VI. Che si può ritenere non minore di 2500° la temperatura dell'estrema punta polare negativa e non minore di 3900° quella dell'estremità polare positiva dei due carboni (⁴).

Padova. Maggio 1879.

NUOVE RICERCHE SUL CALORICO SVOLTO DALLE SCINTILLE ELETTRICHE DEI CONDENSATORI E DEI ROCCHETTI D'INDUZIONE;
 PROF. EMILIO VILLARI.

(DUE NOTE ANTICIPATE).

Introduzione e riassunto di ricerche antecedenti.

In alcuni dei precedenti miei scritti (¹) ho studiato le leggi con le quali si svolge il calorico da una scintilla elettrica che nasce in una interruzione *i* del circuito, quando con lo scaricatore *S* si promuove la scarica (²). Tali leggi sono nettissime e semplici e riguardano le diverse condizioni delle esperienze; ed esse non s'accordano punto con quelle trovate dal Riess per le scariche che attraversano i fili. Per tali studi io faceva terminare i fili del circuito di scarica in due palline di platino *i*, fra le quali scoccava la scintilla di un gas secco, contenuto in un pallone di vetro, munito d'un cannello di vetro e di un indice liquido, i cui spostamenti misuravano la dilatazione ed il riscaldamento dal gas sofferto al passaggio della scintilla.

Ora fra le varie leggi trovate da me piacemi qui solo citare le due seguenti.

(1) In queste esperienze fui coadiuvato dai miei egregi assistenti Prof. Dott. Manfredo Bellati e Dott. Guglielmo De Lucchi.

(2) Villari. *Sulle leggi termiche ecc.* — *Ac. delle Sc. di Bologna*, p. 147 e seg. 1879. e *Nuovo Cimento*, 1879. Vedi anche *Acc. dei Lincei*. 1879.

(3) Vedi la figura a pag. seguente.

I. La quantità di calorico svolto in i dalla scintilla della batteria A cresce in ragione diretta della quantità di elettricità.

II. La quantità di calorico svolto dalla scintilla che si manifesta in i è indipendente dall'ampiezza del condensatore A , e perciò dalla spessezza elettrica della sua armatura interna.

Queste due leggi non possono certo rannodarsi con quelle stabilite dalle esperienze e poscia dalla teoria, pei fenomeni in generale dei riscaldamenti dei fili percorsi, sia dalle scariche dei condensatori, sia anche della corrente della pila. Io perciò mi detti assiduamente a variare le mie indagini, a fine di scoprire la cagione della discrepanza assoluta tra i fenomeni della scintilla e quelli prodotti dal riscaldamento dei fili.

Ed appunto in queste ricerche continuando, compresi che per determinare il calorico prodotto dalle scariche non mi potevo limitare a misurare solo quello generato dalla scintilla in i ; ma era mestieri di misurar quello prodotto nel filo metallico, e quello altresì generato dalla scintilla che aveva luogo contro lo scaricatore in n (*). E per misurare questo

(*) Il braccio A dello scaricatore deve essere a contatto con la bottiglia.

calorico svolto dalla scintilla in n io costrussi un apposito termometro che chiamerò

Termometro scaricatore — Esso consiste in un pallone di vetro, nel quale per apposite tubulature s'introducono due elettrodi di rame terminati con piccole palline di platino. Uno di essi è snodato ed articolato internamente, così che girando opportunamente il pallone può piegarsi, rasentare l'estremo dell'altro elettrodo, che è fisso, e chiudere il circuito. L'elettrodo fisso realmente, è formato da un tubo di rame al quale si unisce con un tubo di gomma un lungo cannello di vetro contenente una colonna di liquido glicerico, che fa da indice e misura le dilatazioni subite dal gas nel pallone all'istante della scarica. Gli elettrodi sono masticiati sulle tubulature a chiusura ermetica; e finalmente, ad una terza tubulatura del termometro è masticiato un rubinetto, che serve ad introdurre il gas nel pallone che è ben verniciato ed isolato. Così con questo termometro si misurava il calorico svolto in n , e con l'altro si misurava quello generato in i . I fili che completavano il circuito erano di rame grossi 5 millim. e corti in modo che non si riscaldavano affatto; ed essi dall'una parte erano uniti alla armatura interna della batteria, e dall'altra all'armatura esterna. In tal maniera la scarica di A produceva due scintille in i ed n , ed i termometri corrispondenti misuravano tutto il riscaldamento prodotto dalla scarica.

Ora da una prima serie di ricerche risultò, che variando la distanza degli elettrodi in i variava la lunghezza della scintilla ed il calorico da essa svolto. Del pari variava la lunghezza ed il calorico della scintilla in n , e le variazioni termiche nelle due interruzioni erano in senso inverso, così da formare una somma sempre costante.

Dunque si ricava come:

I. Legge: che il calorico totale prodotto da due scintille in i ed n è sempre costante, per una stessa scarica e, medesimo condensatore.

Poscia col metodo dei due termometri a fine di misurare sempre il calorico totale prodotto dalla scarica, io passai

a determinare prima tutto quello dovuto alla scarica totale della batteria A, quindi misurai quello generato dalla scarica incompleta, cioè da quella scarica che si produce riunendo insieme l'armatura esterna e l'interna della batteria A con quelle omologhe d'un'altra batteria eguale. E da ultimo misurai il calorico totale che si produceva per le scariche *parziali*, cioè per quelle scariche dovute alla elettricità che era rimasta nelle due batterie dopo accaduta la scarica incompleta. Ora da molte mie misure io ottenni dei risultati che possono così riassumersi:

Chiamando C tutto il calorico prodotto dalla scarica totale, si avrà che quello prodotto dalla scarica incompleta è eguale ad $\frac{1}{2}$ C: e quello prodotto dalle due scariche parziali delle due batterie è in totale eguale ancora a $\frac{1}{2}$ C: e perciò le tre scariche successive producono la stessa quantità di calore prodotto dall'unica scarica totale. Ciò è naturalissimo e risulta amplissimamente dimostrato in una mia seconda memoria sul calorico della scintilla (1).

Ma quello che qui è nuovo e singolarissimo, è il risultato che si ottiene confrontando il calorico prodotto dalla scarica totale con quello delle due scariche parziali.

Infatti noi abbiamo che il calorico totale C svolto dalla scarica totale di A, è dovuto ad una data quantità di flusso elettrico E. Ora questa stessa quantità E dopo la scarica incompleta (supponendo sempre la batteria A caricata con la medesima quantità di fluido E) si troverà accumulata in due batterie eguali, cioè in un condensatore a superficie doppia. Ebbene, scaricando questa stessa quantità E noi produciamo una quantità di calorico $\frac{1}{2}$ C, ossia metà dell'antecedente. Ora dalla II legge delle scintille indicata in principio di questo scritto, noi sappiamo che la quantità di calorico generato da una scintilla è indipendente dalla superficie del condensatore, dal quale proviene la scarica: e qui invece troviamo che il calorico totale della scarica di un condensatore di superficie doppia di un altro, è la metà dell'altro.

(1) Villari. *Nuovi Lincei*. 1879.

Questo fatto è certo di grande importanza per la teoria delle scariche e per quella della scintilla, e ci presenta il fenomeno sotto una nuova luce e nel suo aspetto vero e più generale. E quindi noi possiamo dire che le leggi termiche di una sola scintilla non sono le medesime, di quelle relative a tutto il calorico in generale svolto dalle scariche, e che se quelle sono diverse dalle note leggi di Riess e Joule è, probabilmente, perchè la seconda scintilla contro lo scaricatore modifica profondamente le leggi ordinarie delle scariche.

Nuove ricerche sulle scariche.

La importanza del soggetto mi spinse perciò a nuove investigazioni delle quali io qui presento semplicemente un cenno, riserbandomi di trattarne più estesamente in altra prossima comunicazione.

Le esperienze citate avendo mostrato come la quantità del calorico totale svolto dalla scintilla della scarica, sia influenzata dalla ampiezza del condensatore, io volli tale influenza dimostrare in modo diretto. Caricai adunque con determinate quantità di elettricità un condensatore, composto ora di 18 ed ora di 36 bottiglie, e quindi misuravo il calorico totale prodotto dalle scintille. Per semplificare però l'esperienza io producevo una sola ed unica scintilla nel pallone scaricatore, nel quale tutto il calore dovuto alla scarica si generava: il resto del circuito era continuo e composto di fili di rame grossi e corti, e perciò di resistenza piccolissima. Le esperienze furono ripetute 5 o 6 volte ed i risultati medi sono registrati nello specchio seguente:

TABELLA I.

Calore I	Cariche II	Num. Bottiglie III
56	40	18
27		36
26	30	18
13		36
78	45	18
36		36
32	35	18
18		36
Media generale di tutti i risultati		
48	38	18
24		36

È bene dire che le misure precedenti furono eseguite alternamente, caricando cioè una volta una delle due batterie ed un'altra volta l'altra batteria, e quindi dei vari risultati prendevo la media: e ciò perchè il potere condensante delle due batterie non era perfettamente eguale. I risultati precedenti sono i medj di 15 o 20 misure ciascuno. In basso del quadro sono le medie generali di tutti i numeri della tabella.

Dai risultati precedenti noi ricaviamo con assoluta esattezza la seguente

I. Legge. *Il calorico totale scolto dalla scintilla è in ragione inversa del numero delle bottiglie, e quindi della superficie del condensatore.*

Questa legge del calor totale dovuto all'unica scintilla prodotta da una scarica, si riferisce naturalmente ad una costante quantità di elettricità, e però la potremo esprimere con la relazione

$$q = k \frac{e}{n}$$

ove k indica una costante, c la carica ed n il numero delle bottiglie.

Il quoziente $\frac{c}{n}$ è eguale alla spessezza elettrica media.

per cui potremo anche dire che il calorico totale prodotto dall'unica scintilla di scarica, è proporzionale alla spessezza elettrica. Ma detta spessezza è proporzionale al potenziale della armatura interna, e perciò può dirsi in breve che la quantità di calorico prodotto dall'unica scintilla di una scarica d'un condensatore, è direttamente proporzionale alla caduta del potenziale. E tale legge riscontrasi anche nel riscaldamento dei fili percorsi dalla scarica.

Essa però s'applica al caso più generale di due scintille, ed infatti ho dimostrato più sopra che la somma dei calorici di due scintille di una stessa scarica è costante; e perchè una scintilla può considerarsi come la somma di altre molte, così può dirsi che la legge su accennata è affatto generale, e si applica a tutte le scintille, che possono nascere dalla scarica di un condensatore qualunque.

La legge precedente accomuna in un modo assai felice le leggi termiche delle scintille, a quelle in generale dei flussi elettrici pei fili metallici (Legge di Riess e Joule) e quindi può prevedersi che la scintilla segua ancora le altre leggi termiche, delle scariche e delle correnti elettriche. Tale conclusione però non può evidentemente riferirsi se non al calorico totale, prodotto da tutte le scintille che possono essere generate da una scarica, e non già a quello svolto da una sola di esse, quando ancora altre se ne producono, giacchè, come sappiamo le leggi del calorico parziale svolto da una delle molte scintille che nascono nella scarica, sono affatto speciali.

Per determinare adunque la legge che segue il calorico totale della scintilla, a me parve bene, per semplificare la ricerca, di far produrre alla scarica una sola ed unica scintilla nel termometro scaricatore, e misurare così in questo tutto il calorico che poteva esser prodotto dalla scarica, imperocchè la formazione di altre scintille, con artifizi era affatto impedita, ed inoltre la parte metallica del circuito era composta

di fili di rame di 5^m di diametro ed assai corti, i quali perciò non si riscaldavano affatto.

Le esperienze adunque furono eseguite caricando la batteria A con varie e diverse quantità di elettricità, misurate della bottiglia elettrometrica, e poscia riunite (con appositi contatti a mercurio bene isolati) le sue armature ai due elettrodi del termometro scaricatore, lo si girava opportunamente in maniera che chiudendosi il circuito si produceva in esso, nel pallone, la scintilla: ed il calorico generato si misurava con lo spostamento dell'indice termometrico. Le esperienze vennero eseguite 4 o 6 volte per ogni carica, e si fecero sempre due serie di misure: nella prima cioè le cariche andavano successivamente e di continuo crescendo, nella seconda le cariche andavano decrescendo nel medesimo ordine. Dei risultati di queste due serie di misure fu presa la media, relativa a ciascuna delle cariche, per cui ognuna di dette medie risponde a 10 o 12 misure, ed esse sono trascritte nella tabella seguente

TABELLA II.

I. SERIE		II. SERIE		MEDIE	
Calore	Cariche	Calore	Cariche	Calore	Cariche
2	6	93,5	50	1,3	6
2,2	8	59,8	45	1,6	8
3,2	10	40,8	40	2,6	10
4,9	12	29,0	35	4,3	12
7,3	14	21,3	30	6,5	14
12,4	18	17,8	26	11,7	18
18,7	22	12,6	22	15,7	22
24,6	26	11,0	18	21,2	26
23,0	30	5,6	14	22,2	30
34,0	35	3,6	12	31,5	35
41,0	40	1,9	10	41,0	40
62,0	45	1,0	8	60,9	45
73,0	50	0,6	6	83,3	50
92,0	55			92,0	55

Nella tabella precedente sono scritti i calori totali svolti dalle scintille, e le cariche che li hanno prodotti in doppia

serie: dalla quale, ricavate le medie generali dei calori, le si sono trascritte nella colonna V in corrispondenza delle cariche indicate nella colonna VI. Dopo di che credetti utile fare di nuovo le analoghe misure; ed i risultati ottenuti, come precedentemente, sono iscritti nello specchio seguente; in esso però son per semplicità riportate le sole medie della doppia serie di misure.

TABELLA III.

Calore	Cariche
I	II
0,63	6
1,63	8
2,60	10
3,98	12
4,95	14
8,02	16
11,51	18
14,00	20
14,70	22
16,33	24
19,70	26
24,10	30
27,47	34
33,25	38
43,65	42
59,85	46
73,50	50
78,40	54

Ora fra i calori prodotti e le cariche esiste naturalmente la relazione

$$\frac{C}{C'} = \frac{e^k}{e'^k}$$

ove C C' indicano calori prodotti dalle cariche e ed e', e k indica l'esponente il quale si ricava facilmente per ciascun caso. Ora per eliminare al possibile gli errori inerenti a ciascuna esperienza, io ho variamente combinato fra loro due a

due tutti i valori delle precedenti tabelle, e per ciascuna combinazione ho determinato il valore del coefficiente k ; poscia di detti coefficienti trovati ho preso la media, ed ho ottenuto per la tabella II $k = 2,08$, e per la III, $k = 2,02$ ossia in numero rotondo si ha $k = 2$.

Questi risultati, evidentemente, per ciò che si è detto più sopra, non devono variare se noi invece di considerare il calorico totale prodotto dalla scarica, con una sola ed unica scintilla consideriamo la somma di quelli generati da due o più scintille, contemporaneamente prodotte dalla scarica istessa e quindi noi possiamo enunciare come generale la seguente

Legge. *Il calorico totale prodotto dalla scarica di un condensatore per mezzo di una o più scintille, è proporzionale al quadrato delle quantità di elettricità che le genera.*

E riassumendo questa legge con la precedente potremo dire:

Che la quantità di calorico generata dalla scarica per mezzo delle scintille, è proporzionale al quadrato della quantità di elettricità, ed in ragione inversa della superficie del condensatore nel quale l'elettricità è accumulata, e per ciò possiamo scrivere

$$q = c \frac{e^2}{n} = c \frac{e}{n} \quad e = c E e,$$

ove il quoziente $\frac{e}{n}$ della carica pel numero n delle bottiglie, ossia per la superficie del condensatore, corrisponde alla spessezza o densità elettrica, e perciò

La quantità di calore è proporzionale al prodotto della carica per la spessezza elettrica, ovvero

la quantità di calore è proporzionale al prodotto della quantità d'elettricità per la caduta del potenziale.

Questa legge generale delle scariche che attraversano i gassi, è quella stessa di Riess relativa ai fili metallici percorsi dalle scariche istesse, ed è concorde con la teoria. Laonde noi possiamo concludere che le proprietà termiche di una

scintilla elettrica sono affatto peculiari e specifiche, e come tali non hanno analogia con quelle di altri fenomeni. Invece la quantità totale di calorico prodotto dalla scarica dei condensatori, per mezzo delle scintille, segue quelle medesime leggi con le quali ha luogo il riscaldamento dei fili metallici percorsi dalle scariche istesse.

Parmi però qui utile far notare come le esperienze del Riess sieno affatto parziali, imperocchè egli sperimentò sopra una piccolissima quantità di calore prodotto in una parte assai limitata di un circuito, e non teneva conto di tutta quella che si produceva dalla scintilla; invece, le mie ricerche parmi abbiano un carattere più generale, avendo io sperimentato su tutto quanto il calorico prodotto dalla scarica.

E forse il soggetto acquista maggiore importanza e generalità se si considera, contemporaneamente al calorico svolto nei fili metallici, anche quello che si genera con la scintilla. Io ho eseguito appunto in proposito alcune ricerche che espongo qui brevemente, *per prendere data*, riserbandomi fra breve a svolgere il soggetto, con tutta la estensione che merita, in altro mio scritto.

Veniamo adunque alle ricerche.

Quando s'introduce una grande resistenza nel circuito che scarica la batteria, il calorico prodotto dalla scintilla nel termometro a scintilla diminuisce sin quasi a 0, senza però che la deviazione galvanometrica soffra una diminuzione corrispondente. Le esperienze vennero eseguite scaricando la solita batteria di 18 bottiglie, caricate con una costante quantità di elettricità, attraverso il galvanometro, il termometro a scintilla ed una resistenza variabile, formata da un filo di ottone grosso 0^{mm},45, e teso in 13 giri intorno a 4 bastoni di vetro verniciati, fissati al muro con lastre di ebanite. Ciascun giro era lungo 13 metri. I risultati medi di più decine di misure sono i seguenti

Calore della scintilla	Deviaz. galvanom.	Resistenze
24,3	84,4	0,0 giri
2	67	13,0 giri
2	69	7,0 giri

Queste misure mostrano, che quando si introduce una grande resistenza metallica nel circuito scaricatore, le deviazioni del galvanometro prodotte dalla scarica rimangono quasi costanti ⁽¹⁾, mentre che il calorico prodotto da una scintilla d'una data lunghezza decresce, fino a divenire quasi nullo. Il che può avvenire sia ammettendo che la scintilla si raffreddi sia anche perchè la si assottigli, o più probabilmente per le due suddette ragioni insieme operanti.

Poscia al galvanometro sostituii il termometro scaricatore, ed al filo d'ottone precedente sostituii un cilindro di carbone lungo 50^c e grosso circa 5^{mm}. e propriamente di quelli che si adoperano per la luce elettrica; ed ottenni come media di più misure i risultati seguenti

Calore svolto nel Termometro		Resistenza introdotta
Scaricatore - A scintilla		
33,7	112,3	0,0
25,4	67,2	il cilindro di carbone

E da questi numeri risulta che il calore decresce assai sensibilmente nei due termometri, quando si introduce nel circuito una sufficiente resistenza, sebbene la intensità della corrente debba (per ciò che si è detto di sopra) esser rimasta pressochè costante.

Moltissime altre misure furono fatte i cui risultati discuterò in altra occasione; e solo qui mi piace d'aggiungere come ne ripetei varie con molta accuratezza, adoperando dei fili di ottone di determinate lunghezze, che isolati perfettamente introducevo nel circuito, nel quale vi era il solo termometro scaricatore, ove si produceva un'unica scintilla di scarica, ed in esso tutto il calorico della scintilla istessa si generava e si misurava. I risultati medi di varie esperienze, eseguite con 18 bottiglie caricate con 30 unità elettrometriche sono registrati nella seguente

(1) Le lievi diminuzioni delle deviazioni del galvanometro sono in parte dovute ad un imperfetto isolamento di esso. Io però su questo punto mi propongo ritornare con nuovi studi che farò adoperando un galvanometro tutto in ebanite che faccio costruire, ed inoltre esaminerò la questione anche col determinare nei vari casi i residui della batteria.

TABELLA IV.

Numero d'Ordine	Calore	Resistenze in metri	Somme	Differenze dalla media
	C	R	C + 2 R	
	I	II	III	IV
1	79,0	0,0	79	
2	72,0	0,2	72,4	
3	68,0	0,5	69	
4	58,6	1,0	60,6	
5	50,0	1,5	53	+7,9
6	45,0	2,0	49	+3,9
7	37,0	3,0	41	-4,1
8	33,4	4,0	41,4	-3,7
9	28,5	6,0	40,5	-4,6
10	24,5	8,0	40,5	-4,6
11	24,1	10,0	44,1	-1,0
12	22,1	14,8	51,6	+7,5
13	15,5	22,1	59	
14	13,4	30,0	73	

Media 45,1

Dai numeri precedenti si scorge che il calorico prodotto dalla scintilla va rapidamente decrescendo, col crescere della resistenza esterna del circuito, il che è perfettamente naturale, imperocchè nei vari casi il calorico che può esser prodotto da una data scarica, si distribuisce nei diversi punti del circuito a seconda della natura di esso. Quello però che è degno di nota si è l'osservare che la somma del calorico della scintilla e della doppia lunghezza ⁽¹⁾ del circuito, è espresso da un numero quasi costante, se si considerano i risultati intermedi e si trascurano gli estremi: ed infatti considerando quelli dal n. 5 p. e. al n. 12, si trova che la suddetta somma è quasi costante, abbenchè la resistenza interposta sia variata da 1 a 10 circa. Questo fatto è di una certa importanza: esso però va meglio studiato ed io qui mi sono semplicemente limitato

(1) In queste somme ho creduto bene raddoppiare i numeri esprimanti le resistenze affinchè i valori di esse e di quelli della quantità di calorico svolte dalle scintille, fossero d'un ordine di grandezza quasi eguale.

ad accennarlo, per mostrare quali estese conseguenze e relazioni possano ricavarSI dagli studi da me intrapresi sulle scintille elettriche.

E così metto termine a questa mia prima *nota anticipata*.

SULLE LEGGI TERMICHE E GALVANOMETRICHE
DELLA SCINTILLA D'INDUZIONE: PROF. E. VILLARI.

(II. NOTA ANTICIPATA).

Dopo le mie ricerche sulla scintilla dei condensatori, esposte in due estese memorie ed in una breve nota (1) io intrapresi lo studio delle proprietà delle scintille d'induzione. Però per la brevità del tempo, e per non essere ora queste mie ricerche del tutto complete, mi limiterò qui a darne un semplice sunto solo *per prenderne data*.

Le esperienze furono eseguite sulla scintilla di un grosso rocchetto di Ruhmkorff: il quale bene attivato ne produceva della lunghezza di oltre 35 cm. Il riscaldamento da esse scintille prodotto, fu misurato con uno dei miei soliti termometri a scintilla. Le intensità della corrente inducente era misurata da una buona bussola delle tangenti, messa in derivazione del circuito primario. Con questi istrumenti furono praticate molte misure ed i risultati in breve possono riassumersi nei seguenti termini:

1.° Il calorico svolto dalla scintilla d'induzione (per piccole lunghezze di esse) è pressochè proporzionale alla lunghezza della scintilla.

2.° Per lunghezze medie il calorico svolto è indipendente dalla lunghezza della scintilla.

3.° Per lunghezze assai cospicue il calorico decresce rapidissimamente con le dette lunghezze.

(1) Villari. *Atti e Rendiconti dell'Ac. delle Sc. di Bologna*. Bologna 1879 ed *Ac. dei Lincei*. Roma 1879.