SUI CONDENSATORI AD ALLUMINIO
E SULLE PROPRIETÀ DEGLI STRATI COIBENTI MOLTO SOTTILI.
Ricerche di O. M. CORBINO e S. MARESCA ¹⁾.

Nello studio dei fenomeni cui dà luogo il voltmetro ad elettrodi di alluminio si ebbero in vista più che altro, fino a pochi anni or sono, le possibili applicazioni alla costruzione di condensatori di grande capacità e al raddrizzamento delle correnti alternate.

Un esame approfondito e sistematico dei fenomeni stessi che ne metta in luce le intime particolarità, manca per quanto è a nostra conoscenza, anche tenuto conto dei lavori recenti di Lecher, Isenburg e Fischer ¹⁾; i quali, pur contenendo delle osservazioni importanti, riguardano in modo unilaterale la questione dell'origine della grande caduta anodica di potenziale, se cioè essa sia di natura ohmica o sia dovuta a una polarizzazione elettrolitica nel senso ordinario della parola.

Le prove anteriori che la prima ipotesi sia più giustificata, parvero insufficienti al Fischer il quale ne addusse delle

1) Dagli Atti dell' A. E. I. Luglio 1906.

2) Lecher-Ber. d. Wien. Akad. 107, II, 739 (1898). — Isenburg-Zeitsch. f. Elektrochemie 9, 278 (1903). — Fischer-Zeitschr. f. Physik. Chemie 48, 177 (1904). In quest' ultimo lavoro trovasi una completa bibliografia sull' argomento.

altre tendenti a dimostrare che la caduta di potenziale, in massima parte di natura ohmica, si compie lungo lo spessore del deposito direttamente visibile sull'anodo, deposito che era di alquanti *decimi* di millimetro nelle sue esperienze. D'altra parte ci è sembrato che un così grande spessore dello strato isolante faccia escludere l'idea che sulle due faccie di esso abbia luogo un accumulo notevole di elettricità per condensazione elettrostatica, si sarebbe quindi obbligati a ritenere che la grande capacità dei condensatori ad alluminio abbia origine elettrolitica e sede nella superficie di contatto tra il metallo ed il deposito, ch'è anch'esso un corpo a conduzione elettrolitica.

Nelle ricerche di cui sarà riferito in questa Nota, e in una successiva di imminente pubblicazione, fu fatto un esame minuzioso di tutti i fenomeni offerti dall'anodo di alluminio, e precisamente vennero studiati: 1° le particolarità del processo di *formazione* dell'anodo sotto diverse tensioni; 2° i valori della capacità dei condensatori ad alluminio caricati alla tensione di formazione, e l'influenza notevole del valore di questa; 3° i valori della capacità per tensioni inferiori a quella di formazione; 4° la conducibilità residua interna del voltmetro sotto varie tensioni; 5° l'impiego dei condensatori ad alluminio per la produzione di correnti a frequenza elevata e l'influenza della natura del catodo, con la determinazione della capacità per f. e. m. rapidamente variabili; 6° le proprietà elettriche dell'anodo formato, immerso a secco nel mercurio; 7° le proprietà ottiche degli strati molto sottili che si manifestano sull'anodo.

Quest'ultima ricerca formerà oggetto di una pubblicazione a parte di uno di noi, insieme con la discussione generale dei risultati ottenuti; però sin dalla conclusione del presente lavoro si avranno elementi sufficienti per ritenere che sull'anodo deve esistere uno strato dielettrico solido, di pochi centesimi di micron di spessore, e sottoposto a campi elettrostatici di straordinaria intensità e a pressioni elettrostatiche colossali.

§ 1.

Generalità sulla formazione dell'anodo.

In un vaso contenente una soluzione di tartrato doppio di sodio e potassio al 20 % introducemmo un sistema di due lamine di alluminio spulito alle quali faceva capo un circuito contenente un reostato e una forza elettromotrice regolabile a volontà tra 0 (zero) e 150 volt.

Facendo in modo che la corrente iniziale sia piuttosto intensa, in relazione con la superficie degli elettrodi, si notò uno sviluppo vivo di gas su questi e la corrente conservò per qualche tempo un'intensità elevata. Essa però diminuì progressivamente, cosicchè dopo alquanto si ridusse a una frazione piccolissima del valore iniziale.

Così con una lamina di 250 cm² di superficie e una f. e. m. di 30 volt si ebbero i seguenti valori dell'intensità, nei tempi successivi:

tempi	ampère	tempi	ampère
0	8,5	3'	0,32
25''	8	4'	0,25
30''	7	7'	0,13
35''	6	11'	0,068
40''	5	15'	0,055
46''	4	34'	0,034
52''	3	44'	0,019
1' 6''	2	1 ^h 20'	0,0175
» 30''	1.	2 ^h	0,017
2'	0,6		

Da questo punto in poi la corrente rimase sensibilmente costante, o per lo meno solo dopo tempi molto lunghi di carica si manifestarono delle lievissime diminuzioni.

Diremo che la lamina è *formata* per una certa tensione quando la corrente non manifesta ulteriori sensibili diminuzioni col tempo.

Nel caso precedente quindi la lamina richiese per formarsi, astraendo dalla corrente residua di regime, circa 620 coulomb.

Sottoponendo poscia il voltmetro a una f. e. m. maggiore, la corrente tornò ad aumentare notevolmente pur restando al disotto dei valori ottenuti nella prima formazione, e di quelli che si sarebbero avuti con una lamina vergine direttamente formata alla nuova tensione. In ogni caso però la corrente finale varia pochissimo con la tensione di formazione. Così la lamina di cui sopra sottoposta, dopo la formazione a 30 volt, alla tensione di 60 volt, diede luogo dopo soli 40 minuti circa a una corrente di 0,022 ampère e dopo un'ora e mezza a una corrente di 0,019 A. Inoltre, siccome la corrente finale, e su ciò si tornerà a lungo in seguito, diminuisce grandemente sottoponendo la lamina, già formata, a f. e. m. inferiori a quella di formazione, basta ridurre pochissimo la nuova tensione di 60 volt per ottenere la stessa intensità finale avuta a 30 volt; bastava per questo la diminuzione di una piccola frazione di volt.

Nella nuova formazione da 30 a 60 volt vennero impiegati ancora altri 100 coulomb circa. Però i coulomb richiesti per la formazione non possono dare alcun indizio positivo sull'entità dei fenomeni elettrolitici prodotti, e quindi sulla quantità dell'ossido formato, poichè di essi solo una parte ha effetto elettrolitico utile, il resto è impiegato allo sviluppo del gas che si va sempre svolgendo. Questo sviluppo è continuo sulla lamina, e occorre anzi di tanto in tanto liberarla dalle bollicine aderenti; basta a tal fine estrarre dal vaso la lamina e immergerla immediatamente da capo. Fenomeni analoghi si ebbero a tensioni più alte, almeno fino a circa 150 volt, la massima delle tensioni di cui potevano disporre.

Un tentativo di formazione a tensioni più alte fu fatto, dietro nostra preghiera, dal Dott. La Rosa a Palermo, ma con poco successo. anche accrescendo lentamente la tensione, poichè si manifestarono intensi riscaldamenti e scariche luminose, persistenti come veri archi, in molti punti della lamina. Solo dopo molti giorni di formazione assai lenta si poté raggiungere il limite di 260 volt.

Una notevole influenza sul processo di formazione viene esercitata dalla natura dell'elettrolito. Su questo punto i risultati avuti dai vari autori sono poco concordanti. Per conto nostro abbiamo trovato che i vari elettroliti, capaci di sviluppare ossigeno al polo positivo, possono dividersi in gruppi, contenenti ciascuno sali dello stesso radicale acido e di comportamento quasi identico qualunque sia l'ione elettro-positivo.

Il gruppo dei nitrati, dei carbonati e degli idrati metallici non dà quasi affatto tracce di formazione. Il gruppo dei solfati si presta abbastanza bene per la formazione con f. e. m. non troppo elevate, e comprese fra 20 e 25 volt, a seconda della concentrazione e della temperatura.

Si comportano meglio le soluzioni più concentrate e a freddo. Nessuna traccia di formazione si ebbe con gli acetati.

Ma fra tutti i sali provati, i più adatti, e a grande distanza dagli altri, si mostrarono i tartrati, cui corrispondono correnti finali molto deboli e tensioni massime di formazione molto elevate. Così mentre coi solfati (compresi gli allumi) non si può raggiungere la tensione di 30 volt, coi tartrati si può facilmente ottenere la formazione a 150 volt, e anche alquanto al di là. Per queste ragioni nelle esperienze di cui riferiamo appresso, noi adoperammo sempre una soluzione di tartrato doppio di sodio e potassio al 20 %.

Quanto all'acido solforico, esso permette la formazione fino a circa 22 volt (come era già noto); però si hanno correnti finali troppo intense anche rispetto a quelle avute coi solfati; intensissime (fino a 50 volte maggiori) rispetto alla corrente finale avuta col tartrato.

Queste indicazioni si riferiscono al caso semplice in cui gli elettrodi vengono immersi senza speciali precauzioni nell'elettrolito. Come è noto dalle ricerche del Fischer si può ottenere nell'acido solforico la formazione anche a tensioni più alte, avendo cura di raffreddare continuamente l'anodo con dispositivi opportuni.

Il voltmetro ad anodo formato, che presenta una così forte resistenza apparente per le correnti dirette, permette istantaneamente il passaggio di forti correnti inverse, anche

sotto piccole tensioni. Come è noto su questa istantaneità della sformazione è fondato l'impiego dell'alluminio nei raddrizzatori elettrolitici di corrente alternata ¹⁾.

Se la corrente inversa segue subito dopo la diretta, come ha luogo appunto con le f. e. m. alternate, il passaggio della prima si compie in tre fasi distinte, consecutiva l'una all'altra: in un primo tempo l'onda inversa neutralizza le cariche accumulate sull'anodo o per effetto di polarizzazione o per effetto di condensazione elettrostatica; in un secondo tempo l'onda inversa, per l'idrogeno che sviluppa, riduce lo strato isolante in *alcuni* punti di esso, e ristabilisce la comunicazione diretta tra il metallo ed il liquido; in un terzo tempo, infine, l'onda continua a passare attraverso questi punti scoperti. Invece l'onda diretta che segue alla precedente comincia col riformare lo strato isolante nei punti scoperti, dopo di che continua ancora il passaggio per caricare il condensatore elettrostatico od elettrolitico così formato.

Segue da ciò che i raddrizzatori elettrolitici daranno luogo ad un passaggio prevalente di elettricità in un senso ma non arresteranno l'onda diretta, quest'ultima anzi si esplicherà in misura notevole se sarà grande il numero delle alternazioni e grande la superficie della lamina, cioè la sua capacità.

Che durante le alternazioni lo strato si perfori e si riformi solo in pochi punti con l'impiego di insignificanti quantità di elettricità, risulta da diverse osservazioni.

Intanto una lamina sformata per il passaggio di una corrente inversa, anche di lunga durata, non è per nulla uguale ad una lamina vergine. Questa infatti richiede, come abbiamo veduto, notevoli intensità di corrente e di lunga durata per formarsi, mentre quella si riforma quasi istantaneamente; e anche quando la corrente sformatrice è durata a lungo, se si ristabilisce il senso diretto della corrente si ha un'impul-

1) Per lunghe formazioni in acido solforico il Fischer ottenne depositi molto spessi sull'anodo che permettevano di invertire la f. e. m. senza che la corrente, almeno per qualche tempo, acquistasse valori differenti. Ciò però non ha luogo con i depositi sottili che si formano nella soluzione da noi adoperata.

sione all' amperometro, che però torna subito al valore normale. Quando poi la corrente sformatrice trasporta una quantità di elettricità dell'ordine di grandezza che si ha nella semionda delle correnti alternate, la lamina si riforma senza intervallo apprezzabile. D'altra parte, ammessa la formazione dello strato isolante, s'intende subito che il voltmetro arresterà la corrente solo quando *tutto* l'anodo sia ricoperto, mentre, avvenuta la perforazione anche su una piccola estensione dell'elettrodo, la corrente inversa potrà passare attraverso la regione scoperta lasciando quasi indisturbata la parte rimanente dell'elettrodo stesso.

Queste considerazioni ovvie sulla sformazione e riforma-
zione dell'anodo ci saranno utili al § 6.

§ 2.

Misura della capacità dei condensatori ad alluminio caricati alla tensione di formazione.

Interrompendo la corrente di carica di un voltmetro ad alluminio, la differenza di potenziale ai suoi estremi, misurata all'elettrometro, decresce rapidamente ¹⁾.

Così per una lamina positiva avente 200 cm² di superficie in contatto col liquido, si ebbero le seguenti deviazioni successive interrompendo la corrente al tempo zero:

tempi	deviazioni	tempi	deviazioni
0	380	2'	9
10"	87	2' 20"	8
30"	35	2' 40"	7
40"	24	3'	6
50"	20	4'	5
1'	17	5'	4
1' 10"	14	6'	3
1' 20"	12	7'	2
1' 30"	11	8'	1
1' 40"	10	9'	1
1' 50"	10	10'	0

1) Questa esperienza fu già eseguita da Isenburg, ma fu da lui inesattamente interpretata. (V. Fischer, l. c.).

Si ha quindi una diminuzione rapidissima delle cariche libere nei primi istanti, ma che si va facendo sempre più lenta a misura che la tensione residua va diminuendo. Questo comportamento, analogo alla depolarizzazione spontanea del platino polarizzato, si spiega nel nostro caso ammettendo che si abbia da fare con un condensatore elettrostatico il cui dielettrico è dotato di una conducibilità interna molto variabile con l'intensità del campo elettrico. L'esperienza riferita ci rese pertanto edotti della necessità di misurare la capacità della lamina scaricando il voltmetro su un galvanometro senza alcun intervallo dalla cessazione della carica, il che si può ottenere nel modo più semplice provocando la scarica col mettere in corto circuito la batteria che serve a fornire la f. e. m. di carica.

D'altra parte questo sistema presenta, applicato senz'altro al caso attuale, un inconveniente grave, se si lascia il galvanometro adoperato per la misura della scarica permanentemente inserito nel circuito che fa capo al voltmetro: e invero il galvanometro è soggetto prima dell'impulso dovuto alla scarica a una deviazione permanente forte, causata dalla corrente residua di carica.

Dopo diverse prove ci siamo attenuti al seguente metodo, che ci si dimostrò perfettamente adatto allo scopo nelle numerosissime misure eseguite.

La corrente dovuta a una batteria di accumulatori traversa (v. fig.) un milliamperometro A, una resistenza R, e viene quindi a due dei pozzetti m, n , di un commutatore a mercurio. Chiudendo questo in un senso opportuno, la corrente, dal pozzetto q viene in S ove si biforca: una parte segue la resistenza r_1 , traversa il condensatore C e torna, attraverso al pozzetto p , in m ; un'altra parte attraversa il sistema di pozzetti con mercurio t, s , messi in comunicazione da un pezzo metallico portato da una leva mobile intorno all'asse 0, indi traversa un galvanometro balistico G seguito da una resistenza r_2 e riprende la via del condensatore che conduce al pozzetto p . Con ciò se la leva l è alzata, la corrente di carica segue la sola via r_1 , e il galvanometro resta a zero.

La leva l porta un altro pezzo metallico trasversale che mette in comunicazione i pozzetti u, v , ai quali fanno capo

due fili provenienti direttamente da m e da n . Si regolano le cose in modo che abbassando la leva si chiuda prima il tratto di circuito ts , e subito dopo il tratto uv , con che viene prima inserito il galvanometro nel circuito di carica e poi provocata la scarica, a causa del corto circuito che si viene a stabilire tra m ed n . La resistenza R , ordinariamente di 1000 ohm, aveva lo scopo d'impedire che per il corto circuito tra m ed n una corrente troppo forte traversasse il milliamperometro; si poteva inoltre ricavare dalla deviazione di quest'ultimo la tensione della batteria, dalla quale, tenendo conto del valore dell'intensità finale di carica e della resistenza del circuito di carica, si otteneva facilmente la vera f. e. m. cui era sottoposto il condensatore. La scarica partendo dall'armatura positiva 1 del condensatore traversa, biforcandosi, da una parte la resistenza r_1 ; dall'altra la r_2 , il galvanometro e il tratto stS . Le due frazioni si ricongiungono in S , e quindi per q, n, v, u, m e p si rendono all'armatura negativa 2 del condensatore. Volendo inserire permanentemente il galvanometro nel circuito di carica bastava tenere abbassata la leva e interrompere il corto circuito tra m e n per mezzo del tasto w . Nel brevissimo intervallo di

tempo che passa tra la chiusura di ts e quella di uv , il galvanometro subisce in verità un impulso dovuto alla frazione di corrente di carica che lo traversa in quell'intervallo medesimo. Ma esperienze preliminari, eseguite sostituendo al condensatore C una resistenza opportuna, ci permisero di stabilire che tale impulso è trascurabile quando la corrente stessa non supera un certo limite; in ogni caso poi si tenne conto, nelle misure, di tale impulso determinato a parte in relazione ai diversi valori dell'intensità residua di carica.

Tale correzione, che non fu mai superiore al 10 %, poté farsi esattamente, poichè si ebbe cura di lasciar cadere la leva sotto l'azione del proprio peso da un'altezza costante.

Il galvanometro adoperato è del tipo Wiedemann-Edelmann; portando via la sfera di rame destinata allo smorzamento, le oscillazioni di non grande ampiezza si seguivano praticamente senza smorzamento, di questo però si tenne conto nel caso di deviazioni forti. Ciò del resto capitò ben di rado, poichè la scelta conveniente del rapporto delle resistenze r_1 , r_2 , di cui la prima fa da shunt rispetto al galvanometro, permetteva di frazionare nel modo voluto la scarica, e di condurre l'impulsione subita dall'ago nel campo più opportuno per la misura.

Il campionamento del galvanometro fu fatto determinando la sua sensibilità per correnti costanti e la sua durata di oscillazione. Si trovò così che l'impulso di una divisione della scala corrispondeva a 1,72 microcoulomb. Si noti che una frazione della scarica ha luogo sempre internamente attraverso la lamina isolante; siccome però avemmo cura di ricorrere a resistenze complessive del circuito di scarica inferiori a 20 ohm, mentre la resistenza interna è sempre di parecchie migliaia di ohm, non era il caso di tenerne conto. D'altra parte il valore quasi insignificante dell'induttanza del circuito di scarica capace di renderla oscillatoria, dava luogo a impulsi alquanto superiori, il che sarà giustificato in seguito.

A ogni abbassamento della leva, che provoca la scarica nel modo suddetto, il galvanometro subiva un impulso, dopo il quale l'ago oscillava regolarmente intorno allo zero. Si notò quasi sempre, in verità, una corrente residua costante

molto piccola, la quale dimostrava che il voltmetro funzionava come una pila di cui l'anodo era il polo positivo; la f. e. m. di questa pila misurata all'elettrometro era di pochi decimi di volt, ma dava luogo a correnti debolissime per la forte resistenza interna dovuta al deposito. Dall'andamento generale dei fenomeni ci siamo persuasi che l'impulso primitivo sia dovuto alla scarica della elettricità condensata elettrostaticamente, per la quale non è di ostacolo, come è naturale, la lamina isolante, mentre questa fa da ostacolo quasi assoluto alle correnti che il voltmetro polarizzato elettroliticamente tende a produrre.

Procedendo nel modo indicato si cominciò col misurare la capacità di lamine spulite allo smeriglio senza precauzioni speciali, e aventi piuttosto grande superficie immersa (da 200 a 500 cm²). E si riconobbe subito la grandissima influenza della tensione di formazione, oltre a quella, meno importante, della durata della formazione medesima.

Quanto a quest'ultima, trovammo che l'incompleta formazione della lamina (quale si rivela nei primi momenti dell'azione della corrente formatrice dall'osservazione dell'elevata intensità di questa), è accompagnata da un valore elevato della capacità. Presto però si raggiunge il regime dell'invariabilità, o quasi, della corrente finale e allora anche la capacità in generale acquista un valore ben determinato e sensibilmente costante.

Tale effetto del tempo è più notevole per tensioni di formazione piuttosto basse e talvolta si rese sensibile anche quando la corrente residua di carica non manifestò ulteriori diminuzioni. Così per una lamina di 500 cm² che presentava dopo due ore di formazione a 30 volt la capacità di 400 microfarad e fu poi tenuta in carica tutta la notte, si ebbe l'indomani una capacità permanente di 320 microfarad, mentre la corrente residua di carica si mantenne sensibilmente invariata ¹).

Molto più degni di nota sono invece i risultati relativi all'influenza della tensione di formazione da cui si deduce

1) Sull'influenza del tempo di formazione si dovrà tornare nella Memoria annunciata relativa alle proprietà ottiche dell'anodo.

che le capacità finali e permanenti della lamina sono all'incirca inversamente proporzionali alle tensioni di formazione.

Si ebbero infatti i seguenti valori per la stessa lamina di 500 cm²:

tensione	capacità	$C \times V$
30	320	9600
60	155	9300
146	63	9200

Per una lamina quasi speculare di 300 cm² si ottenne:

tensione	capacità	$C \times V$
30	173	5200
60	66	4000
113	31	3500
144	23	3300.

Infine per una serie di laminette tagliata da un'unica lamina, aventi ciascuna la superficie di 36 cm², e lavorate con grande cura per farne quasi dei veri specchi (destinati allo studio ottico di cui si dirà appresso), si ottennero i seguenti risultati:

laminetta N.	tensione	capacità	$C \times V$
1	7,8	78	600
2	30	16,6	500
3	61	7,4	450
4	110	4,2	460
5	145	3,1	450

Nel caso delle lamine speculari particolari cure doveano esser prese per liberare la superficie dal piccolo strato di grasso che vi lascia la lavorazione e che disturbava alquanto il processo di formazione.

Dai numeri sopra riferiti si rileva, in tutti i casi, un lieve accrescimento sistematico del prodotto $C \times V$ al decrescere della tensione, almeno quando questa diviene alquanto bassa. Tale accrescimento è però soprattutto notevolmente nel caso della seconda tabella per la tensione più bassa di 30 volt e nell'ultima tabella per la bassissima tensione di 8 volt.

A parte queste deviazioni, e pur riconoscendo il loro carattere sistematico, la costanza approssimativa del prodotto $C \times V$ sufficientemente dimostrata.

Si rileva ancora dai risultati riferiti che col rendere ben levigata la superficie si diminuisce, a parità di tensione di formazione, la capacità della lamina. Così, per la tensione di 60 volt mentre la prima lamina (non speculare) presenta la capacità di 0,31 microfarad per centimetro quadrato, le altre danno il valore 0,21.

Aggiungiamo infine che noi abbiamo dato maggior peso ai valori ottenuti nell'ultima serie, sia perchè le lamine piccole permettevano un pulimento migliore; sia perchè le misure relative furono fatte quando per l'acquistata esperienza riuscimmo a liberarci di un maggior numero di lievi cause disturbatrici. Possiamo quindi concludere che per una lamina ben levigata di alluminio il prodotto $C \times V$ per tensioni di formazione non bassissime ha il valore di 12,5 microcoulomb per centimetro quadrato; cioè la massima quantità di elettricità che può condensarsi sopra 1 cm² di elettrodo speculare di alluminio è 12,5 microcoulomb per qualunque tensione di formazione.

§ 3.

Capacità della lamina per tensioni inferiori a quella di formazione.

Con le ricerche che riferiamo in questo paragrafo abbiamo messo in evidenza una notevole proprietà dell'anodo di alluminio, formato a una certa tensione; di presentare, cioè, per tutte le tensioni inferiori un comportamento ben definito e dipendente solo dalla tensione di formazione. Si ha da fare quindi con un condensatore vero e proprio di cui si tratta adesso di determinare le caratteristiche.

A questo scopo si prestò molto bene il dispositivo della figura 1, nel quale bastava diminuire la f. e. m. della batteria e alterare convenientemente il rapporto delle resistenze r_1 , r_2 in modo d'avere impulsioni al galvanometro comprese nel campo più adatto alle misure.

In verità se la lamina è rimasta qualche tempo scarica nel liquido o fuori di esso, si nota alla nuova chiusura del circuito di carica un notevole impulso al milliamperometro, come se la lamina si fosse parzialmente sformata. Prestissimo però si ristabiliscono le condizioni normali, la capacità misurata con la scarica riprende il valore che compete a una lunga carica anche prima che sia raggiunto il valore finale dell'intensità della corrente residua. La quantità di elettricità passata in più al ristabilire la corrente di carica dopo un lungo riposo della lamina pare che sia impiegata alla riformazione dell'ossido nei punti ove questo forse si scioglie parzialmente nel liquido e ad altre azioni elettrolitiche irreversibili; ma essa non viene restituita, almeno istantaneamente, nella scarica ¹).

In tutte le nostre misure abbiamo avuto sempre cura di riferirci alle scariche ottenute dopo un sufficiente tempo di carica (qualche minuto); si sono avuti i seguenti risultati:

1° Lamina quasi speculare, tensione di formazione 61 volt.

Tensione di misura	Capacità
53	65
29	50
6	46

2° La stessa lamina formata a 113 volt.

Tensione di misura	Capacità
97	31
59	28
6	26

3° Laminetta speculare N. 2 formata a 30 volt (superficie immersa 36 cm²)

1) A questo risultato fa riscontro il fenomeno noto della *non conservazione* dell'elettricità nei processi di polarizzazione e depolarizzazione elettrolitica, con cui si spiega il funzionamento del *detector* elettrolitico, ammettendo che a ogni scarica esterna la quale depolarizza l'elettrodo puntiforme, segua una nuova polarizzazione che richiede, nel prodursi, una quantità di elettricità maggiore di quella restituita nella depolarizzazione (V. Reich, Phys. Zeitschr, 5, p. 338, 1904). Abbiamo potuto, effettivamente, con un elettrodo puntiforme di alluminio (nel quale perciò la sformazione dovuta alla scarica esterna ha luogo in tutta la superficie), riprodurre l'esperienza del *detector* a punta di platino, però senza vantaggi pratici su quest'ultimo.

Tensione di misura	Capacità
28	17
15	15
8	14

4° Laminetta speculare N. 3 formata a 60 volt (sup. 36 cm²).

Tensione di misura	Capacità
57	7,3
30	6,3
15	5,7
8	5,6

5° Laminetta speculare N. 4 formata a 110 volt (sup. 36 cm²).

Tensione di misura	Capacità
104	4,2
60	3,1
30	3
8	3

6° Laminetta speculare N. 5 formata a 145 volt (sup. 36 cm²)

Tensione di misura	Capacità
138	2,9
60	2,1
30	2,0
15	2,0
8	2,0

Tutti questi risultati conducono ugualmente alla conclusione che la capacità di una stessa lamina per una tensione inferiore a quella di formazione diminuisce al diminuire della tensione. La variazione è piuttosto rilevante, superando talvolta il valore del 30 %.

§ 4.

Conducibilità residua interna della lamina.

La corrente permanente che traversa il voltmetro dipende da moltissimi elementi, cosicchè c'è riuscito difficile attribuire alle varie cause la parte dovuta.

Anzitutto essa decresce a misura che il voltmetro resta in carica per un tempo più lungo. Ma anche dopo un tempo molto lungo essa persiste e vi corrisponde un lieve ma continuo sviluppo di gas sulla lamina.

Il valore limite viene molto abbassato col ridurre la tensione al disotto di quella di formazione, mentre, come abbiamo veduto nel primo paragrafo, la corrente finale alla tensione di formazione è all'incirca la stessa qualunque sia questa tensione.

Riferiamo, a titolo di indicazione, i valori delle correnti finali ottenuti sotto diverse tensioni per le varie lamine insieme coi valori che se ne deducono per le resistenze e le conducibilità, se, come conclude il Fischer, è piccola la f. e. m. di polarizzazione.

Lamina N. 2; tensione di formazione 30 volt.

Tensione	Corrente finale in m. a.	Resistenza in Ohm	Conducibilità in micromho
30	3,5	8600	116
28	2	14000	71
15	0,12	125000	8

Lamina N. 3; tensione di formazione 60 volt.

Tensione	Corrente finale in m. a.	Resistenza in Ohm	Conducibilità in micromho
59,5	3,5	17000	59
57	2,5	23000	43
30	0,17	180000	5,5
15	0,02	750000	1,3

Lamina N. 4; tensione di formazione 110.

Tensione	Corrente finale in m. a.	Resistenza in Ohm	Conducibilità in micromho
110	8	13700	73
104	6	17300	58
60	1	60000	16,7
30	0,11	273000	3,66

Lamina N. 5; tensione di formazione 145.

Tensione	Corrente finale in m. a.	Resistenza in Ohm	Conducibilità in micromho
145	8	18100	55
139	3	46300	21,6
60	0,24	250000	4,0
30	0,10	300000	3,3
15	0,027	555000	1,8

Riferiamo i numeri soprascritti solo a titolo di indicazione generale, e per dare un'idea dell'entità delle variazioni; in realtà per cause poco ben precisate, ma soprattutto per le variazioni di temperatura del deposito, i valori ottenuti dipendevano, sebbene entro certi limiti, dalle vicissitudini subite in precedenza dall'anodo e dal tempo impiegato per passare da uno ad un altro valore della tensione, cosicchè a meno di ripetere le esperienze esattamente in identiche condizioni, non si riottengono esattamente gli stessi valori.

In conclusione la conducibilità dello strato non è un elemento così ben definito come la capacità, si può però affermare sicuramente il grandissimo aumento della corrente e quindi della conducibilità con l'aumento dell'intensità del campo elettrico. In altri termini la legge di Ohm è ben lungi dall'essere seguita, il che effettivamente era da prevedere, data la natura e la sottigliezza dello strato supposto e i notevoli riscaldamenti che l'anodo subisce al passaggio della corrente, quali furono messi in evidenza dal Lecher.

Abbiamo già accennato in principio del paragrafo 2, che per ricombinazione interna delle cariche abbandonando il voltmetro a sè dopo interrotta la carica, la differenza di potenziale ai suoi estremi decresce progressivamente.

In armonia con ciò sta un altro fatto osservato: se la scarica attraverso il galvanometro si fa avvenire dopo intervalli di tempo crescenti dall'istante in cui s'interrompe la carica, si ottengono impulsioni decrescenti.

Così per una lamina formata a 30 volt si ebbero le impulsioni S indicate nella seguente tabella nella quale i nu-

meri della colonna t denotano i tempi in secondo decorsi dall'istante in cui si interrompe la corrente di carica.

t	S
0	16
1	10
2	9
3	7,5
4	6
10	3
60	0

Or la quantità di elettricità Q che resta al tempo t sulle armature di un condensatore di capacità C il quale si scarichi lentamente attraverso una resistenza r è data, in relazione alla quantità iniziale Q_0 dalla formola

$$Q = Q_0 e^{-\frac{1}{Cr}t}$$

e una formola analoga dà la differenza di potenziale esistente nei tempi successivi tra le armature.

Tale formola non è applicabile al caso nostro, poichè essa vien dimostrata supponendo r costante, mentre al decrescere del campo residuo noi abbiamo veduto che r cresce moltissimo.

Si può però in prima approssimazione supporre che r rimanga costante entro 1 volt di variazione della differenza di potenziale esistente tra le armature, e applicare la formola di sopra per calcolare i tempi impiegati a produrre il decremento di 1 volt nella tensione residua, quando si siano determinati a parte i valori che acquista r per bruschi passaggi dalla tensione iniziale a una qualsiasi tensione inferiore. Noi tentammo di far questa misura, e ne deducemmo che la differenza di potenziale deve ridursi da 30 volt a 18 volt in un tempo abbastanza prossimo a un secondo; or dall'ultima tabella si deduce che in un secondo la quantità di elettricità scaricata si riduce appunto da 16 a 10, cioè come da 30 a

18. Si tratta però di una coincidenza abbastanza grossolana, nè c'era da sperare di più data l'incertezza nei valori di r .

Si noti ancora che questa coincidenza non costituisce una prova che l'anodo di alluminio accumuli le cariche col meccanismo della condensazione elettrostatica anzichè per una polarizzazione elettrolitica; invero la nozione della conducibilità residua della lamina isolante e quella della depolarizzazione spontanea sono perfettamente equivalenti da questo punto di vista.

§ 5.

Impiego dei condensatori ad alluminio per la produzione delle correnti di Duddel. Influenza del catodo.

Allo scopo di definire meglio le proprietà dei condensatori ad alluminio ci sembrò utile studiarli sotto l'azione di f. e. m. rapidamente variabili, per produrre le quali non avevamo altro mezzo che far servire lo stesso voltmetro alla produzione delle correnti di Duddel.

Si noti che per far funzionare un condensatore ad alluminio con f. e. m. alternative ordinarie occorre che siano formati tanto l'anodo che il catodo, in modo che il primo funzioni da condensatore durante il passaggio dell'onda diretta che sforma il secondo e viceversa. Invece il sistema costituito da un anodo formato e da un catodo vergine o di altro metallo, funzionerebbe in tali condizioni da valvola o raddrizzatore elettrolitico. Le condizioni sono molto diverse nello schema di Duddel, poichè trovandosi il condensatore sottoposto alla tensione permanente che esiste ai poli dell'arco, le oscillazioni si compiono intorno ad essa, e se non sono molto ampie può avvenire che la differenza di potenziale tra gli elettrodi non cambi mai di segno.

Quando questo avviene è chiaro che il catodo potrà essere di un metallo qualunque, poichè lo strato di ossido sull'anodo resta permanentemente, e il catodo non ha altra funzione che di trasferire le cariche al liquido che fa da armatura esterna.

In conformità a queste previsioni noi siamo riusciti a riprodurre l'esperienza dell'arco musicale di Duddel con un catodo qualunque, di piombo, di platino o di alluminio vergine; e i caratteri generali del fenomeno non differiscono da quelli già precisati da uno di noi in un altro lavoro ¹⁾. In particolare accorciando l'arco e accrescendo l'intensità della corrente principale, la frequenza monta progressivamente raggiungendosi un suono di altezza limite che riteniamo corrisponda all'annullamento della troncatura della sinusoide, cioè al raggiungimento della sinusoidalità e quindi dalle condizioni di risonanza.

Con un'induttanza di 6,9 millihenry avvolta su legno e un anodo di alluminio già formato di circa 300 cm² di superficie immersa, mentre funzionava indifferentemente da catodo o una lamina di alluminio vergine, o una lamina di piombo o di platino, si ebbe un suono limite corrispondente a 440 vibrazioni complete.

I numeri di vibrazione ottenuti col cambiare l'induttanza si trovarono sensibilmente concordanti con la condizione di risonanza.

Se ne deduce come valore della capacità, applicando la condizione di risonanza che riteniamo raggiunta, 23 microfarad; valore identico a quello ottenuto con f. e. m. costanti (la lamina era formata a 140 volt). Questa conservazione del valore della capacità, malgrado la rapida variazione unilaterale della f. e. m. è di notevole importanza per dimostrare che il comportarsi dell'anodo come un condensatore è un puro effetto elettrostatico delle cariche che si accumulano sulle facce dello strato, e poco vi influiscano le azioni di natura elettrolitica.

Avviene però talvolta che l'ampiezza delle oscillazioni della tensione superi la tensione continua esistente ai poli dell'arco, il che significa che la quantità di elettricità trasportata dall'onda diretta o inversa supera quella condensata sull'anodo. Quando questo avviene, l'eccesso della quantità

1) Corbino. Sul meccanismo di produzione delle correnti di Duddel. Atti A. E. I., ottobre 1903.

trasportata dall'onda inversa sforma l'anodo in alcuni punti e passa attraverso senza altro ostacolo. Il voltmetro funzionerà in tal caso, però parzialmente e per la sola quantità di elettricità eccedente, come valvola elettrolitica che darà luogo a un passaggio prevalente di elettricità nel senso dell'onda inversa. L'esperienza rivela che anche in tali casi l'arco continua a cantare; e in concordanza con la previsione fatta noi abbiamo constatato una deviazione di un amperometro, inserito nel circuito, inversa a quella prodotta dalla tensione ai poli dell'arco; e così *l'arco viene traversato da una corrente media superiore a quella che proviene dal circuito alimentatore.*

A conferma della spiegazione data di questo interessante fenomeno, si misurò con un elettrometro di Mascart, reso idiostatico, la differenza di potenziale efficace esistente ai poli dell'induttanza, dalla quale si poté dedurre l'ampiezza delle oscillazioni di tensione ai poli del voltmetro. E si verificò che la deviazione inversa dell'amperometro avea luogo appunto quando quell'ampiezza era maggiore del valore costante della tensione esistente ai poli dell'arco.

Queste correnti inverse raggiunsero in alcuni casi 0,2 ampere; vi corrispondeva uno sviluppo marcato di bollicine di idrogeno all'anodo ¹⁾.

Il fenomeno stesso permette poi di dare la giustificazione del risultato riferito al § 2, che cioè la presenza di una forte induttanza nel circuito di scarica del voltmetro accresce l'impulsione al galvanometro. Si può invero pensare che il primo quarto della sinusoide, rappresentante l'intensità della corrente di scarica, si compia regolarmente; però alla fine di esso si annulla, com'è noto, la quantità di elettricità condensata sull'anodo, mentre la corrente prosegue a causa dell'induttanza del circuito, *sforma l'anodo* e da quell'istante il condensatore funziona come un corto circuito cosicchè la corrente prosegue sempre in un senso e si annulla aperiodicamente. In totale viene quindi trasportata una quantità di

1) Non abbiamo potuto ricercare le perturbazioni arrecate nella forma della corrente nel sopradescritto fenomeno per deficienza di mezzi.

elettricità maggiore di quella condensata, quale si ottiene per una scarica semplice non oscillatoria o quale si otterrebbe con una scarica oscillatoria di un condensatore *bilaterale*.

Se questa spiegazione è esatta, la corrente di scarica del voltmetro a *catodo neutro* non deve mai divenire oscillatoria, e quindi deve restare unilaterale qualunque sia l'induttanza del circuito di scarica. La verifica di questa previsione non potè esser fatta per mancanza di mezzi. Ci riserviamo di studiare a parte, anche dal punto di vista teorico, questo notevole comportamento.

Un altro fenomeno molto interessante si manifestò sostituendo al catodo neutro un'altra lamina di alluminio già formata e precisamente *il suono montò notevolmente d'altezza*, rivelando costantemente, nelle prove più svariate, che la capacità del voltmetro si era ridotta a metà.

A spiegare un tal risultato non basta la considerazione che si presenta immediata, che le due lamine costituiscano come un sistema di due condensatori in una serie di capacità complessiva metà di quella di ciascuna. E invero per la presenza della forza elettromotrice quasi costante dovuta all'arco, il voltmetro è traversato da una corrente continua che sforma parzialmente il catodo; ciò è confermato dall'esplorazione fatta con l'elettrometro, quando l'arco è silenzioso, della differenza di potenziale fra il liquido e ognuna delle due lamine. Una sonda immersa nel primo rivela che la intera caduta di potenziale si compie fra l'anodo e il liquido, mentre questo è quasi allo stesso potenziale ohmico del catodo. Per giungere a una spiegazione corretta poniamoci nelle condizioni più semplici, che le oscillazioni di potenziale siano unilaterali; cioè che la loro ampiezza non superi la differenza di potenziale continua ai poli dell'arco. In tal caso il supposto strato isolante dell'anodo resta permanentemente formato poichè la f. e. m. ai poli del voltmetro non s'inverte mai; quanto al catodo che è solo parzialmente sformato la prima onda inversa lo riforma quasi istantaneamente, e da allora comincia la condensazione elettrostatica; l'onda diretta che sopravviene deve anzitutto annullare quelle cariche elettrostatiche, e solo verso la fine potrà sformare nuovamente la

lamina. Questa perciò resta formata durante la quasi totalità del periodo e quindi si comporterà come un nuovo condensatore in serie col primo, riducendo a metà la capacità complessiva.

A riprova di ciò sta il fatto che tra il liquido ed il catodo si manifesta durante le oscillazioni una notevole differenza di potenziale alternativa, e inoltre che adoperando un catodo di alluminio formato, sparisce il fenomeno della deviazione inversa dell' amperometro osservata con catodo neutro.

§ 6.

Proprietà a secco dello strato isolante deposto sull'anodo.

Mentre l'anodo era in carica, esso venne tirato fuori dal liquido, lavato con molta cautela con l'acqua distillata, e quindi asciugato per evaporazione nel vuoto. Per la riuscita dell'esperienza è indispensabile non toccare la lamina con alcun corpo solido, poichè la perforazione del sottilissimo strato in un punto solo farebbe fallire la prova; però le precauzioni indicate sono sufficienti.

La lamina così preparata venne immersa in un bicchiere contenente mercurio e si constatò che la comunicazione elettrica tra la lamina ed il mercurio era interrotta, cosicchè inserendo il sistema in un circuito contenente un milliamperometro, una resistenza e una f. e. m. non troppo elevata si otteneva una corrente dello stesso ordine di grandezza di quella avuta nel bagno elettrolitico. Crescendo progressivamente la f. e. m. agente, a un certo punto si avverte un colpettino secco, come di vetro che si rompa, e subito la corrente passa denotando che lo strato si è perforato e si è perciò ristabilita la comunicazione metallica. Tirando fuori la lamina si manifesta in un punto di essa una macchia e ivi, soprattutto dopo una lavatura, si sviluppano le bellissime e note arborescenze bianche che denotano l'avvenuto contatto

tra alluminio e mercurio. È evidente che la perforazione è avvenuta in quel punto ¹⁾.

Questa esperienza è molto suggestiva per convincere che il funzionamento dell'anodo come condensatore è di origine prevalentemente elettrostatica, e che l'indebolimento finale della corrente si debba alla resistenza dello strato, anzichè a una forza contro elettromotrice di polarizzazione.

Ma v'ha di più: l'alluminio, l'ossido ed il mercurio formano un vero condensatore di cui si può facilmente misurare la capacità. A tal fine si impiegò lo stesso dispositivo dianzi descritto e si ottennero i seguenti risultati. Le laminette hanno tutte la superficie immersa di 36 cm².

a) Laminetta N. 2, formata a 30 volt. Capacità nel liquido sotto la tensione di 8 volt, 14 microfarad.

Capacità nel mercurio 9.5 microfarad. Tensione di perforamento dello strato 12 volt.

b) Laminetta N. 3, formata a 60 volt. Capacità nel liquido sotto le tensioni di 8 e 15 volt rispettivamente 5, 6 e 5, 7 microfarad. Capacità nel mercurio rispettivamente 4 e 4,1 microfarad. Tensione di perforamento 16 volt.

c) Laminetta N. 4, formata a 110 volt.

Tensione	Capacità nel liquido	Capacità nel mercurio
8	3	2,1
15	3	2,2

Tensione di perforamento 21 volt.

Laminetta N. 5 formata a 145 volt.

Tensione	Capacità nel liquido	Capacità nel mercurio
8	2,0	1,3
15	2,0	1,3

Tensione di perforamento 25 volt.

1) In alcuni casi le arborescenze medesime formarono una colonnina verticale di circa 3 mm. di diametro e 15 mm. di altezza, molto compatta e con la sommità limitata da una porzione nettamente piana.

Inoltre in ogni caso immergendo la lamina solo parzialmente, la impulsione al galvanometro si ridusse in proporzione.

Si vede dai risultati ottenuti che la lamina funziona veramente da condensatore anche nel mercurio e con costanti dipendenti solo dalla tensione di formazione, il che esclude l'idea che intervenga notevolmente la capacità di polarizzazione con l'elettrolito solido qual'è lo strato.

Un'altra proprietà notevolissima dello strato consiste nel fatto che anche a secco esso presenta una conducibilità residua diversa a seconda del senso della corrente e precisamente una conducibilità maggiore quando l'alluminio funziona da polo negativo. Evidentemente la conducibilità residua dello strato è di natura elettrolitica cosicchè, quando l'alluminio funziona da anodo, l'ossido decomposto si riforma nel punto stesso ove l'ossigeno reso libero attacca l'alluminio; mentre le condizioni son diverse quando funziona da anodo il mercurio. Anzi, in tal caso, per l'azione prolungata di f. e. m. anche molto deboli, lo strato si perfora ben presto. Riteniamo non priva d'interesse questa prova della conducibilità elettrolitica di un dielettrico solido, che fa riscontro alla elegante esperienza del Warburg sulla natura elettrolitica della conducibilità del vetro riscaldato ¹⁾.

§ 7.

Proprietà ottiche dell'anodo.

Servendosi di una laminetta speculare, alla sua formazione consegue una profonda modificazione ottica della sua superficie, che si manifesta nelle basse tensioni come variazione nel comportamento della lamina rispetto alle leggi della riflessione metallica, e nelle alte tensioni come esistenza sul metallo di un sottilissimo strato trasparente che dà luogo ai complessi fenomeni di lamine sottili su metallo.

1) Warburg. Journ. de Phys., II serie, t. III, p. 452 (1884).

La caratteristica di questo strato è la sua sorprendente uniformità di spessore, che si rivela con un' assoluta omogeneità di colore, dipendente solo dal trattamento elettrico e non dal metodo di lavatura e di asciugamento della lamina.

Lo studio molto complesso di queste proprietà e la ricerca ottica dello spessore dello strato trasparente ha formato oggetto di ricerca speciale da parte di uno di noi, che ne riferirà in altra comunicazione.

§ 8.

Osservazioni sui risultati.

Riservando alla fine dello studio sulle proprietà ottiche dei depositi che si formano sull'anodo di alluminio una discussione più dettagliata, possiamo sin da ora stabilire il confronto tra il comportamento dell'anodo stesso e quello di un elettrodo di platino polarizzato.

Anzitutto il confronto è possibile solo quando per quest'ultimo si adoperino f. e. m. minori di quella cui corrisponde l'elettrolisi continua.

Tanto l'anodo di platino quanto quello di alluminio si comportano come un condensatore, e noi abbiamo veduto nel paragrafo relativo allo studio della capacità, che l'analogia tra i due casi è veramente quasi completa. Però mentre col platino la distruzione delle cariche di polarizzazione, ottenuta per esempio con una lunga chiusura del voltmetro su sè stesso, riconduce l'elettrodo alle sue condizioni normali, cioè lo rende identico ad una lamina vergine, con l'alluminio persiste un' alterazione profonda, che non si distrugge per la neutralizzazione delle cariche accumulate sull'elettrodo.

Così abbiamo veduto che, una volta formato, l'anodo di alluminio si comporta del tutto come un condensatore elettrostatico, che può caricarsi e scaricarsi sotto tensioni minori con costanti caratteristiche dipendenti solo, e notevolmente, dalla tensione massima a cui è stato sottoposto. Abbiamo veduto ancora che ricorrendo a tensioni oscillanti intorno ad

un valore positivo tale che la curva rappresentatrice resti tutta al disopra dello zero, l'anodo presenta una capacità uguale a quella che si deduce con la chiusura del voltmetro in **corto** circuito mentre è in carica.

E abbiamo veduto infine che tirando fuori dal bagno la lamina e asciugandola con cura si può immergerla nel mercurio che funge allora da armatura esterna, e realizzare con ciò un condensatore *a secco* di capacità poco diversa da quella ottenuta nel liquido elettrolitico.

Invece una lamina di platino è assimilabile anch'essa a un condensatore elettrostatico, ma a un condensatore di natura ben singolare, tale cioè che il suo coibente si forma e si distrugge a ogni carica e scarica, dipendentemente solo dalla tensione attuale. Da tutto l'insieme delle esperienze sorge adunque spontanea l'idea che non solo la grande caduta anodica di potenziale, ma anche l'accumulo di elettricità sull'anodo siano da attribuire a uno strato isolante che avrebbe la funzione della lamina dielettrica dei condensatori elettrostatici. Per quanto riguarda la caduta anodica di potenziale a conclusioni analoghe venne il Fischer, il quale però mal si appose, a nostro parere, identificando lo strato isolante col deposito di notevole spessore (parecchi decimi di millimetro nelle di lui esperienze) che si forma sull'anodo. Invero un così grosso strato *isolante*, se può spiegare la grande resistenza interna del voltmetro, non può ugualmente giustificare la grande capacità dell'anodo; specialmente se si tien conto del risultato principale del lavoro annunziato sulle proprietà ottiche di quei depositi (anche quando sono molto sottili) secondo il quale la capacità dell'anodo e lo spessore del deposito non sono per nulla collegati tra loro.

Ammettendo come ci sembra necessario per spiegare i nostri risultati, che a uno strato *diverso* da quello direttamente visibile sull'anodo sia da attribuire il suo funzionamento come condensatore, e data la grande capacità presentata da piccole superficie di elettrodo, si deve concludere che lo strato isolante si trova sottoposto a condizioni elettriche e meccaniche di cui non si ha esempio nell'ordinario trattamento meccanico ed elettrico dei materiali.

Cominciamo infatti a stabilire l'ordine di grandezza dello spessore dello strato formato, per esempio, alla tensione di 150 volt.

Dato il valore 12,5 per il prodotto $C \times V$ relativo a 1 cm² di elettrodo, si ha come valore della capacità circa 0,08 microfarad per cm² e si deduce per rapporto dello spessore d alla costante dielettrica k all'incirca il valore

$$\frac{d}{k} = 10^{-6} \text{ cm.}$$

Per la determinazione dell'*ordine di grandezza* di d possiamo assegnare a k il valore 5, che non deve sembrare troppo piccolo poichè anche a frequenze piuttosto alte, quali quelle ottenute con le correnti di Duddel, si conserva sensibilmente lo stesso valore della capacità, si deduce allora

$$d = 5 \times 10^{-6} \text{ cm.} = 0,05 \text{ micron.}$$

Per uno strato formato a 30 volt sarà invece

$$d = 0,01 \text{ micron.}$$

Per qualunque tensione si vede intanto che lo strato isolante si trova sottoposto a un campo elettrico intensissimo, corrispondente a 3 milioni di volt per millimetro.

L'attrazione elettrostatica delle armature deve quindi determinare una pressione enorme sullo strato.

Invero tale pressione per una differenza di potenziale di 150 volt = 0,5 unità elettrostatiche è data, per unità di superficie, da

$$F = C \frac{V^2}{2d} = 0,08 \times 9 \times 10^8 \times \frac{0,25}{2 \times 5 \times 10^{-6}}$$

cioè

$$F = 2 \times 10^9 \text{ dine}$$

pressione equivalente a circa 2000 atmosfere.

Data l'esistenza di campi elettrici e di pressioni meccaniche di tale entità non può farci sorpresa alcuna la notevole

lissima variazione, constatata al § 4, della resistenza elettrica dello strato sotto diverse tensioni; e riesce al contrario imprevedibile la molto piccola variazione della capacità con la tensione *di misura*, a meno che non si ammetta che per uno stesso strato le variazioni della costante dielettrica siano tali da compensare in parte, per tensioni crescenti, la diminuzione di spessore.

Tenendo presente quest'ordine d'idee, il risultato ottenuto per cui la capacità sotto diverse tensioni di formazione e inversamente proporzionale alla tensione di formazione riceve una interpretazione molto semplice. Invero sottoponendo uno strato a una tensione superiore a quella di formazione, esso si dovrà riformare con uno spessore maggiore tale da resistere al perforamento sotto la nuova tensione il che avverrà in prima approssimazione quando si sia raggiunto lo stesso valore della forza elettrica, cioè di $\frac{V}{d}$. Esser costante

$\frac{V}{d}$ significa esser costante $C \times V$ e questo è appunto il risultato dell'esperienza.

Quanto alla conducibilità elettrica essa deve essere intimamente connessa con la capacità, finchè il campo è costante; poichè pur non essendo seguita la legge di Ohm, sembra naturale ammettere che lo strato acquisti la stessa resistenza specifica quando $\frac{V}{d}$ acquista lo stesso valore; questo avverrebbe, per quanto ci vien rivelato dai valori della capacità, alla tensione di formazione, qualunque essa sia; deve quindi lo strato, per qualunque tensione di formazione, farsi attraversare dalla stessa corrente.

In altri termini se a una tensione di formazione doppia lo strato acquista uno spessore doppio, potendosi considerare come la sovrapposizione di due strati uguali al primo, aventi agli estremi di ognuno la stessa f. e. m. di prima, il flusso di elettricità dovrà acquistare lo stesso valore.

Anche questo sembra confermato dall'esperienza.

Infine la grande rigidità dielettrica dello strato, che resisterebbe a campi di circa 3000 kilovolt per mm. non deve

sorprendere se si tien presente quanto è noto sulla crescente rigidità dielettrica degl' isolanti al diminuire dello spessore.

E anzi le lievi deviazioni della legge per cui $\frac{V}{d}$ ovvero $V \times C$ sarebbero costanti qualunque sia V , sono appunto nel senso di indicare valori crescenti di $V \times C$ o di $\frac{V}{d}$ al decrescere di V , il che esprimerebbe precisamente che spessori più piccoli di isolante sono, a parità di campo elettrico, più resistenti alla scarica.

Messina, Istituto Fisico della R. Università,
maggio 1906.