

MP Filtri

ESD NEI FILTRI OLEODINAMICI

Lo studio oggetto di questo articolo nasce dall'esigenza di comprendere e risolvere il problema delle scariche elettrostatiche all'interno di filtri oleodinamici, conseguente all'accumulo della carica elettrica causato dal passaggio dell'olio al loro interno

di Pietro Gabrielli

Sono diverse le problematiche di natura elettrostatica che si presentano nei sistemi e negli ambienti industriali: nei macchinari e sui pavimenti, ma anche nell'aria e sulle persone. Nel sistema in esame questi fenomeni possono

danneggiare gli elementi filtranti, gli oli o altre componenti dei circuiti, oltre che provocare rischi di incendio qualora ci si trovi in ambienti dove sono presenti materiali infiammabili. In quest'elaborato sono presentati i risultati di uno studio sperimentale contestualmente al quale è stata svolta un'inda-



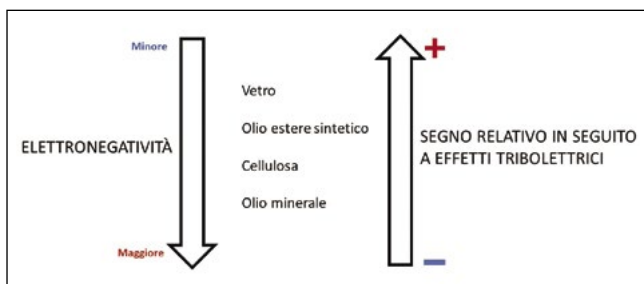


◀ EMANUELE VILLA, FISICO, R&D DEPARTMENT MP FILTRI, CO-AUTORE DELLO STUDIO IN OGGETTO

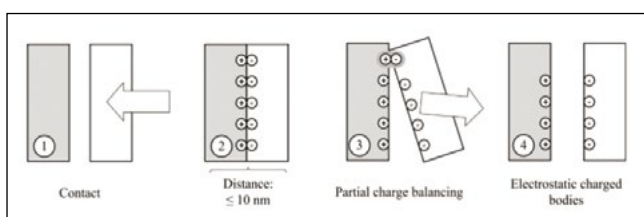
gine nella letteratura in materia volta a comprendere i fenomeni fisici essenziali che intervengono nei processi osservati e, laddove possibile, a un confronto qualitativo tra risultati empirici e modellistica.

Teoria elettrostatica

L'accumulo della carica sui filtri avviene a causa di effetti triboelettrici, che hanno luogo quando entrano a contatto (o in frizione) due corpi con elettronegatività diversa. Con "elettronegatività" si indica l'intensità dell'attrazione di un nucleo sugli elettroni circostanti. Per materiali composti, essa dipenderà dalle elettronegatività degli elementi che la costituiscono. Nella Fig.1 è riportata la scala triboelettrica (che fornisce informazioni sulla elettronegatività relativa) per i materiali in esame: cellulosa, vetro, oli (assimilabili ai derivati degli idrocarburi). Nell'effetto triboelettrico il corpo con maggiore elettronegatività strappa elettroni all'altro, generando un accumulo di carica netta negativa su sé stesso, caricando della stessa quantità, ma con segno opposto, l'altro. In sistemi liquido-solido è sufficiente il contatto per generare questo tipo di effetto (Fig. 2). A livello microscopico si forma un *double layer*, consistente in un accumulo di cariche superficiale



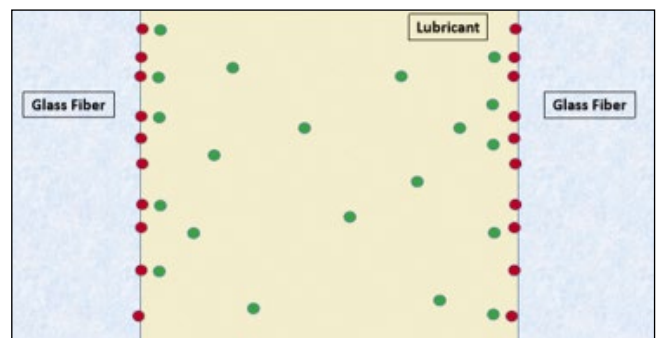
➤ FIG. 1 - SCALA TRIBOELETRICA PER MATERIALE D'INTERESSE



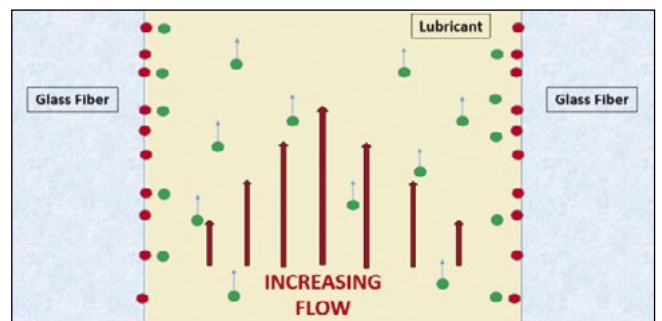
➤ FIG. 2 - EFFETTO TRIBOELETRICO PER CONTATTO

(*Helmholtz layer*) sul materiale filtrante e in un *diffuse layer* nel volume dell'olio, la cui distribuzione di carica è esponenziale (Fig. 3). Qualora il fluido sia in movimento a una certa portata (Fig. 4) il flusso trascina via le cariche nel liquido e provoca un accumulo di carica netta nel sistema, che dà origine a potenziali elevati (si arriva fino alle decine di kV).

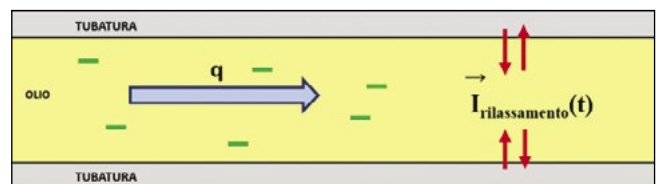
La dissipazione della carica può avvenire tramite processi di conduzione o di scarica elettrostatica. I primi sono vari, ma è utile soffermarsi sul principale meccanismo di dissipazione nei fluidi: il rilassamento della carica, rappresentato nella Fig. 5. Ciò avviene quando le condutture o i serbatoi in cui passa o staziona il liquido sono conduttivi (e collegati a terra); tramite moti convettivi, attratte dal potenziale nullo di terra, le particelle cariche tendono ad avvicinarsi alle pareti, dove rilasciano la carica accumulata.



➤ FIG. 3 - ELECTROSTATIC DOUBLE LAYER (DA STLE ANNUAL MEETING 2016, W. NEEDLEMAN)

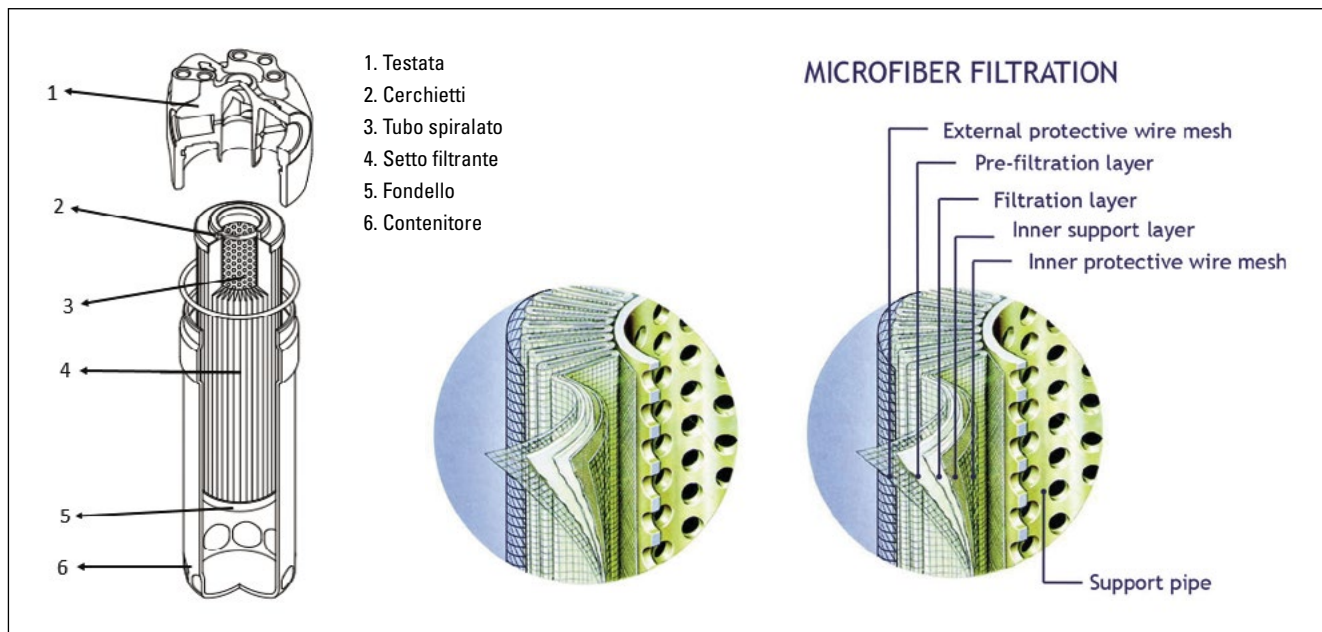


➤ FIG. 4 - FORMAZIONE DI ACCUMULO DI CARICA NETTO (DA STLE ANNUAL MEETING 2016, W. NEEDLEMAN)



➤ FIG. 5 - RILASSAMENTO DELLA CARICA NELLE CONDUTTURE

Nelle componenti isolanti solide come le plastiche, invece, si generano solo correnti di conduzione che, dissipando la carica, evitano che l'accumulo di potenziale diverga. Si prevede piuttosto che la tensione si assesti su un valore massimo seguendo un andamento asintotico (saturazione del valore) raggiunto quando la quantità di carica che si accumula eguaglia quella dissipata. La carica accumulata nel sistema, oltre a dissiparsi per conduzione, dà luogo talvolta a fenomeni di scarica.



➤ FIG. 6 - VISTA ESPLOSA DI UN FILTRO

Una scarica elettrostatica è il passaggio di elettroni attraverso un mezzo isolante, il cui risultato è quello di colmare la differenza di potenziale tra due zone di un corpo o tra due corpi distinti, generando una corrente istantanea di altissima intensità. Si tratta di un processo che dà luogo a un'emissione di luce dovuta alla ionizzazione delle molecole del mezzo di passaggio, che talvolta rimangono danneggiate. Questo processo ha luogo nelle situazioni in cui il campo elettrico supera la rigidità dielettrica (espressa in kV/mm) del materiale (si può assimilare tale sistema a un condensatore le cui armature raggiungono la massima capacità).

Prove sperimentali

L'apparato sperimentale utilizzato consiste in un banco prova contenente un circuito oleodinamico in cui è inserito un filtro in grado di trattenere il contaminante solido ed evitare che questo danneggi i macchinari o l'olio stesso. I componenti principali di un filtro sono testata, elemento filtrante e contenitore. Gli elementi filtranti oggetto di questo studio sono composti da un setto filtrante, formato dalla plissettatura di uno o più strati (denominati *media*), che circondano un tubo metallico forato (tubo spiralato) e sono incollati insieme a due componenti chiamati fondello e cerchietto. In Fig. 6 si può osservare la vista esplosa di un filtro. Nel corso delle prove sono stati indagati i tre aspetti presentati in precedenza: accumulo della carica elettrica, fenomeni di conduzione, scariche elettrostatiche. Il primo avviene nei dielettrici presenti nel sistema: materiali filtranti, olio, condutture isolanti. Come già citato, l'origine risiede nei fenomeni triboelettrici, che avvengono in seguito al passaggio dell'olio attraverso i pori molto fini (dell'ordine della decina di micron di diametro) dei materiali filtranti isolanti, ovvero cellulosa o fibra di vetro.

Misure al variare della portata

È stato misurato innanzitutto il potenziale elettrico accumulato da vari modelli di filtro, che hanno presentato diversità di com-

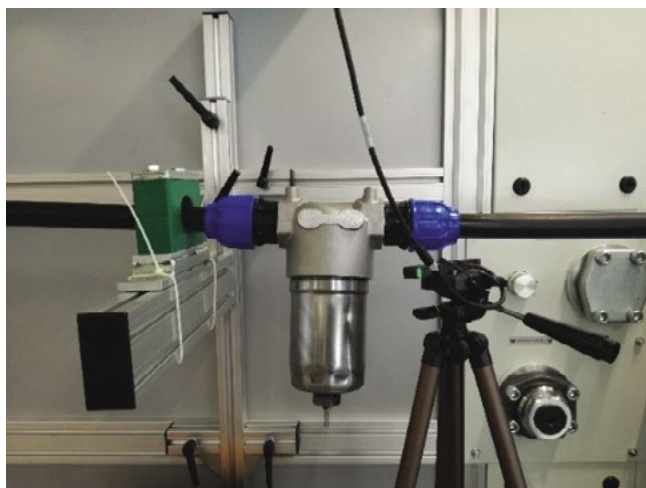


➤ FIG. 7 - VOLTMETRO CHE MISURA IL POTENZIALE DEL FILTRO

portamento al variare dei materiali impiegati. Viene utilizzato un voltmetro non a contatto, che misura il potenziale indotto sul contenitore (in plastica) dalla carica che si accumula nel setto dei filtri. In accordo con la letteratura, come già visto in Fig. 1, l'olio minerale ha elettronegatività maggiore sia della cellulosa che del vetro, pertanto si caricherà negativamente; di conseguenza sul filtro vedremo un potenziale positivo. L'olio sintetico utilizzato ha elettronegatività intermedia tra cellulosa e vetro, pertanto il vetro continuerà a caricarsi positivamente, mentre il potenziale della cellulosa avrà segno opposto. In generale, a seconda delle caratteristiche dell'olio utilizzato, il segno e la quantità della carica accumulata in filtro e olio potrebbero variare, anche significativamente, in base alla differenza di elettronegatività tra i materiali.

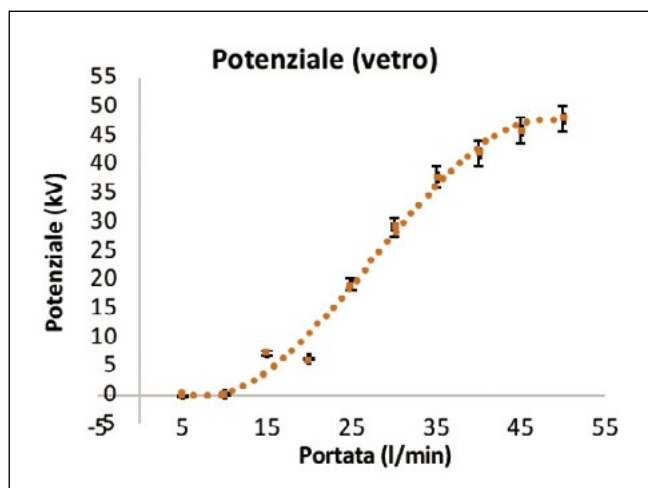
Per stimare l'accumulo di carica che si forma nell'olio in seguito al passaggio nel filtro sfruttiamo il meccanismo di rilassamento della carica del liquido. A valle del filtro in esame si è pensato di integrare nel circuito un collettore di carica, costituito da un filtro metallico privo di setto filtrante, con uno

scovolino metallico all'interno. Nel passare attraverso le setole e tramite il contatto con le superfici metalliche una consistente parte delle cariche viene raccolta dal collettore; collegando quest'ultimo a un amperometro si può eseguire una misura chiamata "corrente di rilassamento" che - anche se quantitativamente poco significativa poiché non fornisce informazioni sulla totalità della carica nell'olio - ha una notevole rilevanza qualitativa nel confronto tra diversi modelli di filtro.



➤ FIG. 8 - COLLETTORE DI CARICA ELETTRICA

Le misure riportate di seguito sono state eseguite utilizzando olio minerale, testando elementi analoghi per dimensione ma differenti nei materiali. Nei grafici 1 e 2 si osserva l'andamento di potenziale e corrente al variare della portata per dei filtri standard in fibra di vetro o cellulosa. Il potenziale presenta, all'aumentare della portata, una crescita che inizialmente appare rapida, per poi smorzarsi quando iniziano ad avere luogo effetti di scarica (a portate diverse in base ai diversi tipi di elemento filtrante), assumendo un andamento asintotico quando i fenomeni di carica e scarica si equivalgono (grafico 1). Il valore della tensione ad alte portate, pertanto, si assesta anziché divergere. Le scariche iniziano ad aver luogo a potenziali di circa 25 kV, cui corrispondono portate diverse in funzione della dimensione e dei materiali costituenti l'ele-



➤ GRAFICO 1

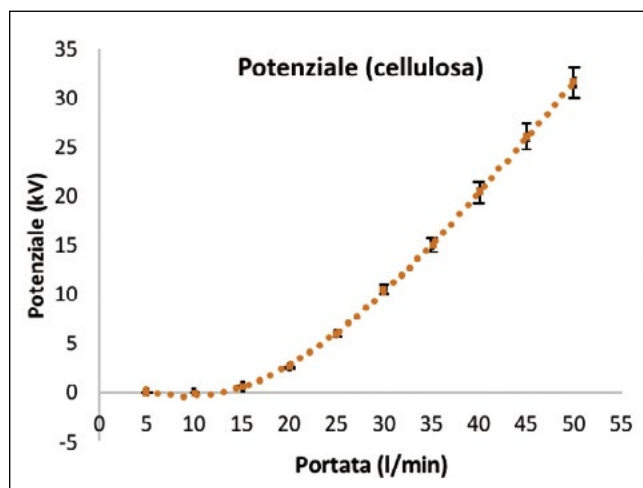
mento filtrante. Tale valore di tensione risponde alle attese, in quanto le distanze tra componenti nell'elemento filtrante sono dell'ordine dei millimetri e la rigidità dielettrica dell'olio è numericamente molto simile.

Il valore della rigidità dielettrica degli oli in uso è stato misurato a una temperatura vicina a quella di lavoro, in collaborazione con il prof. Davide Fabiani del dipartimento di ingegneria elettrica dell'UniBo. Anche la cellulosa e i materiali plastici che compongono il filtro presentano valori simili di rigidità con spessori di pochi millimetri, pertanto ci si aspetta che le scariche avvengano anche all'interno di queste componenti e non solo nell'olio. Le scariche hanno luogo anche all'interno dei materiali degli elementi filtranti, causando bruciature e in generale un deperimento degli stessi.

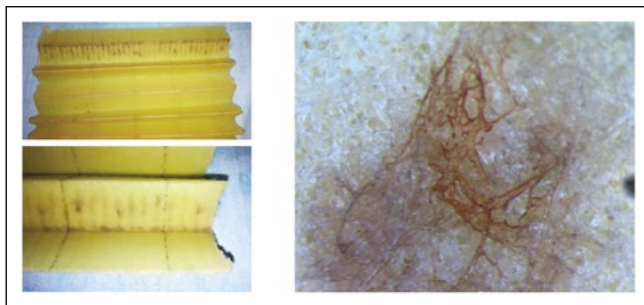
Effetti delle scariche

I fenomeni di scarica, come già segnalato, sono di difficile indagine nel momento in cui avvengono, a causa della breve durata e della variabilità. Risulta più agevole osservarne gli effetti sui corpi attraversati: filtro e olio. Per il secondo apparato difficoltoso individuare e analizzare le molecole danneggiate, pertanto si sono svolte analisi sugli elementi filtranti, che possono essere rimossi dal circuito e analizzati nel dettaglio dopo l'utilizzo. In particolare, si è ritenuto interessante analizzare gli effetti delle scariche elettrostatiche su elementi standard sottoposti a una prova di 30 minuti a una portata a cui le scariche sono frequenti e intense. Come già esposto, le scariche avvengono all'interno di diverse componenti del filtro: nel cerchietto, nel fondello e attraverso la cellulosa dello strato filtrante.

Sugli elementi in cellulosa si è osservato, sia a occhio nudo che utilizzando un microscopio ottico, un significativo danneggiamento del materiale filtrante (Fig. 9), mentre le componenti plastiche non presentano grossi danni se non nel punto del cerchietto compreso tra il tubo spiralato e la testata metallica. Pertanto si ipotizza che le scariche avvengano tra il setto filtrante e il tubo metallico di supporto interno, dal quale poi la carica elettrica passa alla testata metallica tramite ulteriore scarica.

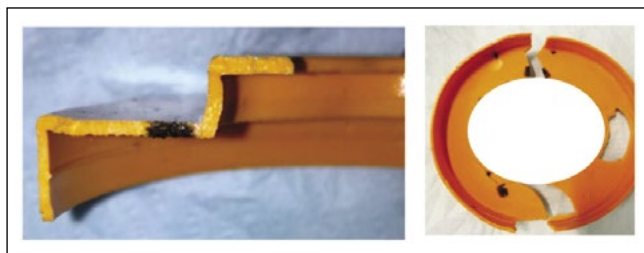


➤ GRAFICO 2

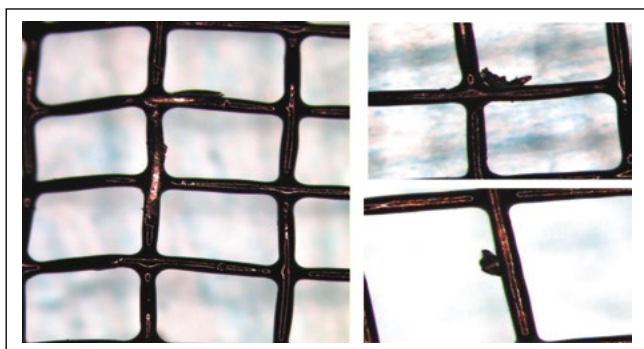


➤ FIG. 9 - IMMAGINE DI UN SETTO IN CELLULOSA DANNEGGIATO DALLE SCARICHE E DETTAGLIO AL MICROSCOPIO DELLA ZONA INTERESSATA

Per quanto riguarda i filtri in fibra di vetro, si osservano ingenti danneggiamenti solo a livello del cerchietto e della colla che lo unisce al resto del filtro. Le bruciature sono visibili superficialmente e si estendono anche all'interno del materiale (Fig. 10), compromettendone la resistenza meccanica. Si è provato a rompere il cerchietto, riscontrando come la linea di frattura segua le linee di danneggiamento causato dalle scariche (non avvengono scariche che danneggino il materiale filtrante anche perché la fibra di vetro ha una rigidità dielettrica di circa 200 kV/mm, ben più alta di quelle raggiunte nel sistema). Inoltre, si notano danni di minore entità sulla ricopertura in resina epossidica della rete metallica (Epoxy), elemento presente nel setto per tenere insieme i diversi strati (Fig. 11). L'ipotesi, in questo caso, è che la carica accumulata sul materiale filtrante venga raccolta dalla rete Epoxy, nella cui ricopertura di resina epossidica (isolante) passa una corrente di conduzione che provoca danneggiamenti della stessa. Dalla rete, le cariche si dissipano poi raggiungendo la testata metallica tramite scariche elettrostatiche. Infatti, nella colla si possono osservare segni di scarica che seguono il profilo della rete in esso incastonata.



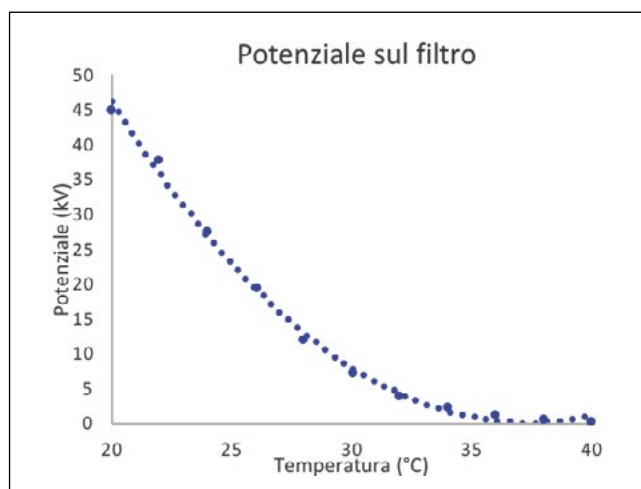
➤ FIG. 10 - DETTAGLIO DEL CERCHIETTO DI UN FILTRO IN VETRO DANNEGGIATO DALLE SCARICHE



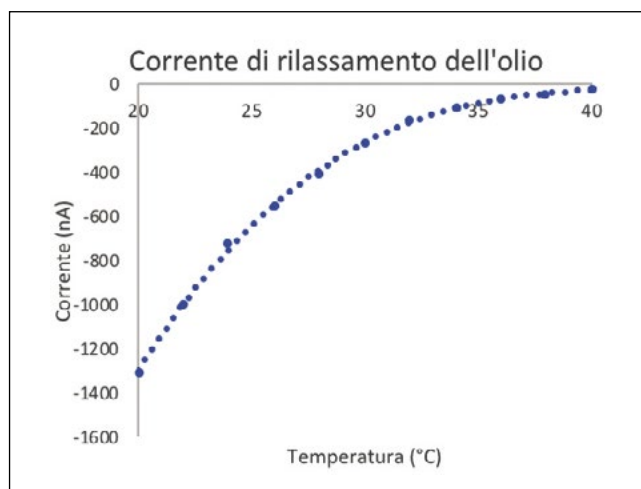
➤ FIG. 11 - IMMAGINI A VARI INGRANDIMENTI DELLA RETE EPOXY

Misure al variare della temperatura

I dati riportati nei grafici 1 e 2 sono stati raccolti variando la portata a temperatura costante. Si sono inoltre eseguite misure anche al variare della temperatura T , strettamente legata alla viscosità e resistività dell'olio: all'aumentare di T questi due parametri si abbassano, riducendo l'intensità degli effetti triboelettrici e quindi dei fenomeni elettrostatici. Nelle prove è stato utilizzato un olio minerale, che scorre a portata costante attraverso un elemento filtrante in fibra di vetro standard. Nei grafici 3 e 4 si può osservare l'andamento di potenziale e corrente al variare della temperatura: entrambi diminuiscono in valore assoluto all'aumentare della portata.

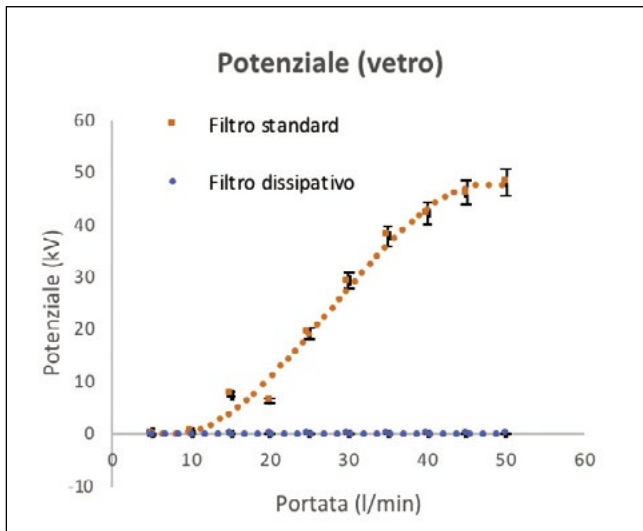


➤ GRAFICO 3



➤ GRAFICO 4

A temperature intorno ai 20°C il valore della conducibilità dell'olio utilizzato, misurato in collaborazione con l'università di Bologna, conferma che si tratta di un olio dielettrico. Aumentando la temperatura fino a 40°C la conducibilità aumenta e la corrente misurata tende a 0 μA , come si nota dal grafico, in quanto l'olio assume un carattere maggiormente conduttivo e gli effetti triboelettrici sostanzialmente cessano. Queste considerazioni sono valide per l'olio e il filtro utilizzati, ma si può confermare questo comportamento; i valori di portata e temperatura a cui gli effetti triboelettrici

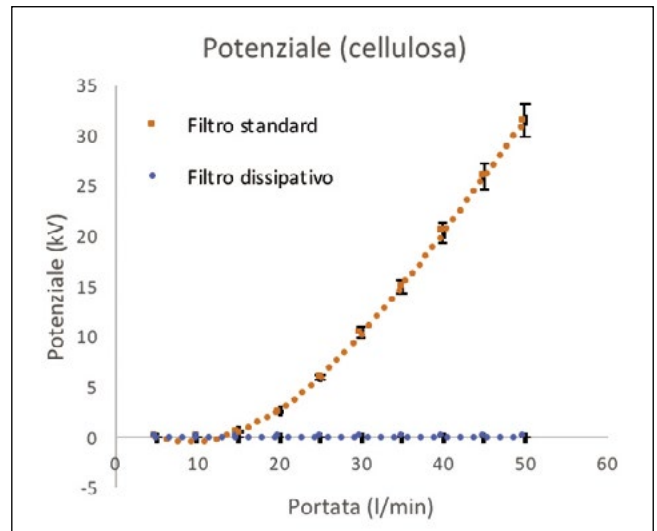


➤ GRAFICO 5

diventano trascurabili variano in base al sistema. Si evidenzia come oltre una data temperatura i fenomeni cessino di aver luogo e non ci sia necessità di utilizzare filtri cosiddetti “antistatici”; maggiori problematiche si risconterranno sempre “a freddo”, quindi talvolta solo in fase di avviamento dei macchinari.

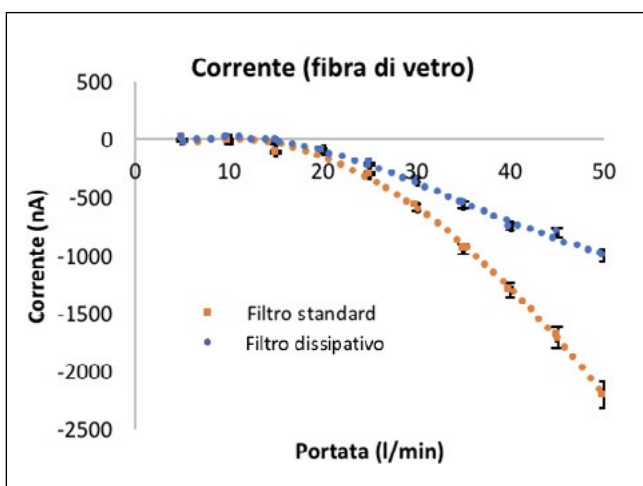
Le soluzioni

È stata individuata una soluzione al problema dell'accumulo di cariche nei filtri: è necessario che si crei all'interno dei filtri stessi una sorta di circuito elettrico, ottenuto sostituendo alcune componenti isolanti con analoghe versioni conduttive, così che le cariche sul setto siano libere di spostarsi verso la testata ed essere dissipate a terra. Definiremo i filtri così composti “dissipativi”, in quanto non evitano il presentarsi degli effetti triboelettrici ma sono in grado di dissipare la carica che si accumula, come si può vedere dai grafici 5 e 6. In blu sono rappresentati i valori per gli elementi dissipativi, in rosso quelli non. Si noti come, in condizioni di lavoro standard, il potenziale passa da decine di kV a zero, mostrando l'efficacia dei nostri filtri dissipativi.

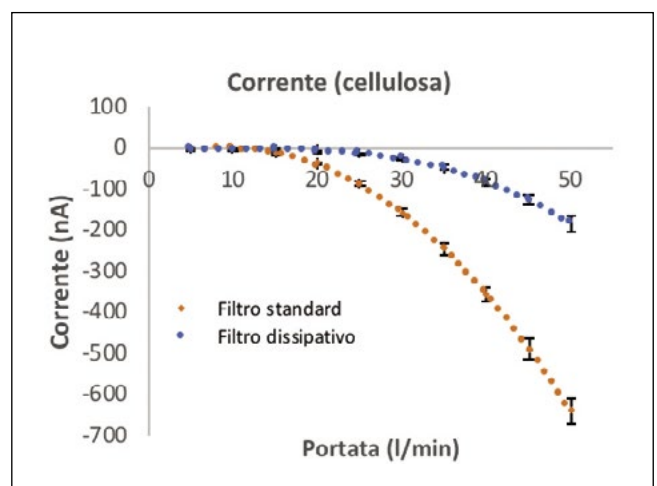


➤ GRAFICO 6

Per i modelli in fibra di vetro le correnti (grafico 7) hanno valori maggiori rispetto a quelli in cellulosa, ma per entrambi l'ordine di grandezza è il μA . Si riscontra un miglioramento utilizzando gli elementi dissipativi, nonostante i quali tuttavia non si osserva una carica netta nulla nell'olio. Gli effetti triboelettrici appaiono quindi essere minori utilizzando elementi dissipativi, ma l'effetto di carica dell'olio dovuto al passaggio nei materiali filtranti non viene evitato. L'andamento della corrente misurata risulta essere, similmente al potenziale, una crescita rapida ma non esponenziale. Tuttavia non si osserva uno smorzamento della crescita della corrente ad alte portate, pertanto non si ripete la tendenza alla saturazione (asintotica) osservata per la tensione. Si ritiene che ciò non avvenga poiché nell'olio non ha luogo alcun fenomeno analogo alla scarica elettrostatica nei filtri, responsabile della limitazione alla crescita del potenziale. Tuttavia potrebbe esserci un limite anche per l'olio qualora si raggiunga la massima ionizzazione delle molecole. Per tali analisi sarà necessario in futuro continuare le prove su un altro apparato sperimentale.



➤ GRAFICO 7



➤ GRAFICO 8

Confronto tra elementi filtranti

Si riassumono nella tabella seguente i risultati delle misure effettuate a una stessa portata e temperatura per elementi di uguale dimensione ma costruiti con materiali diversi. Si ribadisce come gli elementi dissipativi azzerino il potenziale nei filtri e riducono l'accumulo di carica nell'olio, pur non eliminandolo. Nei test eseguiti abbiamo notato come siano in commercio materiali filtranti conduttivi definiti da alcuni costruttori come antistatici, pur non essendolo in realtà.

Elemento filtrante	Potenziale (kV)	Corrente (μ A)
Microfibra di vetro (standard)	11	-6,0
Microfibra di vetro (dissipativo)	0	-9,0
Cellulosa (standard)	6	-1,3
Cellulosa (dissipativo)	0	-2,1
Altra microfibra di vetro	9-15	-7,0
Altra microfibra di vetro	3-8	-16,0

Confronto tra oli

Quando si utilizza un olio sintetico anziché minerale i valori e il segno delle due grandezze elettriche variano. Si sono eseguite misure di potenziale utilizzando gli stessi elementi filtranti con un olio minerale e con un olio estere sintetico, ottenendo i seguenti risultati:

Elemento filtrante	Olio sintetico	Olio minerale
	Potenziale (kV)	Potenziale (kV)
Microfibra di vetro standard	+30	+11
Microfibra di vetro dissipativo	~0,0	0
Cellulosa standard	-43	+6
Cellulosa dissipativo	~0,0	0

Si riconferma come l'utilizzo di elementi dissipativi elimini il



➤ FOTO DI GRUPPO DEL TEAM R&D DI MP FILTRI. A DESTRA NELLA FOTO, ALESSANDRO NEGRI, R&D MANAGER E CO-AUTORE DELLO STUDIO

problema dell'accumulo sul filtro, indipendentemente dall'olio utilizzato. Si osserva tuttavia che il segno delle cariche accumulate sui filtri in cellulosa è diverso, indicatore del fatto che la elettronegatività dell'estere sintetico ha un valore intermedio tra quello della cellulosa e della fibra di vetro (come precedentemente mostrato in Fig. 1).

Conclusioni

Il problema originario delle scariche elettrostatiche nel filtro viene evitato sostituendo alcune componenti isolanti con equivalenti conduttivi, che creano un circuito elettrico all'interno degli elementi filtranti, così che la carica elettrica generata dagli effetti triboelettrici possa dissiparsi passando per la testata metallica, collegata a terra. L'accumulo di carica nell'olio non è evitabile solo rendendo i filtri dissipativi; questi elementi garantiscono la dissipazione della carica che si accumula sul filtro, ma non di quella eventualmente pre-esistente nell'olio, per la quale si dovranno adottare contromisure differenti. Il collettore di carica costruito o un altro dissipatore, se inserito nei tubi o nel serbatoio, potrebbe essere efficace ma non risolutivo, in quanto i tempi di rilassamento della carica nei liquidi sono dell'ordine dei minuti. Se l'olio resta nel serbatoio per tempi troppo brevi potrebbe venire immesso nuovamente nel circuito con una carica residua, dando origine a ulteriori problematiche. ■



➤ VISTA INTERNA DI UN'ALA DEL LABORATORIO R&D DI MP FILTRI