



# NILDE

Network Inter-Library Document Exchange

Il presente documento viene fornito attraverso il servizio NILDE dalla Biblioteca fornitrice, nel rispetto della vigente normativa sul Diritto d'Autore (Legge n.633 del 22/4/1941 e successive modifiche e integrazioni) e delle clausole contrattuali in essere con il titolare dei diritti di proprietà intellettuale.

**La Biblioteca fornitrice** garantisce di aver effettuato copia del presente documento assolvendo direttamente ogni e qualsiasi onere correlato alla realizzazione di detta copia.

**La Biblioteca richiedente** garantisce che il documento richiesto è destinato ad un suo utente, che ne farà uso esclusivamente personale per scopi di studio o di ricerca, ed è tenuta ad informare adeguatamente i propri utenti circa i limiti di utilizzazione dei documenti forniti mediante il servizio NILDE.

**La Biblioteca richiedente** è tenuta al rispetto della vigente normativa sul Diritto d'Autore e in particolare, ma non solo, a consegnare al richiedente un'unica copia cartacea del presente documento, distruggendo ogni eventuale copia digitale ricevuta.

**Biblioteca richiedente:** Università degli studi di Firenze Biblioteca di Scienze Tecnologiche - Ingegneria

**Data richiesta:** 21/07/2015 09:50:40

**Biblioteca fornitrice:** Biblioteca DIAEE. Area di Ingegneria elettrica

**Data evasione:** 22/07/2015 12:21:12

---

**Titolo rivista/libro:** Unità razionali di elettromagnetismo

**Titolo articolo/sezione:**

**Autore/i:** Giorgi

**ISBN:**

**DOI:**

**Anno:** 1901

**Volume:**

**Editore:** Tip. Lit. Camilla e

**Pag. iniziale:** 1

**Pag. finale:** 19

*Estratto dagli* ATTI DELL'ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ITALIANA

Vol. V. — Fasc. 6°

---

UNITÀ RAZIONALI  
DI ELETTROMAGNETISMO

---

LETTURA

dell'Ing. GIOVANNI GIORGI

*all'Assemblea Generale di Roma nella Seduta del 13 Ottobre 1901*

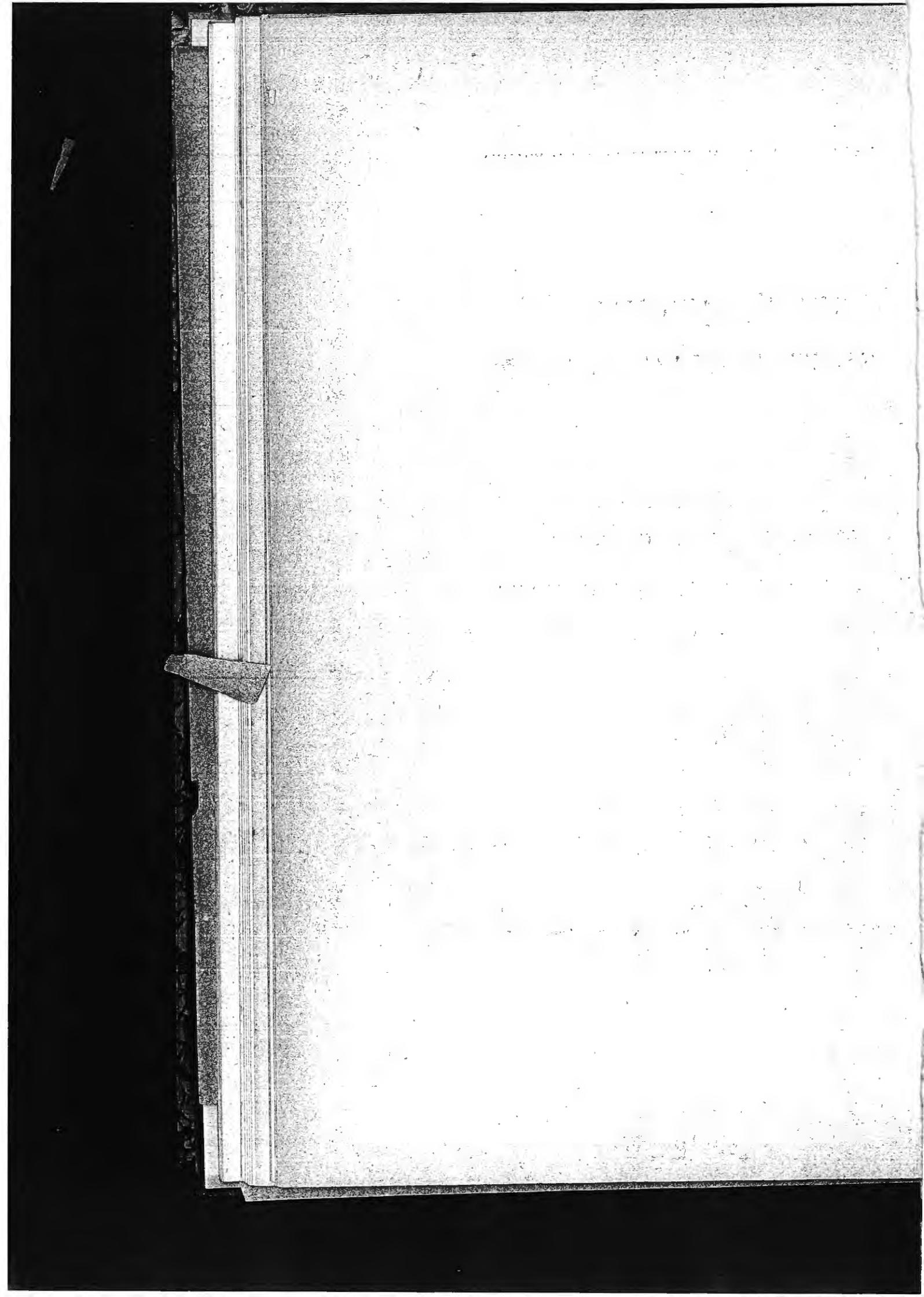


TORINO

TIP. LIT. CAMILLA E BERTOLERO DI N. BERTOLERO

*Via Ospedale, 18*

1901.



---

---

## UNITÀ RAZIONALI DI ELETTROMAGNETISMO

### LETTURA

dell'Ingegnere GIOVANNI GIORGI

*all'Assemblea generale di Roma nella Seduta del 13 Ottobre 1901.*

1. — La questione della « razionalizzazione delle unità elettromagnetiche » fu sollevata per la prima volta in Inghilterra; e in Inghilterra e in America ha suscitato vivo interesse; e i nomi più insigni nella scienza e nella tecnica l'hanno illustrata col contributo dei loro lavori.

Fra gli elettricisti del Continente sembra invece che finora questi studi non siano arrivati a destare eco sensibile. Anche in Italia la questione è rimasta generalmente inosservata; credo quindi non potermi dispensare da qualche cenno storico e illustrativo, prima di esporre le idee che formano l'oggetto del presente lavoro.

\*\*

2. — Oliver Heaviside formulò per primo la « teoria della razionalizzazione ». Le sue deduzioni si possono riassumere come segue: In molte formule di elettricità e magnetismo compare un  $4\pi$  là dove non si tratta di questioni relative, nè a circoli, nè a cilindri, nè a sfere.

Per esempio:

a) Capacità di un condensatore piano, con un dielettrico di area  $\Sigma$ , di spessore  $s$  e di costante dielettrica  $\kappa$ :

$$K = \frac{\kappa}{4\pi} \frac{\Sigma}{s}$$

b) Intensità del campo elettrostatico presso la superficie di un conduttore carico con la densità superficiale  $\sigma$ :

$$E = 4\pi\sigma$$

anche se la superficie è interamente piana;

c) Relazione caratteristica in un punto di un mezzo magnetico :

$$B = H + 4\pi J$$

d) Forza magnetomotrice di una corrente elettrica, d'intensità I:

$$M = 4\pi I,$$

e questa formula, notiamo bene, si applica anche a casi che non hanno riferimento a linee circolari o rientranti (per esempio, alla propagazione delle onde elettromagnetiche piane);

e) Equazione di Poisson:

$$\Delta^2 V = 4\pi \rho$$

f) Lavoro di magnetizzazione per unità di volume di un mezzo:

$$dw = \frac{1}{4\pi} H dB$$

g) Lavoro di elettrizzazione per unità di volume di un mezzo:

$$dw = \frac{x}{4\pi} E dE$$

e così in molti altri esempi ben noti.

3. — Chi studia per la prima volta tutte queste formule, deve credere che il  $4\pi$  è un fattore misteriosamente radicato nell'intima natura dei fenomeni elettromagnetici; per modo che se un giorno non esistessero più nè circoli, nè cilindri, nè sfere, si definirebbe  $4\pi$ , misurando il lavoro di magnetizzazione di un prisma d'acciaio, o la capacità di un condensatore ad armature piane.

Se non vogliamo accettare questa strana conclusione, dobbiamo ammettere che la definizione di qualche unità fondamentale è stata viziata da irrazionalità, includendo un  $4\pi$  fuori di luogo.

La così detta razionalizzazione delle unità consiste appunto nell'eliminare questo fattore estraneo.

4. — Heaviside ha indicato l'origine del fattore irrazionale, risalendo alle definizioni fondamentali di elettrostatica e di magnetismo.

Le unità fondamentali di massa elettrica e magnetica sono state entrambe dedotte dalla formula di Coulomb, scritta in questa guisa:

$$F = \frac{m m'}{r^2}.$$

Ora, nell'eguagliare convenzionalmente a uno il coefficiente di proporzionalità che figurerebbe in questa formula, è stata commessa una doppia omissione.

In primo luogo l'omissione di un fattore *fisico*, e cioè rispettivamente la costante elettrica o quella magnetica dell'etere libero. Ma siccome due convenzioni simultanee sulle due costanti non erano compatibili, l'omissione venne presto in luce per la discrepanza fra i così detti *sistema elettrostatico* e *sistema elettromagnetico* di misure. In secondo luogo, l'omissione di un fattore *matematico*; e questo è precisamente il  $4\pi$  che ora ci preoccupa.

5. — Per non aver a che fare col fattore fisico, scriviamo la formula di Coulomb in modo da esprimere l'induzione  $B$  a distanza  $r$  da una massa elettrica o magnetica  $m$ :

$$B = \frac{m}{r^2},$$

equazione indipendente dalla costante del mezzo.

Ora, perchè l'induzione è inversamente proporzionale al quadrato della distanza?

Perchè dalla massa emana un flusso d'induzione, il cui valore totale  $\Phi$  si conserva invariato a qualunque distanza; e in un mezzo isotropo irradia ugualmente in tutte le direzioni. Così, a distanza  $r$ , il flusso  $\Phi$  si trova ripartito uniformemente sopra una superficie sferica di area  $\Sigma = 4\pi r^2$ ; l'induzione specifica su quella superficie è quindi:

$$B = \frac{\Phi}{\Sigma} = \frac{\Phi}{4\pi r^2}.$$

In altre parole, l'induzione si distribuisce nello spazio secondo la stessa legge che vale per la velocità di un fluido incompressibile. La massa non è che una sorgente d'induzione, e corrisponde quindi a una sorgente di fluido, collocata in un punto dello spazio.

Ora, eguagliare a uno il coefficiente della formula di Coulomb, significa assumere come misura di una massa l'induzione esercitata a distanza uno. Ma la misura più naturale della potenza di una sorgente non è la velocità impressa al fluido a distanza uno, ma bensì la portata totale della sorgente stessa. Così la misura razionale di una massa elettrica o magnetica è semplicemente il flusso totale d'induzione che da essa emana; e come unità razionale di massa si deve assumere quella che mantiene l'induzione uno, non più alla *distanza uno*, ma sopra una superficie di *area uno*.

Con questa correzione, la formula di Coulomb razionalizzata diviene:

$$B = \frac{m}{\Sigma} = \frac{m}{4\pi r^2},$$

in contrapposto con quella irrazionale:

$$B = \frac{m}{r^2} = 4\pi \frac{m}{\Sigma}$$

Dalla formula irrazionale deriva il sistema ordinario di misure, le quali, per distinguerle da quelle razionali, si potrebbero chiamare *misure sferiche*.

Tutte le misure sferiche contengono un  $4\pi$  superfluo, che ricompare sotto forma di fattore nelle formule. E questo fattore si elimina correggendo, come abbiamo visto, le unità di massa elettrica e magnetica, e quindi tutte le unità derivate.

\*  
\*\*

6. — Le prime ricerche di Heaviside sulle unità razionali risalgono al 1882-83; fra i più antichi partigiani delle stesse sue idee credo potere enumerare *Fitzgerald* e *Fleming* in Inghilterra e *Fessenden* in America.

Heaviside completò questi studi nel 1891, ed avendo definitivamente adottato un sistema completo di formule razionalizzate nella sua opera magistrale *Electromagnetic Theory*, dimostrò con l'esempio pratico l'importanza della riforma. La simmetria e semplicità delle formule non solamente gli permisero di mettere in evidenza nuove relazioni, ma lo condussero a rettificare un errore commesso da Maxwell nel formulare la seconda delle sue classiche equazioni generali del campo elettromagnetico.

Allora la teoria delle misure razionali attrasse presto attenzione.

Nel 1892, *Lodge* investigò ancora la questione, confermando i risultati di Heaviside; e *Larmor* ebbe occasione d'illustrarli nei suoi studi interessanti sulla teoria dinamica dell'etere. Per altra via furono confermati ancora da *Williams* in base alla sua teoria sulle dimensioni.

E non mancarono altri studi illustrativi sull'argomento. Ma le basi scientifiche su cui si fonda il principio della razionalizzazione sono così indiscutibili, che esso non aveva bisogno di ulteriore conferma. E nessuno, che io sappia, pensò a contestarlo, o trovò difficoltà ad ammetterlo in teoria.

7. — Se la riforma delle misure elettromagnetiche non presentava ostacoli in astratto, uno scoglio davvero non lieve si presentava di fronte al sistema di unità pratiche, ormai sancito dalle convenzioni e dall'uso. E su questo punto i pareri differivano di molto.

Heaviside veramente non esitava nemmeno riguardo alla riforma pratica. La riforma, egli sosteneva, sarà presto o tardi inevitabile; il meglio è che si metta in effetto immediatamente: il fattore  $4\pi$  è conosciuto con qualsivoglia numero di cifre decimali; quindi si formi un nuovo volt, un nuovo ohm, un nuovo ampère, ecc., e le antiche unità scompariranno presto dall'uso.

Questa proposta radicale trovò oppositori e seguaci. Gli ultimi insistevano affinché l'Associazione Britannica, autrice e storicamente responsabile del sistema di unità in uso, prendesse anche l'iniziativa della riforma.

Sembra che queste idee finissero per ottenere molto favore, perchè l'Associazione Britannica dopo qualche tempo prese in considerazione la proposta.

La discussione all'Associazione si fondò sopra una relazione di Lodge, e in essa emersero le opinioni di *S. P. Thompson*, *J. Perry*, *Tremlett Carter*, decisamente fautori della riforma immediata, mentre *Ayrton*, *Bedell*, *Everett*, *Lodge* ed altri erano favorevoli in principio, ma proponevano differire a miglior tempo ogni decisione. E questo parere prevalse.

8. — Successivamente, scrissero sull'argomento *F. G. Baily*, che in alcuno dei suoi suggerimenti mostrò di trovarsi per il primo sulla vera via pratica; e *J. J. Thomson* e *Hawkins*, quest'ultimo nuovamente in appoggio alla proposta di Heaviside.

Gli ultimi e più importanti lavori sono quelli di Fessenden (1) e di Fleming (2); il primo proponendo di ottenere il risultato con una riforma parziale di unità, il secondo confermando la stessa proposta, e corredando il suo studio con interessanti sviluppi. Avrò occasione più oltre di ritornare sulle conclusioni di questi autori.

9. — Fin qui, la storia del lavoro compiuto. Essa dimostra il generale consentimento in favore del principio teorico della razionalizzazione, e nel tempo stesso la difficoltà incontrata nell'applicarne in pratica le conseguenze.

Esporrò ora come, a mio avviso, si può considerare la questione da un punto di vista più generale e ricavarne una soluzione che mi sembra sarebbe da ritenere come definitiva.

(1) « The El. World. », 9 dicembre 1899.

(2) « The Electrician », 29 dicembre 1899 e segg.

\*  
\*\*

10. — Quando Gauss gettò le basi del primo sistema assoluto di misure, difficilmente avrebbe potuto immaginare a quale eterogeneo edificio esse avrebbero un giorno servito di fondamento.

Noi abbiamo, è vero, un sistema assoluto C. G. S., ma esso si scinde in due altri, uno « elettrostatico » e uno « elettromagnetico », entrambi promiscuamente ammessi nello studio matematico della teoria.

In pratica poi, le unità di questo doppio sistema, anche quelle meccaniche, sono risultate tutte di grandezza così anormale, che ad eccezione proprio delle tre fondamentali e di qualche unità magnetica, nessuna si è introdotta in uso, non solo nella tecnica, ma nemmeno nelle misure scientifiche e di laboratorio.

Le misure meccaniche si trattano come se il sistema assoluto non esistesse. Per alcune misure elettriche è stato coniato un gruppo di « unità pratiche », le quali sono esclusivamente derivate da quelle di definizione elettromagnetica, e non solamente non si poterono ridurre a sistema assoluto, ma nemmeno estendere a tutte le diverse misure elettriche, per non implicare unità di lunghezza e di massa di valore impossibile.

Il risultato è, che mentre da una parte le formule si scrivono sempre con sottinteso riferimento a un sistema assoluto, alcune volte elettrostatico, alcune volte elettromagnetico, dall'altra si misurano, per es., le forze elettromotrici in volt, le lunghezze in metri, o centimetri, o millimetri, le forze in chilogrammi, le masse in chilogrammi esse pure, le velocità in metri per secondo, le intensità magnetiche in unità C. G. S., le potenze in watt, e così via; e quando nelle formule si tratta di sostituire i valori numerici, bisogna pure chiamare in soccorso quei coefficienti  $10^8$ ,  $10^9$ ,  $g^{-1}$ ,  $3 \times 10^8$ , ecc., necessario, ma non grato compimento di tutta l'incongrua costruzione.

11. — Intanto si può osservare almeno questo: Poichè il disaccordo fra le formule della teoria e le misure della pratica è ormai così completo, non ci deve essere più timore di accrescerlo, e nessuna esitazione deve trattenerci dal razionalizzare almeno in modo rigoroso le prime; perchè, se la conseguenza della riforma sarà anche di dovere alterare tutti i lamentati coefficienti in proporzione di  $4\pi$ , o di qualche altro fattore, non ne verrà danno di sorta.

Fermiamoci dunque anzitutto sul problema della razionalizzazione in teoria, e discutiamolo a fondo. Secondo me, questo problema è

connesso così naturalmente con quello dell'unificazione fra misure elettrostatiche ed elettromagnetiche, che non vedo come si possa fare a meno di considerarli in uno solo. La questione si presenta allora sotto un aspetto nuovo, ma in un campo più esteso, e si moltiplicano anche le vie d'uscita.

Anche senza riferimento a nessuna scelta particolare di unità di misura, possiamo determinare i fondamenti e lo schema di un sistema scientifico, il quale sia non solamente libero dal  $4\pi$ , ma contemporaneamente elettrostatico ed elettromagnetico.

In confronto solamente a questo schema, potremo sottoporre ad una analisi rigorosa la questione della riforma, sia delle unità pratiche, sia delle unità scientifiche di misura.

12. — I sistemi attuali di misure scientifiche sono dedotti dalle due formule di Coulomb, trascurando il fattore matematico e l'uno o l'altro dei due fattori fisici.

Per formare il vero sistema razionale, dobbiamo invece tener conto del  $4\pi$  e delle due costanti fisiche dell'etere.

Attribuire a una di esse il valore uno, ha potuto sembrare una semplificazione. Invece, non solamente l'edificio costruito su questa base è necessariamente dissimmetrico, ma la voluta semplificazione non serve ad altro che a favorire un equivoco: quello di confondere quantità fisiche, per esempio, la forza e l'induzione magnetica, la cui natura è altrettanto distinta, quanto lo possono essere la f. e. m. e la corrente elettrica in un circuito conduttore di resistenza uno.

Vi è dunque ogni fondata ragione affinché la costante elettrica e la costante magnetica dell'etere siano entrambe misurate da numeri diversi da uno.

Ma rinunciando ad attribuire valori particolari a queste costanti, le formule di Coulomb lasciano pienamente indeterminata la scelta di qualsiasi particolare unità. Ed è in ben altre relazioni, e più importanti, e più fondamentali, che noi dobbiamo cercare la base necessaria di un sistema razionale di elettromagnetismo.

\* \* \*

13. — Ogni fenomeno elettrico o magnetico, anzitutto, dev'essere considerato alla stregua di quei principii generali di dinamica che regolano la manifestazione di qualunque fenomeno fisico.

Nel linguaggio della dinamica generalizzata di Lagrange, si chiama *spostamento* la variazione di una qualunque delle variabili indipendenti

che determinano lo stato di un sistema fisico. Non vi è fenomeno senza trasformazione di lavoro. Quindi ogni spostamento è accompagnato da un lavoro, e si chiama *forza* associata allo spostamento, il coefficiente che moltiplica lo spostamento stesso nell'espressione dell'elemento di lavoro.

In questo ordine di idee si chiama *velocità* la variazione dello spostamento per unità di tempo. Il prodotto della velocità per la forza corrispondente dà il lavoro compiuto per unità di tempo, cioè la cosiddetta *attività* della forza.

Queste idee si applicano direttamente ai circuiti elettrici e magnetici, che vogliamo ora considerare come elementi fondamentali.

14. — In un sistema elettrico, per esempio un *circuito elettrico*, la variabile indipendente è la quantità d'elettricità  $q$  trasportata attraverso il circuito; onde sarà  $dq$  lo spostamento elementare, e  $\frac{dq}{dt} = i$  la velocità dello spostamento, che si chiama *corrente elettrica*. Alla forza associata si dà il nome di *forza elettromotrice*  $= e$ .

L'equazione dell'energia in elettricità deve dunque assumere la forma:

$$dw = e dq,$$

oppure, indicando con  $W$  l'attività:

$$W = e \frac{dq}{dt} = e i,$$

la quale lega insieme le unità razionali di corrente elettrica e di forza elettromotrice con quella di potenza meccanica.

15. — In un sistema magnetico, per esempio un *circuito magnetico*, la variabile indipendente è il flusso magnetico  $\phi$ ; quindi è  $d\phi$  lo spostamento elementare, e  $\frac{d\phi}{dt} = g$  la velocità dello spostamento, a cui per analogia è stato dato il nome di *corrente magnetica*. La forza associata si chiama *forza magnetomotrice*  $= f$ .

L'equazione dell'energia, in magnetismo, deve scriversi razionalmente:

$$dw = f d\phi,$$

ovvero:

$$W = f \frac{d\phi}{dt} = f g,$$

la quale a sua volta lega insieme le unità razionali di corrente magnetica e di forza magnetomotrice con quella di potenza meccanica

16. — Delle due formule ora ottenute, quella del lavoro elettrico è la stessa come nel sistema ordinario, e quella del lavoro magnetico differisce per un fattore  $4\pi$ .

Sta dunque in questo la irrazionalità del sistema ordinario, ma la irrazionalità medesima è limitata ad un lato solamente del sistema.

Sembra che l'ultima osservazione sia finora sfuggita a coloro che si sono occupati della riforma delle unità, e che hanno fatto il confronto dei due sistemi, prendendo per base le formule di Coulomb; ma ne approfitteremo ora per trarre questo risultato: che per razionalizzare i sistemi di misura esistenti, non è necessario riformare che una parte solamente delle unità che vi appartengono. Ciò rende anche ragione degli schemi di riforma parziale proposti da Fessenden e da Fleming.

La spiegazione del fatto è semplicemente che le formule a cui ci siamo riferiti sono quelle di definizione elettromagnetica, cioè dedotte dalla formula di Coulomb relativa al *magnetismo*, e la irrazionalità è quindi limitata alle sole misure magnetiche. Ma se prendessimo in esame le formule del sistema elettrostatico, troveremmo invece l'irrazionalità nelle sole misure elettriche.

Le misure sferiche per elettricità e per magnetismo sono incompatibili fra loro; ed è questa la prova ultima del loro carattere assurdo; perchè non si può rinnegare così il principio della razionalizzazione, senza rinnegare tutti i sistemi esistenti.

Se è impossibile avere le misure sferiche tanto in elettricità quanto in magnetismo, è invece possibile averle entrambe razionali. E allora appare in evidenza la simmetria assoluta delle formule elettriche e magnetiche, simmetria mancante nei sistemi ordinari.

17. — Riprendiamo ora il circuito elettrico e quello magnetico, e supponiamo che siano « allacciati » fra loro, in modo che l'energia perduta dall'uno sia acquistata dall'altro. Allora le due attività  $W$  sono eguali e di segno contrario, e le due equazioni dell'energia si possono scrivere simultaneamente:

$$\pm e i = W = \mp f g.$$

Ma i due circuiti sono ora riuniti in un solo *circuito elettromagnetico*, di modo che dobbiamo aggiungere le due equazioni caratteristiche dell'elettromagnetismo, dette circuitali:

$$e = \mp g \quad f = \pm i.$$

Abbiamo così un sistema di quattro equazioni, di cui una è conseguenza delle altre tre, e possiamo quindi anche dire, di tre equazioni, considerando le prime due come una sola. Queste tre sono veramente fondamentali, perchè necessarie e sufficienti per fondare tutta la teoria matematica dell'elettromagnetismo. Esse formano la base centrale e necessaria della teoria, mentre le formulè di Coulomb ne rappresentano invece le due ali estreme. Ripeto, base necessaria, perchè la prima equazione non è altro che l'espressione elettromagnetica del principio dell'energia, e le altre due, nella scienza più moderna, si considerano semplicemente come definizioni.

Osservo, di passaggio, che basterebbe applicare alle formule ora scritte dei differenziatori di spazio, simili a quelli di Hamilton-Tait, per trasformarle in equazioni differenziali del campo, del tipo più generale, che include anche le equazioni di propagazione delle perturbazioni elettromagnetiche, e quelle della luce. Ma pel nostro scopo attuale è meglio ritenerle sotto forma concreta.

18. — Le tre equazioni che abbiamo formato contengono esplicitamente le quattro unità concrete fondamentali dell'elettromagnetismo, f. e. m., f. m. m., corrente elettrica e corrente magnetica. Ma queste unità sono ivi eguagliate a due a due. Le unità fondamentali vengono quindi ridotte a due sole — una comune per la f. m. m., e la corrente elettrica, — un'altra comune per la f. e. m. e la corrente magnetica. E il loro prodotto dev'essere eguale all'unità meccanica di potenza.

Rimane così infine un elemento arbitrario e uno solo. Questo elemento arbitrario è appunto quello che negli antichi sistemi veniva determinato assegnando uno speciale valore a una delle costanti dell'etere libero. Ma ragioni di carattere generale ci hanno indotto a rinunciare a restrizioni di questa natura. Possiamo di ciò approfittare per fare una scelta arbitraria della prima coppia di unità, e farle coincidere con unità pratiche già esistenti.

E se come unità di potenza meccanica riteniamo il *watt*, possiamo insieme ritenere come unità elettromagnetiche fondamentali il *volt* e l'*ampère*.

E precisamente avremo:

$$\begin{aligned} \text{Forza elettromotrice} &= \text{volt} = \text{Corrente magnetica}; \\ \text{Corrente elettrica} &= \text{ampère} = \text{Forza magnetomotrice}, \end{aligned}$$

e la duplicità di uso di queste unità è il fondamento del carattere simmetrico del sistema razionale di misure.

Facendo il prodotto delle quantità scritte nelle righe precedenti, ricaviamo:

$$\text{Attività elettrica} = \text{watt} = \text{Attività magnetica}$$

e in doppio modo otteniamo l'unità di potenza meccanica.

19. — Un sistema completo di misure si deduce dalle quattro fondamentali che abbiamo riferito alle due unità *volt* e *ampère*.

Questo sistema è razionalizzato. In esso, le misure di f. e. m., di corrente magnetica e di corrente elettrica rimangono definite come nel sistema ordinario. Solamente la definizione di f. m. m. è variata, essendo corretta del fattore  $4\pi$ . Ma per la nuova misura di f. m. m. non si richiede alcuna unità nuova; ci basta misurare la f. m. m., con l'*ampère*, che già esiste come unità di corrente. E questa unità razionale si trova già in uso presso i pratici sotto il nome (improprio) di *amp.-giro*; ancora una volta la pratica ha preceduto la teoria.

Ora possiamo prevedere come sarà costituito l'intero sistema. Le misure derivate dalla f. e. m., corrente magnetica e corrente elettrica, rimarranno come nel sistema ordinario; quelle derivate dalla f. m. m. saranno prive del  $4\pi$ , ma prenderanno riferimento ad altre unità già esistenti.

20. — Le unità concrete di elettricità e magnetismo si deducono tutte combinando fra loro le unità *volt* e *ampère* e l'unità di tempo, il *secondo*.

Moltiplicando un *volt* per un *secondo*, si ottiene quella unità che è stata denominata *weber* dall'Associazione Britannica; e avremo:

$$\text{Flusso magnetico} = \text{weber} = \text{Impulsione elettromotrice},$$

e il doppio significato di questa unità è illustrato quando si esplora un campo magnetico per mezzo di una bobina d'induzione.

Moltiplicando un *ampère* per un *secondo*, si ottiene:

$$\text{Quantità d'elettricità} = \text{coulomb} = \text{Impulsione magnetomotrice},$$

e qui l'illustrazione fisica dell'identità si ritrova misurando la carica di un condensatore per mezzo di un galvanometro balistico.

21. — In un circuito elettrico conduttore, entra in considerazione il rapporto fra f. e. m. e corrente elettrica, cioè:

$$\text{Resistenza elettrica} = \text{ohm} = \text{volt} : \text{amp.}$$

e il rapporto inverso è:

$$\text{Conduttanza elettrica} = \text{mho} = \text{amp.} : \text{volt},$$

e in queste unità si misurano anche le reattanze, rattenenze, suscettanze, ammettenze dei circuiti a corrente alternata.

Se fossero conosciuti dei corpi magneticamente conduttori, definiremmo analogamente la resistenza magnetica in *mho*, e la conduttanza magnetica in *ohm*, e avremmo scritto il quadro di reciprocità in forma completa. Ma queste relazioni sono, per ora, solamente teoriche, e possono al più presentarsi in considerazione, a scopo di calcolo, nei circuiti magnetici a corrente alternata.

22. — Quando un circuito elettrico non è conduttore, ma dielettrico, entra in considerazione il rapporto fra quantità d'elettricità e f. e. m.

A questo rapporto si dà volgarmente il nome di *capacità*, ma scientificamente dovrebbe dirsi *induttanza elettrostatica*; l'unità di misura è:

$$\text{farad} = \text{coulomb} : \text{volt} = \text{secondo-mho}.$$

Il rapporto inverso prende il nome di *reluttanza elettrostatica*; la unità di misura è:

$$\text{farad}^{-1}$$

e non ha mai ricevuto nome speciale.

La induttanza e reluttanza elettrostatica sono state denominate rispettivamente *permettenza* ed *elastanza* da Heaviside; ma forse questi nomi si prestano a qualche obiezione.

23. — Analogamente in ogni circuito magnetico (che non è mai magneticamente conduttore), si considera il rapporto fra flusso magnetico e f. m. m., al quale si dà il nome di *permeanza*.

In relazione alla misura di f. m. m., anche questa misura viene alterata rispetto all'uso ordinario. Ma eviteremo ogni confusione, riservando il nome di permeanza alla misura fatta col sistema ordinario, e quello di *induttanza magnetica* alla misura razionale.

L'unità razionale di induttanza magnetica è:

$$\text{henry} = \text{weber} : \text{amp.} = \text{secondo-ohm}.$$

Tanto la denominazione di induttanza quanto l'unità *henry* sono già state ammesse nell'uso ordinario, a proposito dei coefficienti di self-induzione dei circuiti elettrici.

Ma il legame fra le due definizioni sta qui, che il coefficiente di self-induzione di un circuito è uguale, in misura razionale, alla induttanza (1) del circuito magnetico su cui sta avvolto (con un coeffi-

(1) In questo senso si dice « induttanza di un circuito elettrico », e si allude alla induttanza magnetica, non a quella elettrostatica.

25. — Fra le unità attualmente in uso nella pratica, il *metro* e il *chilogrammo* (e non altre) soddisfano appunto a questa condizione.

Le possiamo dunque mettere in relazione con le unità elettriche e magnetiche già enumerate, per formare un **sistema assoluto Metro-Chilogrammo-Secondo**. Questo sistema, che comprende simultaneamente misure elettriche, magnetiche e meccaniche, è interamente composto con le unità pratiche usuali, ed è interamente razionalizzato, cioè non solamente libero dal  $4\pi$ , ma da ogni distinzione fra misure « elettrostatiche » ed « elettromagnetiche ». Esso è anche l'*unico* il quale soddisfa simultaneamente a tutte queste condizioni.

Per uniformarvisi non vi ha che attenersi all'uso invariabile di tutte le unità pratiche, come le abbiamo qui enumerate, per qualsiasi misura scientifica o tecnica senza eccezione. E con riferimento sottinteso a queste unità, le formule matematiche di elettricità e magnetismo si potranno e dovranno scrivere secondo insegna la teoria razionale; dovranno in esse figurare sempre esplicitamente le costanti dei mezzi, e non mai il fattore irrazionale.

Il sistema C. G. S., con questo, perde ogni ragione di esistere; ma non credo che il suo abbandono sarà lamentato da alcuno.

26. — La soluzione qui proposta ha un punto di contatto con quella di Fessenden, in quanto che questo autore ammette anch'egli di abbandonare il tradizionale valore uno della costante magnetica dell'etere.

Ma, nei due casi, questo abbandono è informato a diversi motivi. Il Fessenden attribuisce alla detta costante il valore  $4\pi$ , per ripristinare fra le formule razionali e i diversi sistemi di misure teorici e pratici, lo stesso parallelo di relazioni che si ammette ordinariamente. Il valore  $4\pi$ , nel suo sistema, figura sempre come un numero puro, la cui vera ragione di esistenza è di neutralizzare quello insito nella definizione delle unità C. G. S., modificando il minor numero possibile di queste ultime.

Il sistema qui esposto è invece ispirato al principio che la vera razionalizzazione deve comprendere l'unificazione delle misure elettrostatiche ed elettromagnetiche, e quindi entrambe le costanti devono figurare come quantità fisiche, di valore arbitrario, e con dimensioni proprie, non riducibili a quelle di lunghezza, massa e tempo (1). Noi

---

(1) Le due costanti sono peraltro legate da una relazione mutua. Nel sistema razionale le dimensioni fondamentali sono *quattro*, e cioè L, M, T, e in più una qualunque elettromagnetica.

approfittiamo di questo principio, non solamente per eliminare il  $4\pi$ , ma per rendere indipendenti le unità fondamentali meccaniche da quelle elettromagnetiche, e quindi formare con le unità pratiche un sistema assoluto.

27. — Per dedurre nel nuovo sistema dalle unità concrete di elettromagnetismo quelle specifiche, si metteranno in rapporto le prime col metro, metro quadrato, metro cubo.

La *forza elettrica* si misurerà dunque in **volt per metro lineare**; la *forza magnetica*, in **ampère per metro lineare**. Scrivendo le formule matematiche, deve tenersi conto che la misura razionale di forza magnetica differisce dall'antica per l'eliminazione del divisore  $4\pi$ ; per evitare ogni confusione, si può usare il simbolo  $F$  per la prima, in luogo del simbolo  $H$ , ordinariamente scritto per la seconda.

Si misurerà l'*induzione elettrica* (spostamento elettrico) in **coulomb per metro quadrato**; l'*induzione magnetica* in **weber per metro quadrato**; le *intensità specifiche* di corrente elettrica e corrente magnetica, rispettivamente in **ampère per metro quadrato** e in **volt per metro quadrato**.

Dal rapporto fra forza elettrica e intensità specifica di corrente si ricava la resistenza per unità di volume o *resistività*, che sarà misurata in **ohm-metri**, e così di seguito.

Nessuna delle unità specifiche ha ricevuto mai nomi speciali, nè è necessario introdurli ora. Si chiameranno semplicemente « unità assolute M. Kg. S. ».

28. — Infine, la misura delle costanti elettromagnetiche fondamentali di un mezzo si ricava nel modo seguente:

La costante elettrostatica, o *induttività elettrica* di un mezzo si definisce come il rapporto fra l'induzione elettrica e la forza elettrica in quel mezzo, e si misura quindi in **farad per metro lineare**. Il simbolo  $\kappa$  si usa per indicare questa quantità.

La costante magnetica, o *induttività magnetica* di un mezzo si definisce come il rapporto fra l'induzione magnetica e la forza magnetica in quel mezzo, e si misura quindi in **henry per metro lineare**. Propongo di riserbare il simbolo  $\lambda$  per la quantità così definita (1).

(1) In luogo dell'*induttività* si aveva nel sistema irrazionale la *permeabilità*. Convieni conservare questa parola, come pure il simbolo  $\mu$ , nella loro antica significazione, cioè ad esprimere il rapporto fra la induttività di una sostanza e quella dell'etere. Il nuovo simbolo  $\lambda$  è scelto in armonia con  $L$ , induttanza magnetica, come  $\kappa$  con  $K$ , induttanza elettrostatica.

Ma le induttività, elettrica e magnetica, di una sostanza si possono anche definire come l'induttanza, rispettivamente elettrica e magnetica, di un cubo avente per lato l'unità di lunghezza. Così l'induttanza elettrostatica (capacità) di un condensatore e l'induttanza magnetica di un nucleo magnetico vengono rispettivamente espresse da:

$$K = \kappa \frac{\Sigma}{s}, \quad L = \lambda \frac{\Sigma}{s}$$

dove, in entrambi i casi,  $\Sigma$  è la sezione,  $s$  lo spessore del corpo o nucleo indotto.

29. — Deve essere richiamata l'attenzione sul fatto che nel nuovo sistema di misure (a differenza di ogni altro conosciuto), nessuna delle unità ha una grandezza anormale.

È quindi istruttivo vedere finalmente da quali valori particolari siano misurate le due costanti  $\kappa_0$  e  $\lambda_0$  dell'etere libero.

Si ricava :

$$\kappa_0 = 0,000\,000\,000\,008\,842$$

$$\lambda_0 = 0,000\,001\,256\,637$$

Questi valori così diversi dall'unità non sono un'anomalia del sistema, ma esprimono un fatto fisico vero. Essi ci dicono che l'etere libero ha una suscettività estremamente piccola per le azioni elettrostatiche e magnetiche, ma di gran lunga più piccola per le prime che per le seconde.

L'uno o l'altro di questi fatti, o entrambi, erano oscurati negli antichi sistemi di misure. E si comprende ora perchè in tutti questi sistemi, l'aver attribuito il valore uno a qualcuna delle costanti dell'etere abbia avuto per effetto inevitabile d'imporre ad altre unità grandezze anormali.

30. — In ogni caso, i valori di  $\kappa_0$  e  $\lambda_0$  così lontani dall'unità, si giustificano quando si riflette alla relazione loro con la straordinaria velocità di propagazione delle perturbazioni elettromagnetiche nell'etere libero.

E infatti, i valori ottenuti soddisfano alla relazione:

$$(\lambda_0 \kappa_0)^{-\frac{1}{2}} = 3 \cdot 10^8.$$

Dato il significato fisico preciso attribuito a  $\lambda_0$  e  $\kappa_0$  nel sistema razionale, anche l'interpretazione di questa formula non è difficile.

Nel sistema razionale, quindi, dalle misure elettromagnetiche non si ricava più il valore di  $\pi$ , ma bensì quello della velocità della luce.