SOPRA UNA MODIFICAZIONE AL METODO CALORIMETRICO DI KOPP E SUL
CALORE SPECIFICO DI ALCUNI SALI ORGANICI; NOTA DEL DOTTORE
STEFANO PAGLIANI.

Il metodo di Kopp per la determinazione del calore specifico tanto di corpi solidi che liquidi riposa sul principio del metodo delle mescolanze. In esso una sostanza solida viene introdotta in frantumi in un tubetto di vetro insieme ad un liquido di calor specifico noto e si chiude il tubo con un tappo in cui sta infisso un filo di ferro. Il tubetto viene scaldato immergendolo nel mercurio di un vaso che si riscalda per mezzo di un bagno ad olio, riscaldato questo alla sua volta da un bagno di sabbia. Quando la temperatura si è conservata costante per un certo tempo al grado voluto, si porta rapidamente il tubetto in un calorimetro contenente una quantità conveniente di acqua e vi si immerge sempre fino ad una data altezza, che deve essere la stessa in tutte le determinazioni, generalmente fino all'altezza della superficie inferiore del tappo di sughero. Si determina prima di tutto l'equivalente in acqua del tubetto per quella porzione che verrà immersa in tutte le determinazioni. Ciò si ottiene riscaldando il tubetto vuoto sino ad una temperatura T ; portandolo poi nel calorimetro, si osserva la temperatura a cui viene scaldata l'acqua, e fatte le debite correzioni, se essa sia t' , se sia t la temperatura iniziale di quest'acqua e P il suo peso, l'equivalente del tubetto sarà dato da $a = \frac{P(t' - t)}{T - t'}$.

In ciascuna determinazione per le sostanze solide, si fanno le stesse operazioni. Chiamando p il peso della sostanza, p' il peso del liquido, con cui viene bagnata, ed il suo calore specifico c' , il calore specifico da determinarsi sarà dato da

$$c = \frac{P(t' - t) - (a + p'c')(t - t')}{p(T - t')}$$

Per le sostanze liquide, sia p il peso del liquido dato, sarà

$$c = \frac{P(t' - t) - a(T - t')}{p(T - t)}$$

Una delle difficoltà principali, che si incontrano nella applicazione del metodo di Kopp consiste nell'ottenere la costanza di temperatura nel bagno a mercurio, difficoltà che fa sì che talora si richieda molto tempo per le determinazioni, specialmente quando si vuol operare a temperature un po' alte.

Fig. 1.

Dovendo fare delle determinazioni di calori specifici di sali organici ho cercato di eliminare questa difficoltà per rendere molto più breve il tempo di ogni determinazione. A tale scopo invece del bagno a mercurio ho applicato il riscaldamento a vapore, pur non aumentando molto le dimensioni dell'apparato, nè diminuendo la semplicità dell'operazione.

L'apparecchio di cui mi servo consiste in un manicotto di vetro *a* (fig. 1), portato da una ghiera *b* di ferro, come quella proposta dal prof. Schiff per l'apparecchio di Hofmann per le densità di vapore. Questo manicotto di vetro, del diametro interno di 4 cm. circa e della lunghezza di circa 15 cm., è chiuso da un tappo di sughero che porta due fori l'uno grande nel quale passa un tubo di ottone *c* a pareti assai sottili, l'altro in cui entra un tubo di vetro *d* piegato ad angolo retto che conduce il vapore da un matraccio di vetro, a cui sta unito, essendo manicotto e matraccio portati dallo stesso sostegno. Nel tubo di ottone *c*, del diametro interno di 16 mm. circa e lungo 18 cm., chiuso all'estremità inferiore, si introduce il tubetto, che serve per la determinazione ed un termometro. L'estremità superiore, dopo introdotto tubetto e termometro, si chiude con un po' di cotone per impedire le correnti d'aria. Il tubo *c* della ghiera è messo in comunicazione o con un semplice tubo di vetro o con un refrigerante secondo la sostanza che si adopera per produrre i vapori. Questi vapori en-

trano per il tubo *d* nel manicotto di vetro, circondano il tubo di ottone ed escono per il tubo *e* e vanno così a condensarsi. In breve tempo si può ottenere una temperatura costante nello spazio *c* e facilmente vi si può mantenere a volontà regolando la fiamma e quindi l'afflusso dei vapori. Di più si vede come, variando la natura del liquido generatore dei vapori, si possano far determinazioni a temperature diverse con molta facilità. Si può adoperare, acqua, alcool, etere, benzina, acetone, cloroformio, ecc. Non è poi necessario che i liquidi sieno chimicamente puri, perchè certe impurità non impediscono che lo spazio occupato dai vapori assuma una temperatura sufficientemente costante; e quando anche essa oscilli nell'intervallo di 10 a 15' minuti di 2 a 3 decimi di grado, facendo diverse letture si può prendere una media di esse ed avere così molto approssimativamente la temperatura vera, a cui fu scaldato il corpo. Si sa che solo nel caso di temperature basse, è necessario conoscere con somma esattezza il valore di quella temperatura. Con esperienze apposite ho determinata la differenza fra la temperatura nel tubo di ottone e quella nel tubetto; la trovai circa $0^{\circ},3$ e di essa tenni conto nel calcolo. Si vedrà nei dati sperimentali citati più sotto come la temperatura dell'interno del tubo di ottone non è la stessa in tutte le determinazioni anche adoperando lo stesso liquido; essa dipende da circostanze diverse e specialmente dal maggior o minore afflusso di vapori. Il manicotto è difeso da una custodia cilindrica in metallo. Il matraccio è chiuso da un tappo a due fori, nell'uno dei quali passa il tubo che va al manicotto, nell'altro un tubo ad imbuto col rubinetto. In tal modo, quando dopo una determinazione una certa quantità di liquido sia distillata, la si può aggiungere senza aprire il matraccio.

Quanto al modo di sostenere il tubetto trovai opportuno di non stringere il filo di ferro fra le branche di una morsa da sostegno, ma di farne passare una estremità in una lamina di sughero e tenervela fissa al di sopra per mezzo di un serrafilo a vite di pressione; in questo modo si possono produrre facilmente dei piccoli innalzamenti e abbassamenti del tubetto, secondo il bisogno. Di più la lamina di sughero è portata da una forchetta orizzontale annessa al sostegno dell'apparecchio riscaldante. Non si ha al momento dell'immersione che da trasportare la detta

lamina sopra un'altra forchetta orizzontale messa al di sopra del calorimetro. Così non si devono maneggiare delle morse, cosa che non è sempre molto comoda e spiccia.

Quando si tratta di sostanze liquide che si devono o si ponno chiudere facilmente in tubi saldati alla lampada, questi tubi sono stretti fra le due piccole ganasce di una morsa, di forma tale che chiuse formano quasi un cilindro cavo, e facilmente si possono aprire. Al momento della immersione non si fa che portare la morsa col tubetto al di sopra del calorimetro, fare aprire la morsa, e il tubetto cade nel calorimetro, dove l'agitatore lo porta a contatto di tutta la massa liquida. Questa operazione si fa in modo quasi istantaneo.

Il calorimetro è di ottone, piccolo e disposto nel modo solito, difeso convenientemente. I termometri adoperati furono confrontati con un campione, confrontato a sua volta col termometro ad aria. Sull'uno, quello dell'apparecchio riscaldante, si poteva con un cannocchiale apprezzare $\frac{1}{10}$ di grado; sull'altro, quello del calorimetro, $\frac{1}{100}$ di grado.

Per fare un'operazione si scalda il liquido nel matraccio, si introduce nel tubo di ottone il tubetto ed il termometro. Dal momento in cui incomincia la distillazione nel refrigerante in 15' a 20' si ottiene temperatura costante nel tubo di ottone. Vi si mantiene per altri 15'. Intanto si è disposta l'acqua ed il termometro nel calorimetro, e si sono fatte le letture per questo, affine di conoscere l'andamento della temperatura in esso, il che è necessario poi per fare le correzioni. Al momento opportuno si fa l'immersione e si continua a leggere ogni mezzo minuto il termometro del calorimetro; quando la temperatura di esso, raggiunto il massimo, comincia a ridiscendere, si continua a leggere ancora per 15' a 20' minuti, di minuto in minuto. In tal modo si ha tutto il necessario per fare le correzioni. Si vede che in tre quarti d'ora, si può fare un'intera operazione.

Le correzioni si possono fare col metodo di Regnault partendo dal valore immediatamente inferiore al massimo.

Citerò qui alcune determinazioni di calor specifico di sostanze liquide e poi di sostanze solide, e infine quelle dei sali di sodio, dei primi cinque acidi della serie dell'acido formico.

Determinazioni di calor specifico di liquidi. — Per fare queste determinazioni ho detto che si poteva introdurre il liquido

in tubi da chiudersi poi alla lampada. I liquidi vengono introdotti in questo modo nei tubetti. Si mette il liquido da studiarsi

Fig. 2.

in un recipiente (fig. 2), il cui collo porta un tubo saldato ad angolo un po' ottuso. Si fissa per mezzo di un tubo di gomma in questo collo il tubetto, chiuso da una parte, e con punta affilata ed aperta dall'altra che si immerge nel liquido. Il tubo del collo viene messo in comunicazione per mezzo di altro piccolo recipiente con una pompa aspirante a mano. Disposte le cose in tal modo, si aspira l'aria e si lascia poi entrare il liquido nel tubetto chiudendo il robinetto della pompa. Quando

è quasi pieno, si toglie, e, asciugatane la punta, si chiude con un colpo di fuoco. In tal modo si possono introdurre anche soluzioni saline concentratissime, e che possono poi rimanere allo stato sovrassaturo, introducendole calde. Si comprende poi facilmente come si possa determinare il peso del vetro e della soluzione introdotta. Però in questo modo si introducono difficilmente delle soluzioni a titolo fisso, e per ciò doveva per le soluzioni saline preferire il metodo di Pfaundler. Il titolo delle soluzioni si deve determinare aprendo poi i tubetti.

Calor specifico del vetro. — Per determinare il calore specifico dei liquidi è necessario conoscere prima il calor specifico del vetro che deve formare i tubetti. Il calore specifico si determina riempiendo un tubetto dello stesso vetro con frantumi di esso e sostenendolo come si è detto per i tubetti dei liquidi. Nella tabella seguente P è il peso dell'acqua del calorimetro più l'equivalente di questo e dell'agitatore e quello della parte immersa del termometro; il primo uguale a 1,28, il secondo a 0,44; p è il peso del vetro.

T = temperatura a cui è portato il vetro.

t e t' rispettivamente temperature iniziale e finale nel calorimetro.

θ loro differenza; θ' differenza fra T e t'.

c = calor specifico osservato. Esso è dato da $c = \frac{P \theta}{p \theta'}$.

VETRO — Vapori d' acqua,

N.	<i>p</i>	T	P	<i>t</i>	<i>t'</i>	θ	θ'	<i>c</i>
1	2,550	98,0	86,28	23,77	24,22	0,45	73,78	0,204
2	2,275	97,7	61,07	22,70	23,24	0,54	74,5	0,196
3	4,090	98,4	61,64	23,41	24,36	0,95	74,1	0,193

Medio fra 23° e 99° 0,198

Vapori di acetone.

4	5,145	59,3	48,85	19,00	19,85	0,85	39,4	0,204
5	5,120	58,0	42,18	17,75	18,66	0,91	39,4	0,190
6	4,780	58,0	47,80	17,74	18,58	0,84	39,4	0,200

Medio fra 18° e 59° 0,198

Regnault aveva ottenuto 0,192. Secondo alcuni il *crown* avrebbe per calore specifico 0,198, il *flint* 0,190. Il valore medio da me ottenuto va perfettamente d'accordo.

Calore specifico dell' acqua. — Ho fatto per prova del metodo alcune determinazioni del calore specifico dell'acqua, rinchiudendole in tubetti chiusi alla lampada.

Nella tabella seguente *p* è il peso dell'acqua nel tubetto, *a* è l'equivalente in acqua di questo. Le altre lettere hanno lo stesso significato.

$$c \text{ è dato da } c = \frac{P \theta - a \theta'}{p \theta'}$$

Vapori d'acqua.

[illegible]

Vapori d' acetone.

11	3,390	0,532	59,8	94,47	17,50	19,19	1,69	40,6	1,006
12	3,390	0,532	58,4	92,59	16,26	18,01	1,75	40,4	1,018
Medio fra 18° e 60°									1,012

Calore specifico di soluzioni di solfato di Sodio. — Furono preparate, introdotte e titolate nel modo sopra detto. Cito due determinazioni di una soluzione a 50 H²O per far vedere come il risultato concordi con quello ottenuto per altra via.

[illegible]

15	3,642	0,542	99,0	96,04	20,23	23,07	2,84	75,9	0,838
16	3,642	0,542	99,2	93,25	22,69	25,51	2,82	73,7	0,831
17	3,642	0,542	98,5	100,45	22,11	24,73	2,62	73,7	0,831
18	3,642	0,542	99,2	96,66	21,66	24,41	2,75	74,8	0,827
Medio fra 23° e 100°									0,832

N.	p	a	T	P	t	t'	θ	θ'	c
19	5,459	0,599	99,1	96,29	20,40	24,19	3,79	74,9°	0,783
20	5,459	0,599	98,8	100,47	21,85	25,41	3,56	73,3	0,783
21	5,459	0,599	99,1	100,14	23,16	26,66	3,50	72,4	0,776

Medio fra 24° e 100° 0,781

Operando a temperature più basse si possono studiare soluzioni più concentrate; queste determinazioni dimostrano come si possono ottenere risultati concordanti fra loro e con quelli ottenuti con altri metodi.

Determinazioni di calor specifico di corpi solidi. — Queste determinazioni vennero fatte col tubetto chiuso con tappo di sughero, si determinò prima di tutto l'equivalente in acqua della porzione di tubo che si doveva immergere in tutte le operazioni e si trovò $a = 0,548$. Indi si determinò il calor specifico del petrolio, che è il liquido scelto per bagnare il corpo solido.

PETROLIO — *Vapori d'acqua.*

N.	p	a	T	P	t	t'	θ	θ'	c
22	2,590	0,548	99,3	92,95	16,10	17,71	1,61	81,6	0,498

Pirite cristallizzata = FeS^2 . In questi valori a è la somma degli equivalenti del tubetto e del petrolio introdotti; p peso della pirite.

N.	p	a	T	P	t	t'	θ	θ'	c
23	2,880	1,702	99,4	92,73	17,30	19,13	1,83	80,27	0,1295

Regnault trovò per calore specifico della pirite 0,1301; Naumann 0,1275; Kopp 0,126. Il mio valore va d'accordo con essi.

Calore specifico dei sali di sodio dei primi cinque acidi della serie $C^nH^{2n}O^1$. — I sali adoperati sono gli stessi che hanno servito per lo studio del calore specifico delle loro soluzioni acquose (*Atti dell' Acc. delle Scienze di Torino*, 1881). Si disseccarono prima in una stufa e, ridotti in polvere, si introdussero con petrolio nel tubetto per la determinazione. Si determinò prima l'equivalente di questo e l'una determinazione diede 0,482, l'altra 0,483. Si fecero collo stesso tubetto delle determinazioni di calore specifico dell'acqua nei vapori di acetone per verificare indirettamente quell'equivalente; così pure del petrolio che doveva poi servire per le determinazioni.

N.	p	a	T	P	t	t'	θ	θ'	c
24	3,780	0,482	58,1	102,38	20,33	21,85	1,51	36,3	1,012
25	3,780	0,482	58,0	102,26	21,10	22,59	1,49	35,4	1,008

Medio fra 21° e 58° 1,010

Petrolio.

26	2,748	0,482	57,6	102,31	20,30	20,98	0,68	36,6	0,516
27	2,740	0,482	57,5	101,98	20,88	21,54	0,66	36,0	0,506

Medio fra 21° e 58° 0,511

SALI ORGANICI DI SODIO.

Formiato di Sodio = $CHNaO^1$

28	3,940	1,232	57,2	101,94	21,09	22,01	0,92	35,2	0,313
29	3,940	1,224	57,4	102,39	20,88	21,80	0,91	35,6	0,311
30	3,940	1,221	56,9	102,20	21,00	21,84	0,84	35,1	0,313
31	3,940	1,241	57,3	102,07	20,97	21,83	0,86	35,5	0,314

Medio fra 21° e 57° 0,312

Acetato di Sodio anidro = $C^2H^3NaO^2$

N.	<i>p</i>	<i>a</i>	T	P	<i>t</i>	<i>t'</i>	θ	θ'	<i>c</i>
32	2,562	1,204	58,0	102,32	13,90	14,79	0,89	43,2	0,353
33	2,562	1,275	57,1	101,74	14,69	15,56	0,87	41,5	0,354
34	2,562	1,370	58,5	101,97	13,25	14,22	0,97	44,3	0,341
35	2,562	1,387	59,4	101,92	13,56	14,57	1,01	44,8	0,354

Medio fra 14° e 59° 0,350

Propionato di Sodio = $C^3H^3NaO^2$

36	2,705	1,273	57,3	102,25	19,89	20,69	0,80	36,6	0,360
37	2,705	1,270	57,4	102,34	20,20	21,21	0,81	36,4	0,370
38	2,705	1,267	57,4	102,08	20,44	21,25	0,81	36,2	0,378

Medio fra 20° e 57° 0,369

Butirrato di Sodio = $C^4H^7NaO^2$

39	2,313	1,341	58,5	102,45	20,38	21,16	0,78	37,3	0,346
40	2,313	1,340	57,8	102,49	21,00	21,75	0,75	36,0	0,348
41	2,313	1,391	57,9	102,52	21,32	22,10	0,78	35,8	0,344
42	2,313	1,382	58,0	102,51	21,49	22,26	0,77	35,7	0,354

Medio fra 21° e 58° 0,348

Valerato di Sodio = $C^5H^7NaO^2$

43	3,015	1,057	58,4	102,30	19,50	20,61	1,11	37,8	0,646
44	3,015	1,071	57,5	102,02	20,00	21,06	1,06	36,4	0,628
45	3,015	1,069	58,1	102,16	20,51	21,58	1,07	36,5	0,640

Medio fra 20° e 58° 0,638

Da questi dati sperimentali noi possiamo calcolare i calori molecolari di questi sali e quindi gli equivalenti in acqua delle loro soluzioni a diversa diluizione, facendo la somma del calore molecolare del sale solido anidro e di quello dell'acqua aggiunta.

Si trova che le differenze fra gli equivalenti calcolati e quelli dati dall'esperienza (*Atti dell' Accademia delle Scienze di Torino*, 1881, XVI) non sono dello stesso senso per tutti questi sali ⁽¹⁾.

Nella tabella seguente C è il calore molecolare del sale solido, C_c e C_t sono gli equivalenti delle soluzioni, calcolati nel modo anzidetto, ed i trovati, D la differenza fra i due equivalenti.

	C	25 H ² O			50 H ² O			100 H ² O			200 H ² O		
		C _c	C _t	D	C _c	C _t	D	C _c	C _t	D	C _c	C _t	D
CHNaO [*]	21,2	471	454	+17	921	901	+20	1821	1801	+20			
C [*] H [*] NaO [*]	28,7	479	478	+1	929	925	+4	1829	1822	+7			
C [*] H [*] NaO [*]	35,4	485	504	-19	935	951	-16	1835	1854	-19			
C [*] H [*] NaO [*]	38,3	488	525	-37	938	970	-32	1838	1879	-41	3638	3688	-50
C [*] H [*] NaO [*]	79,1				979	989	-10	1879	1889	-10	3679	3694	-15

Da questa tabella risulta che mentre per il formiato di sodio l'equivalente in acqua delle soluzioni, dato dall'esperienza, è sempre inferiore alla somma dei calori molecolari del sale anidro e dell'acqua aggiunta, per l'acetato questi due valori coincidono quasi esattamente, per il propionato ed il butirrato il primo è maggiore del secondo, e per il valerato presentano di nuovo soltanto piccole differenze.

Dalla stessa tabella emerge pure che i calori molecolari di questi sali omologhi vanno crescendo col peso molecolare, ma con poca regolarità. Faccio tosto osservare come una tale irregolarità si ritrova nei valori dei calori molecolari degli acidi corrispondenti e dei loro eteri, come lo dimostrano le antiche deter-

(1) Nella pubblicazione della mia seconda nota sopra i calori specifici delle soluzioni è occorsa qualche inesattezza nella penultima tabella. Essa va rettificata come segue;

$$\text{Valerato di sodio } C^*H^*NaO^* + nH^2O. \quad C_n = 989 + 18(n - 50).$$

n	c _t	P	C _t	C _n	d	c _c	d
50	0,966	124 + 900	989	989			
100	0,982	124 + 1800	1889	1889	0	0,982	0
200	0,992	124 + 3600	3694	3689	- 5	0,990	-0,002

Quindi la variazione nel valore dell'equivalente per la differenza di un gruppo CH^{*} nelle soluzioni fra il butirrato ed il valerato non è di 8 unità ma di 14 unità.

minazioni di Regnault, Favre e Silbermann, Kopp e le recenti di von Reis. Però queste ultime tenderebbero a dimostrare che se si prende in considerazione il calore specifico dei composti liquidi, che formano una serie di data funzione chimica, e di costituzione analoga, per due limiti di temperatura qualunque, p. es. fra 20° e 100°, non si hanno differenze regolari nei calori molecolari; se si prende invece per ognun termine il calore specifico per l'intervallo fra una temperatura data, per es. 20°, e quella del suo punto di ebollizione, allora, confrontando fra loro i calori molecolari così ottenuti, si avrebbe regolarità nelle differenze. Forse per i corpi solidi si dovrà anche prendere in considerazione il calore specifico per dati limiti di temperatura, che l'esperienza per ora non ci ha ancor fatto conoscere, ed anche allora si potrà avere regolarità nella variazione dei calori molecolari per date variazioni nella composizione.

Terminerò con un'osservazione relativa ad una nota del sig. Ancelin: *Sur le chauffage des wagons, voitures ecc. au moyen de l'acetate de soude cristallisé* (Comptes rendus 1881). In essa l'A. nel calcolare il calore di fusione e in seguito la quantità di calore ceduta da un dato peso di acetato di soda cristallizzato, passando da 80° a 40°, assume per calore specifico di quel sale allo stato liquido il valore 0,75, allo stato solido il valore 0,32. Le mie determinazioni darebbero per lo stato solido un valore assai differente, poichè il calore specifico da me trovato per l'acetato di sodio *anidro* è uguale a 0,350. Quindi per il cristallizzato, esso deve essere superiore. Ho fatto delle determinazioni del calore specifico dell'acetato di sodio cristallizzato; asciugato semplicemente fra carta, ed ho avuto i seguenti risultati:

N.	<i>p</i>	<i>a</i>	T	P	<i>t</i>	<i>t'</i>	θ	θ'	<i>c</i>
46	3,085	1,043	57,6	102,08	20,93	21,81	0,88	35,8	0,480
47	3,085	1,037	57,2	102,01	21,69	22,55	0,86	34,7	0,483
48	3,085	1,024	57,6	101,87	20,73	21,63	0,90	36,0	0,493
49	3,085	1,015	57,7	101,84	21,14	22,02	0,88	35,7	0,484

Medio fra 21° e 57° 0,485

Volendo anche, tenuto conto della difficoltà di disseccare perfettamente l'acetato di sodio cristallizzato e dell'influenza che l'acqua igroscopica ha sul valore del calore specifico, ritenere quel valore come superiore al vero, tuttavia credo che non ne sia molto lontano. Applicando al valore 28,7 del calore molecolare del sale anidro la legge di Person, secondo la quale il calore molecolare di un idrato è assai approssimativamente la somma di quelli del corpo anidro e dell'acqua solida, si otterrebbe per calore molecolare dell'acetato di sodio cristallizzato con 3 molecole d'acqua il valore 55,7, da cui si calcolerebbe il calore specifico riferito all'unità di peso, 0,410. Introducendo questi valori nel calcolo suaccennato il vantaggio del metodo di riscaldamento proposto è ancor sempre molto grande su quello ad acqua, ma riesce alquanto inferiore a quello assegnato da Ancelin. Ritengo quindi opportune nuove determinazioni dirette a stabilire quei dati calorimetrici relativi all'acetato di sodio cristallizzato.

Le esperienze esposte in questa nota vennero eseguite nel Laboratorio di Fisica della R. Università di Torino, diretto dal chiarissimo sig. professore Naccari.

A PROPOSITO DELLA NOTA DEL DOTT. V. *VOLTERRA*, SULLA RECIPROCI-
TÀ DELLE CORRENTI E DELLE TEMPERATURE; PROF. G. *POLONI*.

A pag. 192 del fasc. Marzo-Aprile del *N. Cimento* lessi la seguente conclusione teorica a cui arriva l'A. partendo dal teorema di Green generalizzato da Thomson e Tait:

« Se in un conduttore a due o a tre dimensioni di cui la conducibilità varia con continuità da punto a punto si fa passare una corrente d'intensità J da un punto A ad un punto B, e in due punti C e D si ha una differenza di potenziale, otterremo la stessa differenza fra i potenziali dei punti A e B quando si faccia entrare da C e uscire da D la stessa corrente d'intensità J ».