



Attilio Volpe (attiliovolve)

LA VERIFICA DELL'ISOLAMENTO DI APPARECCHIATURE E MATERIALI (II)

6 April 2015

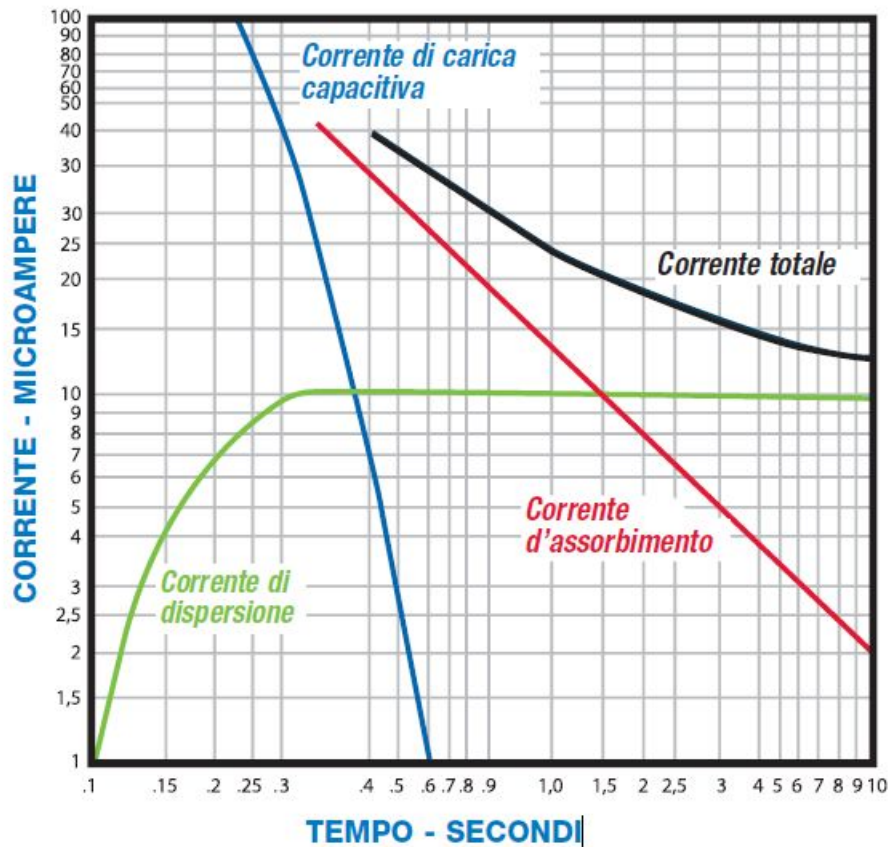
Dopo la prima parte che descrive un pò le cause e i fattori che determinano il cattivo isolamento tra le parti di una apparecchiatura, tra materiali e tra conduttori, le righe che seguono completano l'articolo con la descrizione dei vari metodi di misura e i fattori che possono influenzarne l'esito della prova.

Principio della misura d'isolamento e fattori che la influenzano

La misura della resistenza d'isolamento è basata sulla legge di Ohm: applicando una tensione continua di valore noto ed inferiore a quello della prova dielettrica, si misura la corrente circolante, e si determina il valore della resistenza. La resistenza d'isolamento presenta un valore molto elevato ma non infinito e quindi, con la misura della debole corrente circolante, il megaohmmetro indica il valore della resistenza d'isolamento con un risultato in $k\Omega$, $M\Omega$, $G\Omega$, o $T\Omega$. Il valore di resistenza letto indica la qualità dell'isolamento e l'eventuale rischio della circolazione di correnti di dispersione.

Quando si applica una tensione costante al circuito, la misura di resistenza ed il valore di corrente vengono influenzati da fattori come ad esempio la temperatura o l'umidità, che possono modificare notevolmente la misura. Ipotizzando che non ci siano fattori di influenza, analizziamo la natura delle correnti circolanti durante la misura d'isolamento.

- La corrente di carica capacitiva, che corrisponde alla carica della capacità dell'isolamento testato. Quest'ultima ha un andamento transitorio: all'inizio della misura ha un valore elevato, che decresce esponenzialmente verso zero quando il circuito si carica elettricamente (simile alla carica di un condensatore). Bisogna attendere qualche secondo che la corrente residua si riduca in modo trascurabile rispetto alla corrente da misurare.
- La corrente di assorbimento, che corrisponde all'energia necessaria alle molecole dell'isolante per riorientarsi sotto l'effetto del campo elettrico applicato. Quest'ultima decresce molto più lentamente e richiede alcuni minuti per raggiungere un valore vicino allo zero.
- La corrente di dispersione o corrente di conduzione, parametro che caratterizza la qualità dell'isolamento, ed è stabile nel tempo.



Il grafico illustra l'andamento delle tre correnti in funzione del tempo, la scala dei tempo può variare in funzione del materiale testato.

La corrente totale circolante nel circuito testato, creata dall'applicazione costante della tensione, subisce una variazione nel tempo, che comporta un'instabilità del valore della resistenza.

Prima di trattare dettagliatamente i vari metodi di misura, occorre soffermarsi sui fattori d'influenza della misura di resistenza d'isolamento.

La temperatura:

La temperatura fa variare il valore della resistenza d'isolamento secondo una legge pressoché esponenziale. In un programma di manutenzione preventiva occorre effettuare misure in condizioni di temperatura costanti, oppure qualora fosse impossibile, è opportuno correggerle per riportarle ad una condizione di riferimento. Per esempio un aumento di 10°C dimezza il valore della resistenza d'isolamento e inversamente una diminuzione di 10°C della temperatura lo raddoppia.

Il tasso d'umidità

L'umidità influenza l'isolamento in funzione del livello di contaminazione delle superfici isolanti. Se la temperatura è inferiore a quella del punto di rugiada, occorre non effettuare misure di isolamento.

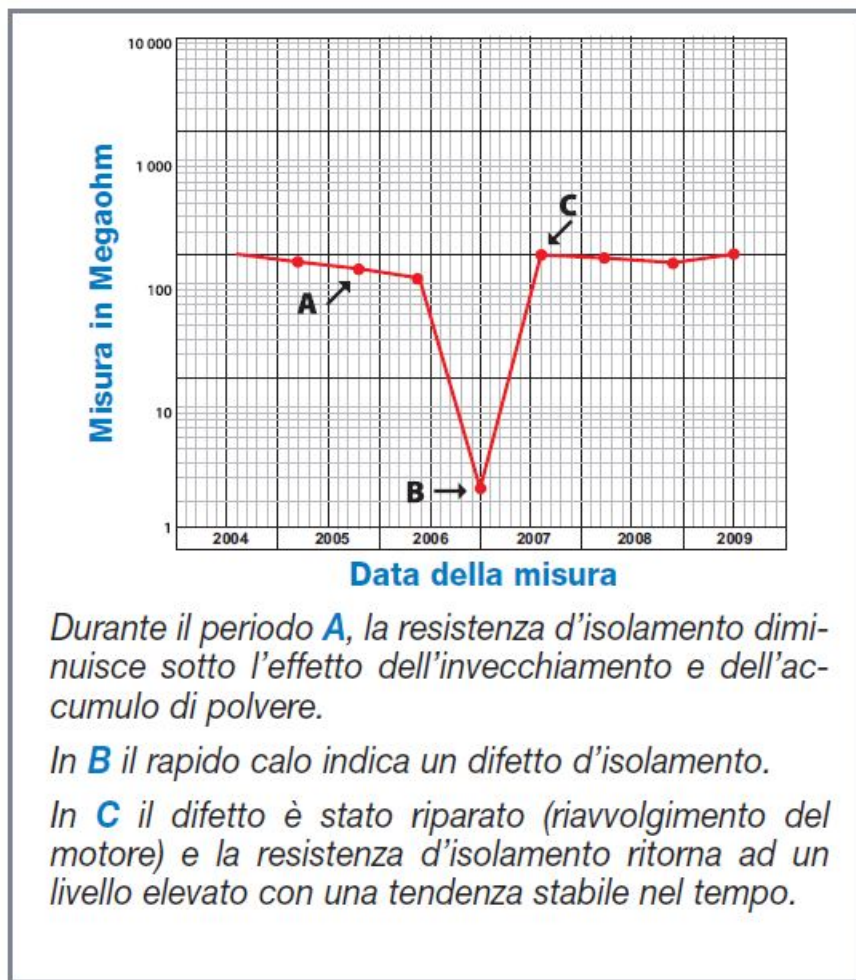
Metodi di misura e interpretazione dei risultati

Misura occasionale o a breve termine

E' il metodo più semplice, consiste nell'applicare una tensione di test per un breve tempo (30 o 60 secondi) quindi si rileva il valore istantaneo della resistenza d'isolamento. Mediante questo metodo è possibile analizzare la tendenza che, nel corso del tempo, rappresenta più efficacemente l'evoluzione delle caratteristiche d'isolamento dell'impianto testato (o dell'apparecchiatura).

E' possibile anche rapportare il valore ottenuto alle soglie minime da rispettare per una corretta valutazione (indicate nelle norme relative agli impianti o i materiali elettrici).

Se le condizioni di misura restano stabili (medesima tensione di test, medesimo tempo di misura, ecc.), l'interpretazione dell'andamento delle misure periodiche permette di ottenere una buona diagnostica sull'isolamento dell'impianto o del materiale. Oltre a questo valore, è opportuno analizzare la variazione in funzione del tempo: un valore d'isolamento debole ma molto stabile è meno allarmante di una misura instabile nel tempo, nonostante il suo valore risulti essere al di sopra dei minimi raccomandati. In ogni caso, qualsiasi abbassamento della resistenza d'isolamento indica un problema da rilevare.



Il grafico è un esempio di analisi della resistenza d'isolamento di un motore elettrico che varia nel tempo.

Metodi di misura basati sull'influenza del tempo di applicazione della tensione di prova

Metodi che consistono nel rilevare in tempi prestabiliti i valori di resistenza d'isolamento.

Presentano il pregio di essere poco influenzati dalla temperatura, il che li rende facilmente applicabili senza necessità di rettificare i risultati, purché l'apparecchiatura di test non subisca significative variazioni di temperatura durante il periodo la durata della prova. Questi metodi vanno bene per la manutenzione preventiva delle macchine rotanti e alla sorveglianza dei materiali di isolamento.

Nel caso di isolante in buono stato, la corrente di dispersione o corrente di conduzione è debole e la misura risulta fortemente influenzata dalle correnti di carica capacitiva e di assorbimento dielettrico. La misura della resistenza d'isolamento sarà quindi crescente per il tempo di applicazione della tensione di prova, con le correnti parassite in decremento. In funzione della

natura degli isolanti avremo un tempo base di applicazione durante il quale la misura sarà più stabile. In caso d'isolamento difettoso (es.: degrado, sporcizia, umidità), la corrente di dispersione o corrente di conduzione è molto forte, ed aumenta le variazioni dovute alle correnti di carica capacitiva e d'assorbimento dielettrico.

La misura dell'isolamento quindi raggiungerà rapidamente un valore stabile. Analizzando le variazioni del valore della resistenza di isolamento in funzione della durata dell'applicazione della tensione di prova, è possibile determinare la qualità dell'isolamento. Possiamo così ipotizzare il degrado della misura anche in assenza di una cronologia; tuttavia, in un programma di manutenzione le misure periodiche vanno regolarmente registrate. L'analisi delle variazioni, nel caso della misura a breve termine, fornisce informazioni valide solamente in caso di forti e bruschi cambiamenti dei valori e l'assenza di un evento esterno identificato.

Indice di polarizzazione (PI)

Le misure effettuate con variazione del tempo di applicazione della tensione di prova, possono essere suddivise in due rilevamenti: a 1 minuto e a 10 minuti. Il rapporto tra la resistenza d'isolamento a 10 minuti e quella ad 1 minuto si chiama Indice di Polarizzazione (PI) che permette di definire la qualità dell'isolamento.

L'indicazione IEEE 43-2000

"Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery" stabilisce il valore minimo dell'indice di polarizzazione PI per le macchine rotanti alimentate in AC e DC di classe di temperatura B, F e H pari a 2.0.

Un indice PI superiore a 4 indica un eccellente isolamento e un indice inferiore a 2 indica un potenziale problema.

E' importante comprendere che il metodo di misura mediante calcolo dell'indice di polarizzazione si adatta al controllo di materiali isolanti "solidi"; non è raccomandato per le apparecchiature come per esempio trasformatori ad olio sui quali darebbe scarsi risultati anche in caso di buone condizioni d'isolamento.

$$\text{PI} = \text{Risolamento a 10 minuti} / \text{Risolamento a 1 minuto}$$

Rapporto di assorbimento dielettrico (DAR)

Per impianti o apparecchiature dotati di materiali isolanti nei quali la corrente di assorbimento diminuisce rapidamente, la misura delle resistenze di isolamento con tempi di 30 secondi e 60 secondi può essere sufficiente a qualificare lo stato dell'isolamento.

Il DAR si definisce come segue:

$$\text{DAR} = \text{Risolamento a 60 secondi} / \text{Risolamento a 30 secondi}$$

L'interpretazione dei risultati è la seguente:

Valore del DAR Condizione dell'isolamento

<1.25	Insufficiente
<1.6	OK
>1.6	Eccellente

Metodo basato sull'influenza della variazione della tensione di prova

Misura in rampa

La presenza di elementi contaminanti (polvere, sporcizia, ecc.) o di umidità sulla superficie degli isolanti è generalmente rilevata con le misure basate sul tempo d'applicazione della tensione di prova (PI, DAR...). L'invecchiamento degli isolanti o danni meccanici possono comunque talvolta passare inosservati se si utilizza questa prova perché si applica una tensione debole rispetto alla tensione dielettrica utilizzata per testare l'isolante. Aumentando troppo la tensione di prova applicata si possono invece causare le rotture dei punti deboli, provocando una diminuzione del valore dell'isolamento misurato.

Per essere efficace, il valore di tensione deve avere un rapporto da 1 a 5, ed ogni gradino dovrà essere di durata identica di 1 minuto pur rimanendo ben al di sotto della tensione di prova dielettrica standard ($2 U_n + 1000 \text{ V}$).

I risultati con questo metodo sono totalmente indipendenti dalla natura degli isolanti e dalla temperatura perché non si basano sul valore intrinseco degli isolamenti misurati ma sulla diminuzione effettiva del valore letto in un periodo di tempo uguale, con due valori di tensione di prova diversi. La diminuzione del 25 % (o superiore) fra il valore di resistenza d'isolamento al primo gradino e quello al secondo è un segno di degrado dell'isolamento.

Metodo di test di scarica dielettrica (DD)

Il test di scarica dielettrica DD si effettua misurando la corrente durante la scarica dielettrica dell'apparecchiatura. Poiché i tre componenti della corrente (carica capacitiva, polarizzazione e dispersione) sono presenti durante la misura dell'isolamento, il valore della corrente di polarizzazione o di assorbimento è potenzialmente influenzato dalla presenza della corrente di dispersione.

Pertanto anziché misurare la corrente di polarizzazione durante il test d'isolamento, il test di scarica dielettrica (DD) misura la corrente di de-polarizzazione e la corrente di scarica capacitiva al termine della misura di isolamento. Il principio di misura è il seguente: il dispositivo da testare viene caricato per una durata sufficiente a raggiungere un valore stabile (circola solo la corrente di dispersione e sono terminate la carica capacitiva e la polarizzazione). Successivamente si scarica il

dispositivo attraverso una resistenza interna del megaohmmetro e si misura la corrente circolante. Questa corrente è costituita dalle correnti di scarica capacitiva e di ri-assorbimento che forniscono la scarica dielettrica totale e si misura dopo un tempo standard di almeno 1 minuto. La stessa dipende dalla capacità globale e dalla tensione finale del test.

Il valore DD si calcola secondo la formula:

$$DD = \text{Corrente a 1 minuto} / (\text{Tensione di test} \times \text{Capacità})$$

Il test DD può identificare eccessi di corrente di scarica che si manifestano quando uno degli strati dell'isolante è danneggiato o difettoso; difetto che può passare inosservato durante le misure standard onei test di tipo PI e DAR. La corrente di scarica sarà superiore per una tensione di prova e una capacità conosciute, e se uno degli strati dell'isolamento è difettoso. La costante di tempo di questo singolo strato non sarà più in relazione con quella degli altri strati, il che provoca un aumento del valore della corrente rispetto all'isolamento corretto. Un isolamento omogeneo presenterà un valore DD uguale a zero, un isolamento multistrato corretto presenterà un valore di DD che può raggiungere 2.

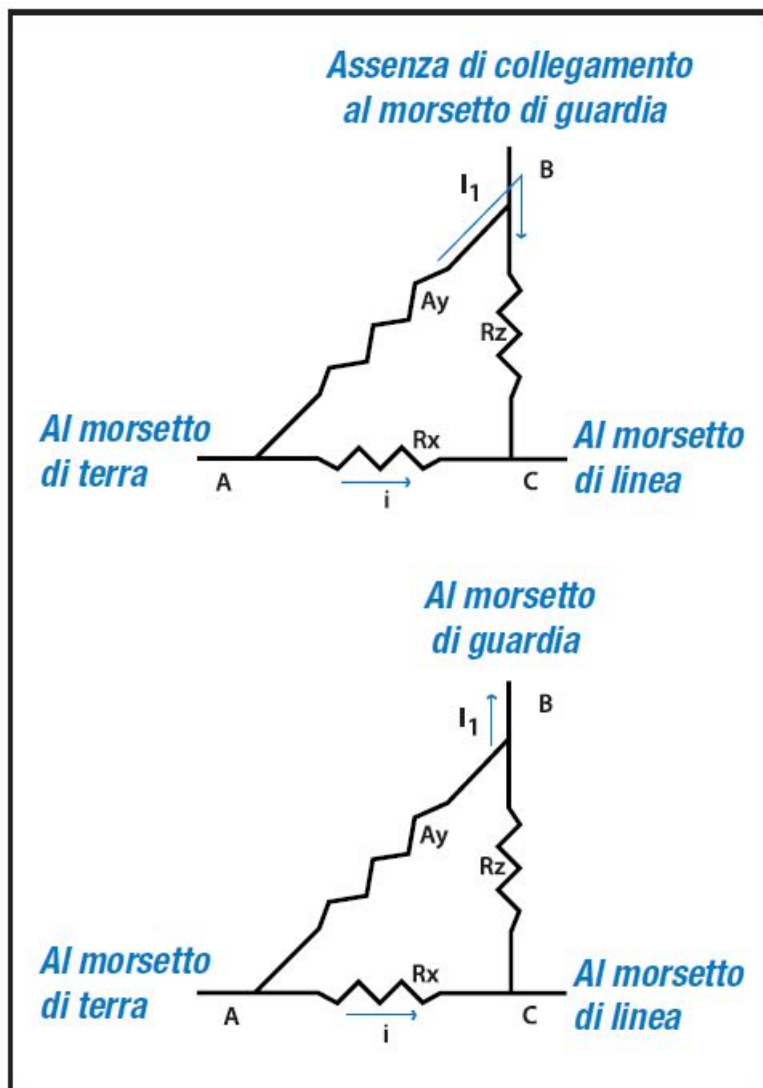
La tabella indica la qualità dell'isolamento in funzione delvalore di DD ottenuto.

DD	Esito
>7	Scadente
4 a 7	Mediocre
2 a 4	Da sorvegliare
<2	OK

Attenzione: questo metodo di misura dipende dalla temperatura, occorrerà perciò effettuare il test ad una temperatura standard o comunque memorizzare il valore di temperatura con il risultato del test.

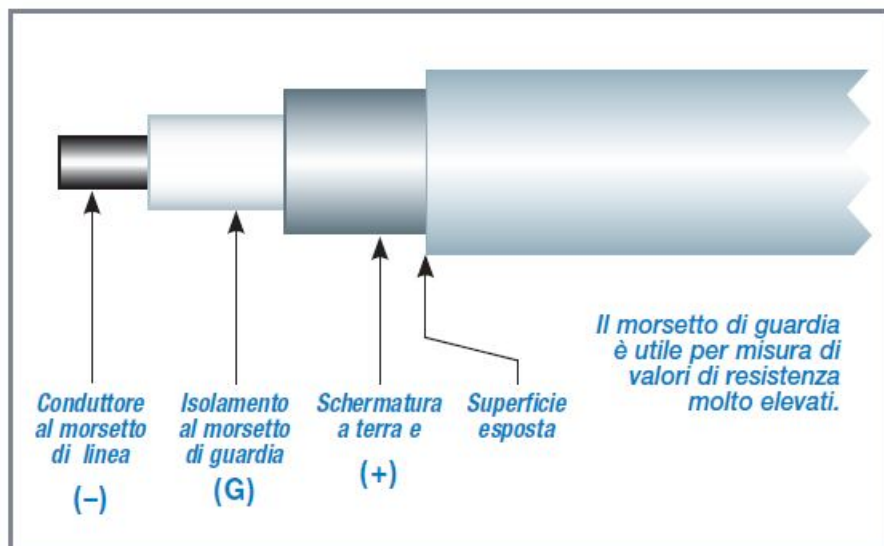
Misure di forti isolamenti: il circuito di guardia

Durante la misura di isolamenti elevati (superiori a1 GΩ), le misure potrebbero essere falsate dalla circolazione di correnti di dispersione che giungono in superficie attraverso l'umidità ed i materiali contaminati la cui resistenza non è più elevata e quindi trascurabile rispetto alla resistenza dell'isolante da testare. Per eliminare questa corrente didispersione superficiale, che influenza il valore d'isolamento, alcuni strumenti dispongono di un terzo morsetto di collegamento chiamato "guardia". Questo morsetto permette la fuoriuscita della corrente di superficie evitandone l'influenza sulla misura.



Nello schema indicato, senza il circuito di guardia, a causa della corrente di dispersione “ i ” e della corrente di superficie I_1 , misuriamo un valore errato di resistenza di isolamento. Nel caso di presenza del cavo di guardia, misuriamo esclusivamente la corrente di dispersione “ i ”, perché il morsetto aggiuntivo permette la fuoriuscita della corrente di superficie “ I_1 ”, permettendo la misura corretta dell’isolamento.

Il morsetto di guardia va collegato alla superficie che potrebbe essere la sede della circolazione delle correnti di superficie, per esempio la superficie isolante di un cavo, di un trasformatore, ecc. E’ necessario conoscere l’elemento testato per scegliere correttamente l’ubicazione della connessione al morsetto di guardia, onde evitare di vanificare la possibile fuoriuscita della corrente di superficie.



Impostazione delle tensioni di prova

La tabella fornisce le tensioni di test raccomandate in funzione della tensione di servizio degli impianti e delle apparecchiature (guida IEEE 43).

Tensione di servizio cavo/apparecchiatura Tensione di test

Da 24V a 50V	50 - 100Vdc
Da 50V a 100V	100 - 250Vdc
Da 100V a 240V	250 - 500Vdc
Da 440V a 550V	500 - 1000Vdc
2400V	1000 - 2500Vdc
4100V	1000 - 5000Vdc
Da 5000V a 12000V	2500 - 5000Vdc
>12000V	5000 - 10000Vdc

I valori sono indicativi, soprattutto per le apparecchiature elettriche, perché sottoposte a diverse norme locali o internazionali (es.: EN 60204; 60439; 60598, ecc.). Per esempio in Italia, il DM 37 del 22-01-08 (ex Legge 46/90) prescrive per gli impianti elettrici i valori della tensione di prova nonché la resistenza d'isolamento minima (500 VDC e 0,5 MΩ per una tensione nominale da 50 a 500 V). Tuttavia si raccomanda vivamente di contattare il produttore del cavo/apparecchiatura per conoscere eventuali procedure ed i valori delle tensioni di prova da applicare.

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Attiliovolpe:la-verifica-dell-isolamento-di-apparecchiature-e-materiali-ii>"