensioni di ingombro, ma anche i pesi. Il cassone è dotato di uno (o più) scambiatori di calore olio-acqua, a piastra oppure a fascio tubiero. Lo scambiatore, collegato ad un circuito idraulico per il ricircolo dell'acqua di raffreddamento, garantisce che l'olio contenuto all'interno della cassa sia mantenuto ad una temperatura ideale per il corretto funzionamento della macchina. Lo scambiatore è dotato anche di una pompa che permette la circolazione dell'olio in maniera forzata

Tabella riassuntiva delle classi di raffreddamento:

1ª lettera	2ª lettera	3ª lettera	4ª lettera
Mezzo refrigerante a contatto con gli avvolgimenti		Mezzo refrigerante a contatto con il sistema esterno di raffreddamento	
Natura del mezzo	Tipo di circolazione	Natura del mezzo	Tipo di circolazione

<i>Natura del mezzo refrigerante</i>		<i>simbolo</i>
Olio isolante (infiammabile)		O
Liquido isolante non infiammabile		L
Gas		G
Acqua		W
Aria		A
<i>Tipo di circolazione</i>		
Naturale		N
Forzata non guidata		F
Forzata e guidata		D

<i>esempi</i>	
ONAN	Trasformatore in olio con circolazione naturale dell'olio e dell'aria
ONAF	Trasformatore in olio con circolazione naturale dell'olio e forzata dell'aria
AN	Trasformatore a secco con raffreddamento naturale dell'aria
ANAF	Trasformatore a secco con raffreddamento naturale dell'aria all'interno e forzata all'esterno

I trasformatori in resina, usando l'aria come mezzo di raffreddamento ed impiegando più tempo a raggiungere la temperatura di regime, risultano più sovraccaricabili rispetto a trasformatori in liquido isolante e quindi sono particolarmente adatti ad alimentare carichi con frequenti spunti di corrente

Vantaggi dei trasformatori in resina

I trasformatori in resina hanno delle caratteristiche costruttive tali da poter essere considerati adatti alla maggior parte delle installazioni. I vantaggi principali sono:

1) Riduzione dell'impatto ambientale

- Basso rischio d'incendio grazie all'utilizzo di una resina epossidica di elevata qualità, i trasformatori in resina riducono al minimo l'impatto ambientale e sono conformi alle norme ambientali internazionali IEC 60076-11. I trasformatori sono costruiti interamente con materiali ritardanti la fiamma ed autoestinguenti ed hanno quindi un'infiammabilità ridotta, possono funzionare in ambienti umidi, polverosi, salini o inquinati e offrono un'elevata resistenza agli shock termici (classificazione prove climatiche C2).

- Totale assenza di fluidi di raffreddamento, i trasformatori in resina non presentano rischi di inquinamento e riducono drasticamente il proprio contributo in caso d'incendio, rispetto a trasformatori in liquido isolante.

- Recupero dei materiali a fine vita, tale caratteristica si rivela particolarmente importante nel momento in cui è necessario smaltire la macchina che ha esaurito il proprio ciclo di vita lavorativo. Ai fini dello smaltimento, la resina è considerata materiale inerte e gli avvolgimenti primari e secondari possono essere facilmente riciclati.

- Basse emissioni di CO2 Ridurre i consumi di un trasformatore significa diminuire anche le emissioni di CO2 limitando l'impatto ambientale della macchina. Questo importantissimo vantaggio ambientale diventa anche economico in paesi, dove è stato introdotto un vero e proprio mercato basato sulla quantità di CO2 emesso. Ridurre i consumi di un trasformatore significa diminuire anche le emissioni di CO2 limitando l'impatto ambientale della macchina. In questi paesi le aziende che non rispettano determinati limiti per le emissioni di biossido di carbonio, ne pagano l'eccedenza, mentre le aziende che si impegnano a favore della tutela dell'ambiente non avranno l'onere di doversi accollare questa spesa suppletiva, oltre a poter vendere e quindi monetizzare i crediti CO2

2) Semplicità di installazione

- Riduzione di opere edili di posa, i trasformatori in resina non necessitano di costose opere edili come pozzetti di raccolta, griglie di spegnimento e barriere di separazione resistenti al fuoco, per evitare la propagazione dell'incendio e lo spargimento dei liquidi isolanti. Inoltre, per i trasformatori in resina, non è richiesto alcun provvedimento di separazione con barriere tagliafiamma.

- Installazione interna agli edifici Grazie alla riduzione di costose opere edili, alla maggior sicurezza (basso rischio d'incendio) ed all'assenza di fluidi di raffreddamento, i trasformatori in resina possono essere installati all'interno degli edifici, anche in prossimità di locali frequentati da persone. È così possibile contenere gli spazi e i costi d'installazione. Inoltre, i trasformatori installati all'interno dell'edificio possono essere più vicini ai carichi, con il vantaggio di risparmiare nei costi di collegamento e ridurre le perdite nella linea di alimentazione.

3) Flessibilità nell'utilizzo

- Maggiore sovraccaricabilità. I trasformatori in resina, usando l'aria come mezzo di raffreddamento ed impiegando più tempo a raggiungere la temperatura di regime, risultano più sovraccaricabili rispetto a trasformatori in liquido isolante e quindi sono particolarmente adatti ad alimentare carichi con frequenti spunti di corrente. I trasformatori possono essere sovraccaricati, purché la sovratemperatura sugli avvolgimenti non permanga al di sopra dei valori ammissibili per lunghi periodi di tempo.

È possibile aumentare la potenza erogata temporaneamente tramite l'applicazione di appositi sistemi di ventilazione, da utilizzare per fronteggiare particolari situazioni di esercizio (sovraccarichi temporanei o temperatura ambientale elevata) o per disporre di una temporanea riserva di potenza in casi di emergenza (ad esempio il fuori servizio di un trasformatore).

- Riduzione della manutenzione I trasformatori in resina sono caratterizzati da minori costi di manutenzione in quanto devono soltanto essere ispezionati periodicamente per verificare l'assenza di accumulo di polvere e sporco.

Scopo della tesi

Semina un pensiero raccogli un'azione

Semina un'azione raccogli un'abitudine

Semina un'abitudine raccoglie un carattere

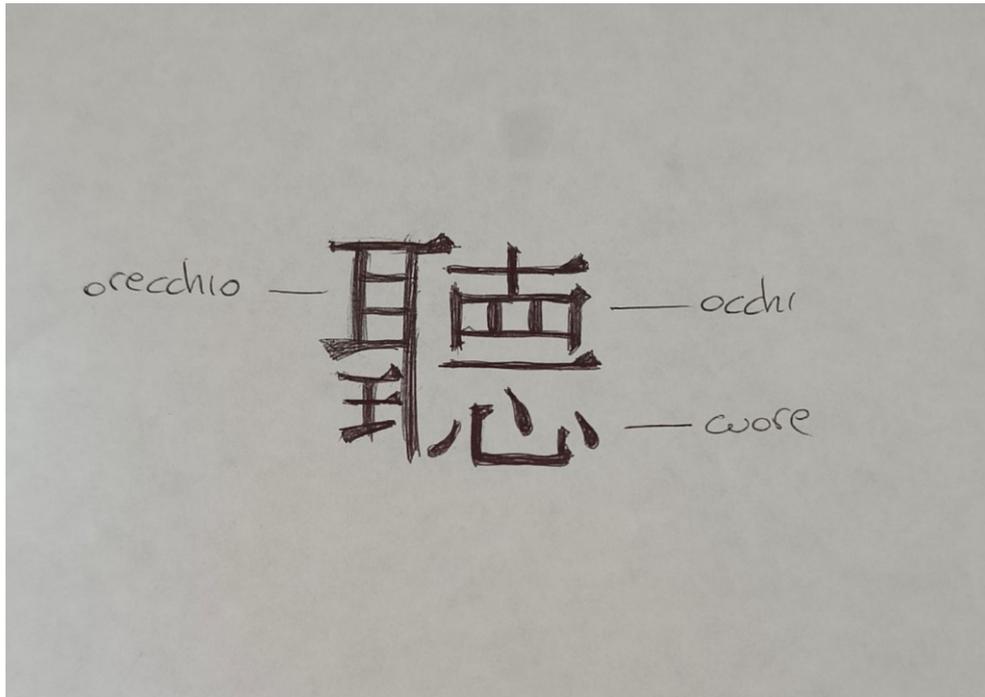
Semina un carattere raccoglie un destino

“Samuel Smiles”

Lo scopo di questa tesi è risolvere o, meglio ancora, allontanare definitivamente gli errori e danni che possono crearsi a causa di errata comunicazione nei vari percorsi lavorativi: dall'analisi e gestione per processi alla progettazione dei piani, all'organizzare i processi interni all'azienda, al fine di potenziare la produttività e di conseguenza i profitti.

Parlare, ascoltare e osservare, sono i pilastri della comunicazione efficace.

Comunicare efficacemente vuol dire sapersi esprimere in ogni situazione con qualunque interlocutore, in modo chiaro e coerente col proprio stato d'animo e quindi riuscire a instaurare relazioni soddisfacenti nelle quali condividere i bisogni, valori e obiettivi.



Ascoltare con empatia e non in modo autobiografico, parlare gentilmente anche se in modo assertivo ed accompagnare il tutto con gesti coerenti col resto, possono abbattere i muri della cattiva comunicazione; infatti in una conversazione dove non si presta attenzione, non si è disponibile ad ascoltare e prendere in considerazione quello che l'interlocutore vorrebbe dire, non c'è comunicazione efficace ma solo perdita di tempo e spesso distress, che è l'aspetto negativo dello stress che porta a:

- difficoltà di concentrazione
- difficoltà a ricordare
- difficoltà ad imparare cose nuove
- difficoltà a prendere decisioni
- mostrare pensieri negativi

Quindi si può affermare che la comunicazione efficace è un risparmio di tempo.

Tutto questo è maturato anche dopo aver seguito diversi corsi al riguardo, come ad esempio: "time management, gestire il tempo e lo stress" o "da capi a leaders".

Nei quali si opera studiando il modo in cui si impiegano e ottimizzano attività e risorse al fine di creare valore minimizzando i fattori di perdita; strutture, sistemi e processi necessari per gestire e ottimizzare le risorse per conseguire gli obiettivi condivisi.

La maniera in cui le persone pensano e agiscono sul lavoro, sia individualmente che in gruppo facendo uscire il potenziale che è in ognuno, perché sapere una cosa e non saperla svolgere equivale a non sapere

“Non puoi insegnare niente a nessuno puoi solo aiutarlo a trovare qualcosa in sé stesso”

Galileo Galilei

Uno dei punti a favore di questo discorso è il “gioco di squadra” però purtroppo da dei rapporti Censis emerge una diffusa e inquietante sregolazione pulsionale con comportamenti egoistici, autoreferenziali e narcisistici.

- 85% dichiara che ognuno è l'arbitro di suoi comportamenti e non accetta suggerimenti, consigli o richiami
- 48% dichiara che è giusto difendersi da solo
- 16,9% pensano sia giusto che una bella donna usi il proprio corpo per avere successo
- 450.000 gli interventi di chirurgia estetica negli ultimi anni

Non è semplice far capire che le vittorie pubbliche creano relazioni profonde, durature ed efficaci; tutto questo perché la maggior parte delle persone tende a vedere solo quello che vengono condizionati a vedere in base alle proprie idee, dall'ambiente e dalle esperienze passate creandosi così le proprie mappe mentali

Per essere efficaci si dovrebbe saper scegliere, non in base al proprio umore cercando scuse, ma responsabilmente, cercando strade giuste aumentando la propria consapevolezza e coscienza, diventando più affidabili e autorevoli; questo fa una persona proattiva, interrompendo una serie di comportamenti inefficace fungendo da modello di sviluppo anche per gli altri.

Punto a favore oltre al gioco di squadra è la gestione del tempo e dello stress

“Se non sai sfruttare il minuto, perderai l'ora, il giorno, tutta la vita”

Alexander Solzenicyn

senza obiettivi chiari o, peggio, non prefissati, si spreca tanto tempo e i problemi non si risolvono

- Conoscere gli obiettivi, vuol dire essere sicuri e per poter ottenere il successo, senza obiettivi prefissati si spreca molto tempo prezioso e i problemi non si risolvono
- Essere proattivi ossia intervenire in anticipo per prevenire problemi, pianificando le azioni opportune, nel breve ma anche nel lungo periodo
- Operare per priorità e in ordine di importanza; le cose importanti contribuiscono in modo significativo al raggiungimento degli obiettivi e tendono ad avere conseguenze nel medio lungo periodo
- Focalizzarsi sulle attività; non si può operare con successo se si affrontano più problemi insieme, se si vogliono fare tante cose, bisogna necessariamente farne una per volta perché più si è focalizzati maggiore è la possibilità di raggiungere risultati eccellenti
- Pianificare le attività e il tempo; la pianificazione delle attività è necessaria per usare il tempo in modo ottimale, una lista giornaliera delle cose da fare e il tempo di impiego permettono di mettere a fuoco gli obiettivi più importanti e fare tutto

Altrettanto importante è lasciare un pò di tempo agli imprevisti che lavorando si verificano spesso.

- comunicare efficacemente: essere chiari, comprensibili instaurando relazioni soddisfacenti condividendo valori, bisogni e obiettivi
- ascoltare attentamente: essere attenti e non ascoltare autobiograficamente, perché solo insieme si può crescere e andare lontani
- prendersi le responsabilità: essere responsabili vuol dire non procrastinare e svolgere le proprie mansioni con coscienza senza perdita di tempo inutili
- gestire lo stress: lo stress eccessivo è una delle cause principali di scarsa efficienza lavorativa e possiamo fare molto per combatterlo. Una giusta dose di stress (eustress) porta a essere più efficienti, aumenta la velocità di esecuzione, attenzione e concentrazione.
La dose sbagliata di stress (distress) porta a perdere inutilmente tempo, diminuire le prestazioni, ridurre l'efficienza fisica e mentale.

Riassumendo, per avere una buona gestione del tempo e dello stress bisogna;

- definire gli obiettivi
- pianificare il tempo
- fare ogni giorno l'elenco delle cose da fare
- definire un tempo massimo per ogni attività programmata
- imparare a essere proattivi e non reattivi
- non rimandare
- non perdere tempo sulle cose poco importanti
- eliminare una causa di perdita di tempo ogni settimana

Per ritornare allo scopo della tesi, ritengo sia fondamentale comunicare efficacemente “partendo dall’alto” ...

Come un buon padre di famiglia deve dare il buon esempio affinché i propri figli imparino a crescere e dare il meglio, così un leader deve dare il buon esempio con tutti i suoi collaboratori.

Il leader non si deve confondere con il capo.

Il capo detiene il potere decisionale, impartisce ordini da eseguire e detta le regole senza curarsi delle esigenze e necessità dei propri collaboratori, basando le relazioni interpersonali sui principi dell'autorità e del controllo.

Ha un atteggiamento distaccato dai suoi dipendenti e si limita ad assegnare incarichi e aspettarsi risultati, non esplora le potenzialità dei dipendenti.

Spesso il capo preferisce restare all'interno del proprio ufficio interagendo poco coi propri collaboratori, pensando che mostrare il proprio lato umano al lavoro sia un segno di debolezza, quando in realtà una scarsa empatia spesso si traduce in mancanza di entusiasmo e malumore all'interno dello staff.

Effettuare il passaggio da capo al leader si può, attraverso dei punti saldi... Il fattore che maggiormente sprona ad attuare il cambio di passo è l'acquisizione di autorevolezza agli occhi del team, essere in grado di entrare in connessione con loro, conquistarne la fiducia e diventando un punto di riferimento da stimare.

Quando si tratta di influenzare e motivare i collaboratori, l'esempio non è la cosa più importante, ma l'unica!

Perché i messaggi del leader non partono da ciò che dice, ma da quello che è e da ciò che fa.

Diventa così un punto di riferimento per la sua squadra che si muove dinamicamente a seconda del contesto e delle situazioni, trovando un punto di equilibrio tra i bisogni individuali e quelli del team. Il leader guida il suo team coinvolgendo le persone nei progetti di sviluppo futuro, motivandole, rendendole più responsabili e facendole amare il loro lavoro.

Mette al primo posto gli obiettivi comuni nell'ottica che “da soli si va veloci, ma insieme si va lontani”. Un buon leader fa capire ai suoi collaboratori quanto valgono, incoraggiandoli a migliorare e facendoli sentire importanti, perché non sono strumenti di lavoro ma risorse su

cui investire e trova sempre il tempo per loro e se i dipendenti sanno di poter esprimere le proprie idee senza timori, l'ambiente risulterà più produttivo.

In questo modo le persone si sentono più sicure e motivate. Ovviamente motivare non significa manipolare le persone cercando di ottenere che gli altri agiscano contro la propria volontà, ma la motivazione è quella fiammella che viene da dentro di sé, è l'energia che si sprigiona tra dove siamo e dove vorremmo essere.

Uno dei compiti fondamentali del leader è far emergere le capacità dei propri collaboratori, fidandosi e delegando come se aveste la capacità di moltiplicare se stesso.

Molte volte però si delega poco per diverse ragioni:

- per la paura che il collaboratore dimostri di essere migliore
- per esagerato senso di perfezione
- per mancanza di fiducia
- per paura di non ottenere credito personale

Certamente per attuare il processo di delega bisogna individuare la mansione da delegare (non solo quello che non piace!) e scegliere il candidato ideale che a sua volta deve accettare l'incarico, stabilire le responsabilità e formarlo a dovere.

Comunque avere un'azienda dove si comunica efficacemente, con rapporti di fiducia e motivazione non è semplice, ma è possibile attraverso sacrifici e amore verso il proprio operato e quello del team, perché come sosteneva Mao..." chi vuole cerca strade, chi non vuole cerca scuse".

Conclusioni

Sono da 54 anni nel settore, quando mio Padre a 12 anni mi fece andare nell'azienda di famiglia durante le vacanze scolastiche a toccare con mano la realtà relativa al mondo produttivo, ma non seduto in un ufficio ma a contatto con la produzione, con gli operai, tecnici che lavoravano nell'azienda ed iniziare a capire quali erano e quali sono le problematiche che emergono durante le fasi produttive.

Certamente, tutti ti possono insegnare qualcosa, dal semplice dipendente al direttore di stabilimento.

L'importante è saper far tesoro delle varie esperienze lavorative.

Ho sempre creduto che vi sono due tipi di progettisti: quelli che mettano in fila i numeri e quelli che creano qualcosa di nuovo, per migliorare un prodotto e per fare questo bisogna essere aggiornati e conoscere le caratteristiche dei materiali, degli impianti e dei macchinari impiegati nella realizzazione del prodotto finito.

L'importante è dare fiducia ai propri collaboratori riuscire a farli parte integrante del processo industriale e farli crescere professionalmente, fargli capire che l'errore è una parte fondamentale della loro crescita.

Un manager è bravo se sceglie bravi collaboratori che hanno la volontà e la voglia di formarsi e capire le varie problematiche che quotidianamente si presentano e far tesoro di tutto questo.

Bibliografia

Wikipedia <https://it.wikipedia.org/wiki/Trasformatore>

PRINCIPI E ASPETTI COSTRUTTIVI DEI TRASFORMATORI. Lucia FROSINI http://www-9.unipv.it/dmae/costruzioni/materiale_didattico/Costruzioni_3.pdf

Manuale per la movimentazione, messa in servizio e manutenzione di TRASFORMATORI TRIFASE MT/BT in resina https://backoffice.lef.it/uploads/ECOTR2000X4001_istruzioni_it_v1.pdf

Misure specialistiche per la valutazione del sistema d'isolamento degli avvolgimenti A. Borrella, A. Rossi, e M. Masserdotti