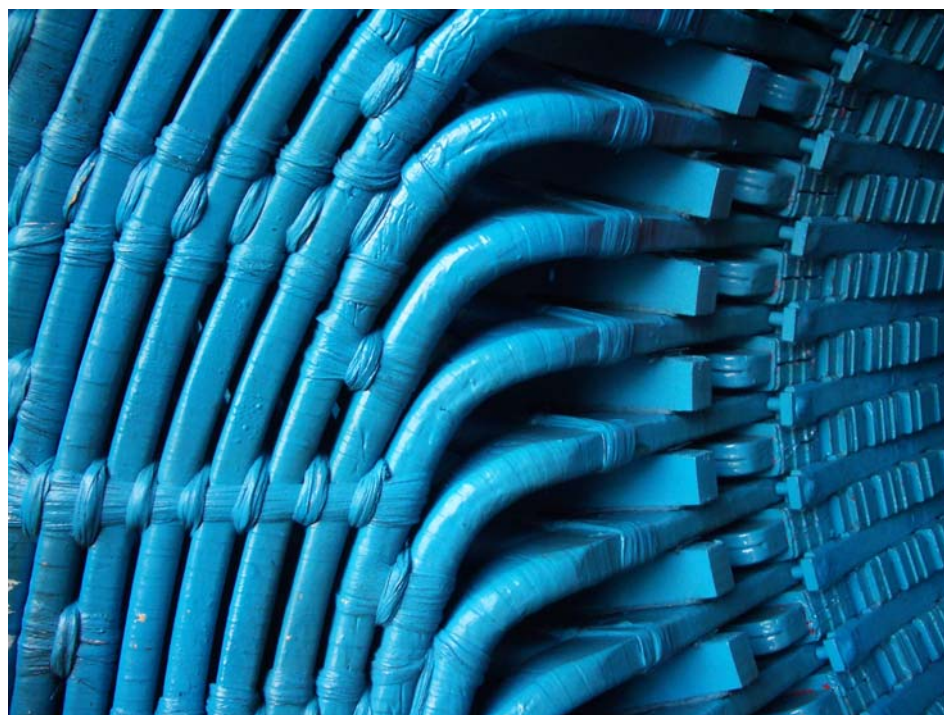


# Diagnostica on-line su macchine rotanti *mediante la misura di scariche parziali*

VI 10



Da oltre cinquant'anni si effettua la misura delle scariche parziali per individuare il deterioramento degli avvolgimenti di statori su generatori e motori MT.

Le scariche parziali (o PD Partial Discharges) sono piccole scariche elettriche incomplete che si verificano quando vi sono vuoti, ovvero sacche d'aria in differenti posizioni all'interno dell'isolamento statorico. I vuoti possono essere riconducibili al processo di lavorazione, al deterioramento termico, a movimenti delle barre dello statore durante il funzionamento per stress di esercizio.

Mentre l'isolamento degrada, il numero e l'ampiezza delle scariche parziali aumentano. Anche se l'ampiezza degli impulsi PD non può essere correlata direttamente alla vita rimanente dell'avvolgimento, un incremento o raddoppio dell'ampiezza degli impulsi PD all'incirca ogni sei mesi indica che è in corso un rapido deterioramento.

Se si mettono a confronto con il medesimo metodo di misura le ampiezze degli impulsi PD di più avvolgimenti identici, risulterà che gli avvolgimenti con attività PD più alta sono in genere più vicini al guasto. In questo modo, la misura delle scariche parziali permette alle aziende di pianificare gli interventi di manutenzione richiesti sugli avvolgimenti degli statori ed inoltre conoscere, attraverso la misura, le cause del deterioramento.

Fino a tempi recenti era difficile realizzare un test on-line, a causa della presenza di rumore elettrico (il rumore elettrico generato dal funzionamento delle macchine, dall'effetto corona dei commutatori, da sorgenti RF ecc. può contaminare la misura).

**IRIS** (Canada) ha sviluppato un test PD on-line migliorato, che può ridurre in misura significativa l'influenza del rumore e fornire un'indicazione più affidabile circa le condizioni dell'isolamento statorico.

Tale sistema, inizialmente progettato e sperimentato presso Ontario Hydro Canada negli anni 1980, è stato successivamente sviluppato in ambito industriale e reso disponibile sul mercato dal 1985 dalla società canadese **IRIS-Power System**, leader del settore con oltre 30000 sensori installati con oltre 3000 installazioni in 28 paesi del mondo.



In Italia, a partire dal 1998, sono presenti oltre 400 installazioni, sia per generatori che motori M.T..

Ampere e IRIS svolgono attività diagnostica semestrale di rilevamento e fornitura di relazioni sullo stato del macchinario.

I sistemi sviluppati per i motori sono stati certificati anche per installazioni in aree classificate, quali raffinerie e impianti petrolchimici.

Classificazione ATEX per sensoristica e Unità Elettronica di Misura Continua PD-TRAC-IRIS per motori M.T.:

EExnCnLIICT4 Temp: -20°C to +50 °C CE mark ExII3G e CSA Classe 1 Div2

I codici di interpretazione, utilizzati per analizzare i risultati delle misure, consentono una precisa e puntuale identificazione delle cause di degrado, che solo chi dispone di una vasta base di dati ed una lunga esperienza può rendere disponibile all'utilizzatore (DBase IRIS).

I vantaggi tecnico-economici di usare sistemi di diagnostica online sono evidenti, essi infatti consentono di evitare fermate impreviste dovute a guasti sul sistema di isolamento.

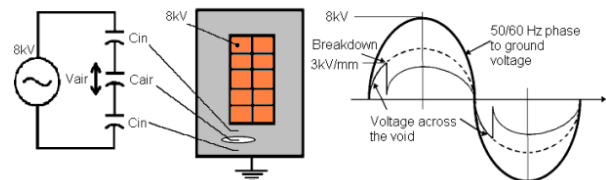
Le anomalie evidenziate con la misura ON-LINE di scariche parziali si possono ricondurre alle seguenti:

- Scarsa impregnazione degli avvolgimenti
- Delaminazione dell'isolamento a causa di sovratemperature
- Avvolgimenti allentati in cava
- Danneggiamento semiconduttore
- Contaminazione degli avvolgimenti (olio, polvere, ecc.)
- Accoppiamenti fase-fase in testata (distanze inadeguate)
- Arco in aria in uscita cava (accoppiamento fase-terra)

### La misura delle scariche parziali

Letteralmente il termine "Scariche Parziali" significa che un dielettrico è localmente sollecitato da un gradiente superiore alla sua rigidità dielettrica.

#### Misura scariche parziali ON-LINE



Il sistema isolante principale è rappresentato dal condensatore C al quale è applicata la tensione totale dell'oggetto. I due condensatori C1 e C2 sono una parte dell'isolamento principale.

Nell'ipotesi che il condensatore C2 sia sottoposto ad una sollecitazione dielettrica superiore a quella propria di tenuta si verifica un cortocircuito dei suoi terminali che non determina un corto circuito totale del sistema isolante in quanto il condensatore C1 è in grado di mantenere la tensione totale.

**Testato da:**

- CSA certified – Class I Div 2 Class II Div 2
- CE-ATEX/BASEEFA – certified for hazardous location
- IEEE 1043
- Meets ANSI/IEEE C37.20.2-1987

**Specifiche**

- elemento capacitivo costituito da mica impregnata epoxy
- 80 pF
- fattore di dissipazione < 0.05%
- temperatura di lavoro -55°C to 125°C
- resistente a scariche elettriche
- 3 tensioni di lavoro

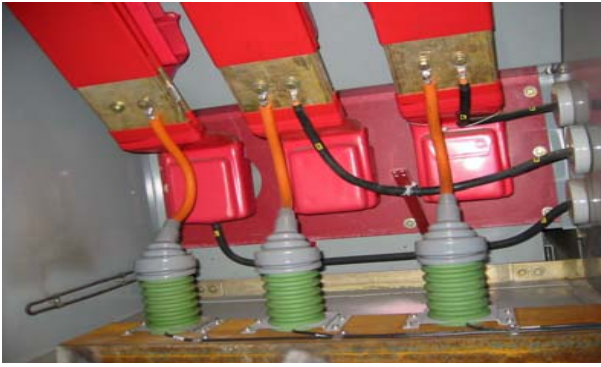
	25 kV	10kV	0.9kV
DEV A/V0.3pC	25	15	8
AC Hipot kV/mm	51	33	15
Mass kg	23	1.6	1.1
Height mm	206	127	92
Diameter mm	89	89	89

\* EMC values based on tests performed according to ASTM 1888 and IEC 215

#### Sensori capacitivi installati per la misura di scariche parziali

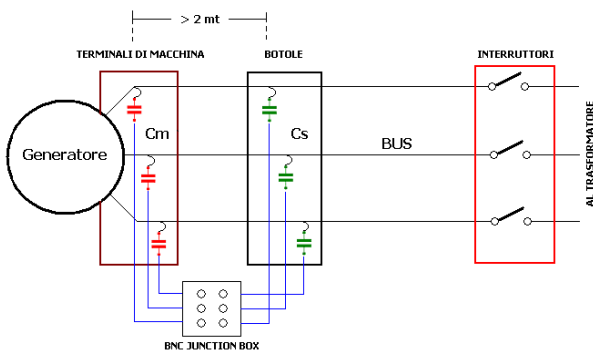
Questo fenomeno fisico si chiama "Scarica parziale" ed è alla base di una fondamentale ramo della diagnostica dei sistemi isolanti.

Il transitorio conseguente al corto circuito del condensatore C2 determina segnali ad alta frequenza.



La misura di questi segnali avviene attraverso l'installazione di sistemi di accoppiamento (in generale condensatori) che consentono di identificare i parametri speciali che caratterizzano le scariche parziali e precisamente:

- Ampiezza degli impulsi PD correlata alla dimensione o volume dei vuoli
- Numero degli impulsi PD correlato al numero di vuoli o difetti
- Polarità degli impulsi PD correlata alla posizione dei vuoli nello spessore dell'isolamento
- Posizione degli impulsi PD in relazione alla tensione Fase-terra correlata alla posizione dei difetti nella cava o nell'avvolgimento terminale (testata)



La presenza di due terne di condensatori di accoppiamento (Cm e Cs) è in relazione alla tecnologia di misura sviluppata. Misurando il diverso tempo di transito dei segnali determinato dalla diversa disposizione dei condensatori sulle sbarre e connessioni di macchina, è possibile discriminare i segnali provenienti da attività di scariche parziali interni alla macchina dai disturbi provenienti dalla rete.

La misura viene effettuata durante il normale funzionamento della macchina, periodicamente o in modo continuo, da una unità di misura collegata al box di arrivo dei segnali dai condensatori di accoppiamento.

L'unità di misura TGA/B/SB ® svolge le seguenti funzioni:

- Discriminazione automatica dei segnali utili delle scariche parziali nel campo della frequenza da 5 a 350 MHz
- Classificazione per livello, fase, polarità e frequenza dell'attività di scariche parziali presente in ogni avvolgimento statorico
- Elaborazione numerica e grafica bidimensionale e tridimensionale di valutazione delle condizioni del dielettrico



Il sistema di misura può essere utilizzato per un controllo periodico ogni 4-6 mesi oppure come sistema di diagnostica on-line. Anche per i motori asincroni la soluzione è pressoché analoga con l'unica differenza che è installato un solo condensatore per fase in corrispondenza della morsetteria del motore utilizzando l'attenuazione introdotta dal cavo a MT per i disturbi esterni.

### Interpretazione dei risultati

Usando gli indici caratteristici che il sistema di misura calcola sulla base dei dati acquisiti, l'individuazione della tendenza diventa semplice ed efficace. L'acquisizione di dati con parametri operativi differenti può concorrere a determinare le condizioni dell'avvolgimento dello statore.

### Presentazione dei dati

Per ciascun test PD, tramite l'utilizzo del software **PD-View®** e **Advanced View®**, vengono generati due tipi di grafici, che analizzano rispettivamente l'altezza degli impulsi e la fase degli impulsi.

### Analisi dell'ampiezza degli impulsi

Il primo tipo di grafico è un diagramma di distribuzione a due dimensioni (2D), che riporta il numero di scariche parziali per secondo in funzione dell'ampiezza (altezza) degli impulsi PD. L'asse orizzontale è una rappresentazione lineare dell'altezza degli impulsi, mentre l'asse verticale è una rappresentazione logaritmica del numero di impulsi per secondo.

Quanto più numerosi sono gli impulsi PD per secondo, tanto più diffuso sarà il deterioramento dell'isolamento; quanto maggiore è l'ampiezza delle scariche parziali, tanto più graverà il deterioramento.

Uno spostamento nel tempo delle linee del tracciato verso l'angolo superiore destro del grafico indica che l'avvolgimento si sta deteriorando rapidamente.

Nel grafico sono riportate sia le attività PD positive (xxx, colore rosso), sia le attività PD negative (ooo, colore verde); il confronto tra attività positiva e negativa indica se l'attività PD è all'interno dell'isolamento oppure all'esterno del muro isolante verso ferro.

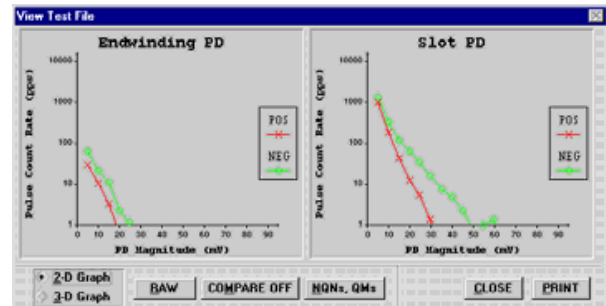


Grafico per l'analisi dell'altezza degli impulsi scariche parziali positive e negative

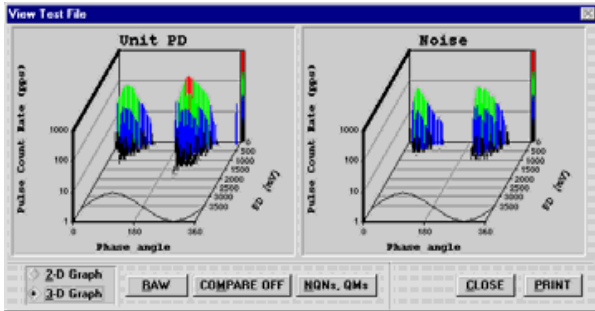


Grafico per l'analisi della fase degli impulsi posizione scariche parziali positive e negative

### Analisi della della fase degli impulsi

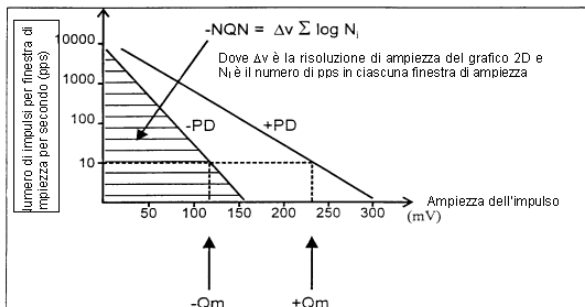
Il secondo tipo di grafico è un diagramma a tre dimensioni (3D) che riporta il numero di impulsi PD per secondo (asse Y, verticale) e l'ampiezza dell'impulso PD (asse Z, profondità) in funzione della posizione in fase o angolo di fase (asse X, orizzontale). Durante l'acquisizione dei dati, ciascun ciclo viene diviso in 100 finestre di fase per consentire la visualizzazione di dati relativi allo specifico riferimento di tensione fase-terra. L'esperienza ha mostrato che l'analisi della fase degli impulsi si può utilizzare per individuare se siano in atto più meccanismi di deterioramento, e quali siano questi meccanismi.

### Indici caratteristici: Qm e NQN

Per ogni curva vengono calcolati due indici caratteristici: l'ampiezza di picco PD (Qm) e l'attività PD totale (NQN). Il valore Qm è definito come l'ampiezza corrispondente a una frequenza di ripetizione degli impulsi PD di 10 impulsi al secondo. Il valore NQN (Normalized Quantity Number) è rappresentativo dell'area sottesa dalla curva nel grafico bidimensionale.

Il valore Qm si riferisce alla gravità del deterioramento nel punto meno favorevole dell'avvolgimento, mentre il valore NQN è proporzionale alla condizione media dell'avvolgimento (deterioramento totale) e fornisce un'indicazione simile a quella del fattore di potenza.

I valori Qm e NQN sono calcolati automaticamente dallo strumento per l'attività PD positiva e negativa.



### Indici caratteristici PD

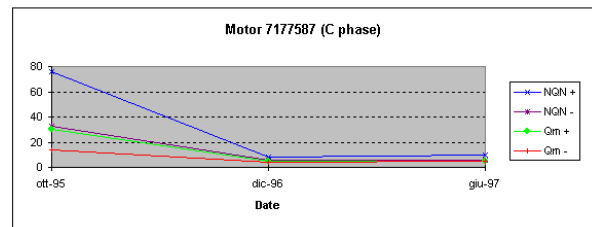
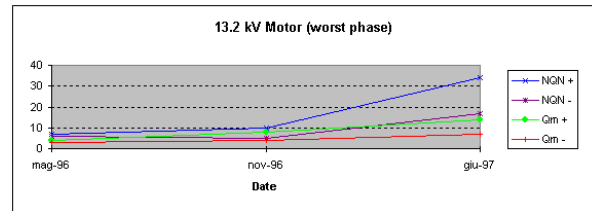
- Asse verticale: quantità di impulsi per secondo – diffusione del deterioramento
- Asse orizzontale: ampiezza degli impulsi – livello e gravità del deterioramento
- Qm: picco dell'ampiezza delle scariche parziali in mV (normalizzato a 10 pps)
- NQN: attività totale delle scariche parziali, area sottesa attività positiva e negativa

### Analisi delle tendenze

Se i parametri operativi dell'unità, vale a dire tensione, carico e temperatura dell'avvolgimento, sono simili a quelli di test precedenti, si può instaurare un confronto diretto tra i risultati. Per effettuare un confronto diretto dei risultati, in vista di un'analisi delle tendenze, è importante che vengano mantenute invariate le condizioni operative, ossia, se possibile: tensione + / - 200 V carico + / - 10%

potenza effettiva + / - 10%  
 potenza reattiva + / - 10%  
 temperatura dello statore + / - 5°C  
 pressione dell'idrogeno + / - 5 PSI  
 condizioni ambientali (temperatura e umidità)  
 Se l'attività PD aumenta da un test al successivo, è molto probabile che le condizioni del sistema d'isolamento dell'avvolgimento dello statore si stiano degradando. Anche se le condizioni dell'avvolgimento dello statore si possono valutare, il guasto non può essere previsto in quanto è di norma il risultato di una serie di cause combinate quali sovratensioni da scariche elettriche atmosferiche, perdita di sincronismo, surriscaldamento, vibrazioni ecc..

Quando si effettua un intervento di manutenzione efficace, che corregge una causa di attività PD in una macchina, si può osservare una netta diminuzione dell'attività PD totale.



Es. Motore da 13.2 kV con segni di aumento dell'attività PD (in alto) e dopo un intervento riuscito di manutenzione (in basso)

### Prove off-line e ispezioni visive

Anche se l'analisi delle scariche parziali su macchine rotanti è senza dubbio il miglior sistema di diagnostica predittiva, è comunque consigliabile eseguire periodiche misure off-line e ispezioni visive.

Ampere S.p.A., è in grado di fornire un programma di misure off-line, ispezioni visive e consulenza tecnica avvalendosi di personale altamente qualificato.



Per ulteriori informazioni sulle prove appropriate, si può fare riferimento al Volume 16 della serie Power Plant Electrical Reference dell'EPRI (Electrical Power Research Institute) di Palo Alto, California, oppure al MICAATM, Machine Insulation Condition Assessment Advisor, un programma software prodotto dalla società Iris Power Engineering, Inc.