

IL  
NUOVO CIMENTO

PERIODICO

FONDATO DA

C. MATTEUCCI e R. PIRIA

CONTINUATO DA

R. FELICI

A. BATTELLI

V. VOLTERRA

ORGANO

DELLA

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA



PISA

DALLA TIPOGRAFIA PIERACCINI

1901

Il moto del polo ed i moti interni hanno uno stesso periodo, inoltre, perchè per le fatte supposizioni possiamo porre

$$p^2 + q^2 + r^2 = \frac{A_1^2 \omega^2}{C_1^2}$$

i moti interni hanno un periodo diurno loro proprio. Inoltre i moti dello stesso periodo hanno fase opposta.

Rammentando la nota del Prof. Volterra « Sui moti periodici del polo terrestre » *Atti dell' Accademia di Torino*, 1894-95, vol. XXX. si vede che, corrispondendo le ipotesi fatte sulla grandezza delle quantità  $\psi$ ,  $\vartheta$  e  $c_3$  a quelle fatte dallo stesso Volterra riguardo a  $p$ ,  $q$  ed alle variazioni di  $r$  e di  $M_3$ , i risultati sono analoghi, solamente si esclude un moto speciale del polo, ed anzichè una serie di moti periodici per esso se ne avrebbe uno solo.

#### LE ONDE HERTZIANE:

del Prof. A. RIGHI.

(Largo sunto della relazione presentata al Congresso internazionale di fisica di Parigi nel 1900).

### I. Apparecchi per la produzione e per lo studio delle onde Hertziane.

a) *Apparecchi produttori.* — L' eccitatore o oscillatore di Hertz ha subito alcuni importanti perfezionamenti.

Si è guadagnato molto nell' intensità delle onde facendo avvenire in un liquido isolante la scintilla, che riunisce momentaneamente le due sezioni dell' oscillatore. Si aumenta così il potenziale di scarica e quindi l' energia disponibile. L' olio di vaselina è preferibile per quest' uso a tutti gli altri liquidi dielettrici che si sono provati.

Un altro perfezionamento riguarda la forma dell' oscillatore. Poichè per le esperienze *ottiche* (quelle cioè che riproducono con le onde elettriche dei fenomeni analoghi a quelle dell' ottica) bisogna impiegare delle oscillazioni aventi delle lun-

ghezze d'onda più che è possibile corte, si è stati perciò condotti a ridurre più che è stato possibile piccola l'autoinduzione dell'oscillatore. Quello di Righi, oggi generalmente adottato, formato da due sfere di rame piene separate da uno strato di olio di vaselina, dà delle onde brevissime (anche di 2,5 cm. di lunghezza) pur conservando una notevole intensità. Le cariche necessarie sono comunicate da due scintille, le quali scattano tra le sfere e due conduttori vicini, in comunicazione coi poli di una macchina a influenza o di un rocchetto d'induzione. Si sono ottenute anche oscillazioni la cui lunghezza d'onda raggiungeva appena qualche millimetro.

Lodge ha formato un oscillatore con un semplice conduttore isolato; ma sembra che questo sia preferibile a quello che abbiamo ora descritto, soltanto allorchè si tratta di dimostrare la risuonanza in un conduttore identico al primo.

Allorchè alle due sfere dell'oscillatore si aggiungono dei fili o altri conduttori, si aumenta la capacità e soprattutto l'autoinduzione dell'apparecchio, ed aumenta così anche la lunghezza d'onda. Se i fili sono messi in comunicazione coi conduttori che forniscono alle due sfere le loro cariche, in luogo di essere riuniti alle sfere stesse, il risultato non è essenzialmente modificato; perchè le due scintille estreme costituiscono momentanee comunicazioni tra i fili e le sfere.

b) *Apparecchi indicatori.* — Quando le onde prodotte da un oscillatore e propagate nello spazio circostante arrivano a un conduttore, questo diviene in generale sede d'un fenomeno elettrico oscillatorio, che può dar luogo a diversi effetti suscettibili di esser messi in evidenza. Se il conduttore ha un periodo di oscillazione proprio, poco diverso da quello dell'oscillatore, la risonanza si produce e gli effetti divengono più marcati. Questi effetti che permettono di dimostrare l'esistenza delle onde sono molto vari. Se per esempio il conduttore, generalmente di forma rettilinea, ha una o più interruzioni, possono prodursi delle scintille che possono essere rese più facilmente osservabili con artifizi. Anche quando non vi sono interruzioni e scariche disruttive, le correnti che hanno origine nel conduttore possono essere rivelate dai noti effetti

delle correnti. In somma si conoscono molti indicatori d'onde elettriche ed ecco la loro enumerazione:

Nei primi sette non vi è scintilla nel risonatore; per la ottava il caso è dubbio; negli altri vi è scarica disruttiva in un dielettrico.

1° Una rana preparata alla Galvani fa parte del risonatore. Con le sue contrazioni essa mostra l'esistenza delle onde che eccitano il risonatore.

2° Il calore sviluppato dalle oscillazioni elettriche nel risonatore produce una dilatazione che delicate disposizioni possono rendere osservabili.

3° Questo stesso calore produce una forza elettromotrice osservabile allorchè una saldatura termoelettrica fa parte del risonatore o è in contatto con questo.

4° Una parte del risonatore può essere curvata ad elica intorno ad un filo di acciaio calamitato a saturazione: le oscillazioni elettriche fanno variare il momento magnetico della calamita.

5° Le estremità centrali di un risonatore diviso in due sezioni (si dovrebbe dire probabilmente: Le estremità ravvicinate di due risonatori rettilinei posti sulla medesima retta) comunicano, l'una con dei conduttori fissi e l'altra con un conduttore mobile di forma conveniente. Le cariche alternative che si sviluppano su questi conduttori producono un movimento osservabile.

6° La resistenza elettrica di un reticolo di foglie di stagno che fa parte del risonatore diminuisce, a quanto pare, sotto l'azione delle onde. Una scossa o il riscaldamento fanno sparire l'effetto prodotto dalle onde.

7° Alcune coppie voltaiche preparate in una maniera particolare e che sono sensibili alla luce, lo sono pure in una maniera particolare alle ondulazioni elettriche, poichè esse fanno riapparire la sensibilità alla luce, allorchè questa sembra perduta.

8° Un risonatore è tagliato per metà e la comunicazione ristabilita da uno strato sottile di liquido; le oscillazioni aumentano la sua resistenza elettrica. Non è ben data la spiegazione di questo fenomeno.

9° Il risonatore è diviso in due sezioni e si osservano le scintille che si producono nell'interruzione. Questo, nell'ordine cronologico è il primo indicatore, quello impiegato da Hertz.

Credo razionale spiegare il fenomeno nella maniera seguente. Da principio le due sezioni del risonatore si comportano come due risonatori uguali posti l'uno di seguito all'altro e aventi un periodo minore (sensibilmente metà se sono lunghi o sottili) di quella del risonatore intero senza interruzione. Le oscillazioni che si formano nelle due sezioni producono potenziali di segno contrario alle estremità vicine, che possono produrre la scintilla. Per il tempo in cui questa avviene costituisce una comunicazione abbastanza buona tra le due sezioni, e il risonatore intero risuona come se non avesse interruzione e col suo proprio periodo. La scintilla introduce una resistenza, per conseguenza uno smorzamento più forte. Questo metodo è stato perfezionato in modo da renderlo atto a rivelare onde brevissime, formando il risonatore con una piccola striscia di vetro argentato, in cui lo strato metallico è interrotto a metà da un tratto di qualche millesimo di millimetro di larghezza. La grande sensibilità di questo risonatore sembra dipendere dal piccolo spessore del metallo e dalla presenza del vetro sulla superficie del quale scorrono le piccole scintille, che si osservano con una lente.

10°. Le due sezioni del risonatore sono riunite agli elettrodi di un tubo di Geissler che diviene luminoso.

11°. Invece di osservare la scintilla del risonatore Hertziano, si può porre presso ad essa una carta sensibile di cui il cangiamento di colore riveli l'esistenza delle scintille, e per conseguenza delle oscillazioni.

12°. La scintilla del risonatore può determinare l'esplosione di una mescolanza di idrogeno e ossigeno, o di idrogeno e cloro.

13°. La scintilla del risonatore può rivelarsi per il fatto che essa chiude un circuito contenente una pila e una soneria elettrica. Almeno questo è ciò che è stato detto.

14°. Si può sostituire alla pila precedente una pila secca, e alla soneria un elettroscopio, che devia allorchè la scin-

tilla stabilisce una comunicazione fra le due metà del risonatore.

15°. Un condensatore avente un telefono in derivazione sulle sue armature è intercalato nel risonatore. Il telefono fa sentire dei rumori a ciascuna scintilla.

16°. Un tubo a vuoto contiene due elettrodi in comunicazione con una batteria di accumulatori di cui la f. e. m. è pressochè sufficiente per produrre la scarica nel gas rarefatto. Allorchè si produce una debole scarica tra due altri elettrodi, che comunicano tra le due sezioni del risonatore, si produce una scarica anche fra i due primi, e questa è ben più visibile di quella data dal risonatore.

17°. Si può sostituire alla batteria di accumulatori del metodo precedente una pila secca e un elettroscopio. Questo devia allorchè si produce la scintilla nel risonatore.

18°. Si può impiegare un tubo a gas rarefatto con due elettrodi, aventi una forma particolare e comunicanti nello stesso tempo colle due sezioni del risonatore e con una pila nel circuito della quale si trova un galvanometro.

19°. Dando al tubo e agli elettrodi certe forme, e sotto certe condizioni, si può fare a meno del galvanometro, perchè nel sopraggiungere delle onde la luminosità del tubo cambia di forma e di posto e diviene molto più viva.

20°. Si ottiene un effetto simile al precedente, ma senza tubo a vuoto, impiegando due elettrodi nell'aria libera, l'uno a punta e l'altro sferico, in comunicazione coi poli di una macchina a influenza. L'effluvio si trasforma in scintilla sotto l'azione delle onde elettriche, se l'interruzione del risonatore è molto vicina agli elettrodi, o se una delle due metà comunica con la punta e l'altra con la sfera.

21°. Le onde elettriche producono una diminuzione della resistenza elettrica di un conduttore discontinuo. Si ottiene così un indicatore di onde elettriche, chiamato *coherer* da Lodge e *radioconduttore* da Branly, che tutti conoscono adesso, e che per la sua sensibilità superiore a quella di tutti gli altri indicatori conosciuti, ha acquistato un'importanza particolare.

## II. I radioconduttori.

I fenomeni utilizzati nei radioconduttori sono stati scoperti in tempi diversi. Varley studiando un sistema particolare di parafulmini per apparecchi telegrafici riconobbe che una polvere conduttrice, sola e non mescolata con polvere isolante, non poteva essere impiegata nel suo apparecchio, perchè dopo essere stata attraversata da una forte scarica, le particelle si trovavano disposte in modo da formare una massa conduttrice. Ma, a rigore, in questo fenomeno si poteva soltanto vedere l'effetto conosciuto del forte calore prodotto dalla scarica.

Una diminuzione di resistenza prodotta da deboli correnti non fu scoperta che nel 1884 dal professore Calzecchi-Onesti. Egli impiegava la limatura metallica contenuta in un tubo di materia isolante nel quale penetravano due elettrodi metallici, e constatò che bastava far girare un poco il tubo attorno al proprio asse, per far sparire la conducibilità. Osservò anche la produzione della conducibilità con l'azione delle onde sonore. In queste esperienze erano generalmente extracorrenti o correnti indotte che producevano il fenomeno.

Il Branly constatò più tardi l'azione suddetta, e che si poteva far riprendere alla limatura la sua grande resistenza primitiva dando piccole scosse al tubo.

Il prof. Lodge arrivò nel 1889 a questi risultati, studiando un fatto osservato già a sua insaputa dal prof. Hugues, ossia che una piccola scintilla stabilisce una buona comunicazione fra due conduttori, che non si toccano abbastanza bene da permettere il passaggio di una debole corrente.

Il tubo a limatura fu impiegato quasi nello stesso tempo da Lodge e dai signori Le Royer e Van Berchem, come un indicatore di onde hertziane e da allora si è sempre preferito per la sua sensibilità, quando non era necessario conoscere l'azimut di vibrazione delle onde.

Non si sa ancora esattamente in quale maniera si compie il fenomeno dei radioconduttori. Secondo Branly esso sarebbe dovuto a una modificazione del dielettrico interposto fra le particelle di limatura. Secondo Lodge sarebbe prodotto da scintille

estremamente piccole fra le particelle, che darebbero luogo alle adherenze reciproche. Questa spiegazione si può completare ammettendo anche la possibilità di piccoli movimenti delle particelle, prodotti dalle forze elettriche, movimenti che avrebbero per effetto di disporle in filamenti conduttori. Ammettendo la prima spiegazione le scosse date al tubo avrebbero per effetto di rinnovare le porzioni di dielettrico interposte fra le particelle metalliche; ammettendo la seconda spiegazione, le scosse avrebbero per effetto di rompere l'aderenza prodotta dalle piccole scintille. Le ricerche posteriori hanno fornito dei dati utili senza troncane nettamente la questione della causa del fenomeno.

Così le osservazioni al microscopio fatte da Arons e van Gulik, quelle di Vicentini, di Campanile e Di Ciommo su dei radioconduttori a goccia di mercurio, e quelle di Malagoli fatte con un metodo fotografico sembrano dar ragione alle vedute di Lodge perchè esse hanno permesso di sorprendere piccoli movimenti delle particelle, e piccole scintille tra loro, al momento in cui si produce a qualche distanza un'onda elettrica.

Lo stesso è delle esperienze di Tommasina che ha ottenuto queste curiose catene formate da particelle metalliche aderenti, come anche delle esperienze di Sundorph che riuscì a togliere con una calamita una gran parte della limatura di ferro formante il radioconduttore, senza fare sparire la conducibilità prodotta dall'onda. Non bisogna dimenticare che l'aderenza prodotta da una piccola scintilla tra i due conduttori che si toccano leggermente era stato osservato da Lodge, e recentemente da Maclean nei suoi curiosi radioconduttori.

Ma d'altra parte vi sono dei fatti che sembrano difficili a spiegarsi colla teoria di Lodge. Per esempio il perossido di piombo si comporta in modo contrario a quello delle limature metalliche; così pure altre sostanze.

A questi fatti contrari alla teoria di Lodge bisogna aggiungere che Branly costruisce dei radioconduttori nei quali le particelle metalliche sono immobilizzate in una massa dielettrica solida.



Sembra tuttavia che la presenza di un sottile strato estraneo, più spesso d'ossido, sia necessario o almeno utile al funzionamento dei radioconduttori.

Quantunque si sia riusciti a formare questi apparecchi con limature prive dello strato d'ossido, tuttavia Blondel ha ben dimostrato l'influenza di questo strato superficiale.

Un radioconduttore non costituisce in generale da solo un risonatore. È necessario che i suoi elettrodi comunichino con dei fili o altri conduttori in cui, sotto l'azione delle onde, si formino delle oscillazioni elettriche.

Alcuni radioconduttori perdono spontaneamente la conducibilità acquistata, come l'hanno riconosciuto Branly, Bose, Popoff e Ducretet e Tommasina.

Questi semplificherebbero molto le esperienze, perchè in tal caso non sarebbero necessarie disposizioni automatiche per scuotere il tubo. Però in generale queste sono necessarie e si impiega quasi sempre quella di Popoff. La corrente prodotta per l'aumento della conducibilità della limatura fa agire un *relais*, che chiude a sua volta un circuito secondario, comprendente un elettrocalamita, la cui armatura colpisce il radioconduttore. Talvolta nel circuito è inserito un ricevitore Morse.

Sembra che con i radioconduttori a carbone, descritti da Tommasina, basti un semplice telefono (che può contenere nel suo interno il radioconduttore) per avvertire l'arrivo delle onde.

La forma e la costituzione dei radioconduttori è stata molto variata da Bowlker, Maclean e da altri, e le disposizioni di Tissot e di Jervis-Smith sono particolarmente notevoli.

L'uso dei tubi a limatura, ci ha fornito l'occasione di imparare alcune regole pratiche nella loro costruzione. Si può dire, in generale, che la sensibilità dell'apparecchio è tanto più grande quanto più piccolo è lo spazio riempito di limatura e più sottili sono le sue particelle. Ma nello stesso tempo l'istrumento diviene sensibile alle influenze estranee e il suo funzionamento diventa poco sicuro. La scelta del metallo ha pure una grande influenza e sembra che il nickel sia il migliore. Infine è bene chiudere ermeticamente il tubo che contiene la limatura e farvi il vuoto, per essere sicuri che la sensibilità

dell'istrumento non vari col tempo, in seguito a una alterazione superficiale delle particelle, prodotte dal contatto dell'aria.

Sul fenomeno dei radioconduttori si sono fatte fino ad ora pochissime misure; ma già si sa, che la diminuzione della resistenza prodotta dalla scarica di un condensatore attraverso alla limatura è funzione non solo della carica del condensatore, ma anche del suo potenziale, e che per una capacità data non vi è effetto quando il potenziale è inferiore a un certo valore critico. Ciò esplica come un aumento della capacità del risuonatore possa dare cattivi risultati.

### III. L'ottica delle oscillazioni elettriche.

La natura ondulatoria dei fenomeni prodotti da una scarica nel mezzo dielettrico fu dimostrata da Hertz per mezzo dell'esperienza classica delle interferenze tra le onde dirette e le onde riflesse normalmente a una parete metallica. L'illustre fisico ottenne anche la rifrazione delle onde, e dimostrò il loro stato di polarizzazione.

Questi risultati che confermano l'analogia o, forse meglio, l'identità di natura di questi fenomeni coi fenomeni luminosi, hanno evidentemente una importanza filosofica capitale. È naturale dunque che si sia cercato di allargare il nuovo campo di studi per vedere se l'accordo fra i due ordini di fenomeni si prosegue; ma non si è potuto farlo con profitto altro che quando si è riusciti a produrre oscillazioni hertziane d'una lunghezza d'onda molto piccola.

*Interferenze.* — Sembra che Boltzmann abbia realizzato per primo una esperienza simile a quella degli specchi di Fresnel; ma soltanto con apparecchi che permettono lo studio di oscillazione di alcuni centimetri solo di lunghezza d'onda, si può fare questa esperienza in modo esauriente, e constatare l'esistenza delle frange di interferenza, parallele all'intersezione dei due specchi.

I signori Klemencic e Czermack, Zehnder e più tardi l'autore di questa relazione hanno impiegato una disposizione alquanto diversa che si presta alla misura delle lunghezze d'onda. I due specchi (lamine metalliche) sono dap-

prima in uno stesso piano, e si sposta uno di essi secondo la direzione della sua normale. Il risuonatore al quale arrivano le onde riflesse dei due specchi mostra alternativamente dei massimi e dei minimi.

Esperienze simili all'esperienza ottica dell'interferenza con un solo specchio e a quella del biprisma riescono perfettamente. Nella prima di queste esperienze, vicino alla lastra riflettente si ha interferenza, quando l'asse di figura dell'oscillatore è, parallelo allo specchio, e si ha intensità massima quando l'oscillatore è perpendicolare al riflettore. Ciò dà spiegazione dei migliori effetti che si ottengono nella telegrafia senza fili quando le antenne sono verticali.

Una esperienza d'interferenza del tutto diversa da quelle dell'ottica, ma che ha la sua analogia in acustica nell'esperienza di Quincke, è stata fatta da Lang e da Drude, partendo dal fatto precedentemente dimostrato, che le onde elettromagnetiche possono propagarsi in lunghi tubi metallici. Secondo il primo di questi fisici si potrebbe misurare, operando come per il suono, la lunghezza d'onda dell'oscillazione, una volta ammesso (ciò che non sembra esatto) che il radioconduttore impiegato non abbia lunghezza d'onda propria e si comporti semplicemente come indicatore. Ma secondo Drude, ciò non avviene, perchè si trova come lunghezza d'onda il doppio del diametro del tubo formante l'apparecchio indipendentemente dall'oscillatore impiegato. Verosimilmente la propagazione delle onde dentro tubi conduttori non è che apparente ed è probabile che si tratti invece d'una propagazione nelle pareti da un capo all'altro del tubo.

A proposito della lunghezza d'onda degli oscillatori è bene notare che con le disposizioni sperimentali, che implicano l'uso di un risonatore, è sempre la lunghezza d'onda di quest'ultimo che si determina e non quella dell'oscillatore. Ciò dipende dallo smorzamento che è più grande per quest'ultimo apparecchio. Studiando direttamente la scintilla dell'oscillatore, come hanno fatto Trowbridge e Duane e più recentemente Décombe, si è potuto misurare il periodo, e conseguentemente la lunghezza d'onda propria di quest'apparecchio. Per il loro smorzamento rapido, le onde che esso produce

eccitano un oscillatore anche se la sua lunghezza d'onda è diversa. In ciò si ha la risonanza multipla.

Si sono anche riprodotte le interferenze con le lamine sottili. Dopo i primi saggi di Trouton l'esperienza è riuscita perfettamente impiegando lunghezze d'onda molto piccole, perchè s'è constatato che una lamina dielettrica avente un certo spessore riduce a zero l'intensità dell'onda riflessa, mentre che un'altra di spessore doppio dà sotto la stessa incidenza un'intensità massima, e una terza di spessore triplo dà di nuovo l'interferenza, ecc.

Come in ottica, vi è perdita di fase di una semi lunghezza d'onda nell'una delle due riflessioni, e per trasmissione si hanno sempre risultati inversi a quelli ottenuti per riflessione.

Si è potuto anche riprodurre, con completo successo, il caso di una lamina sottile di cui l'indice di rifrazione ha un valore intermedio fra quello degli indici di due mezzi diversi che toccano le sue due faccie (per esempio lamina di paraffina fra zolfo e aria).

*Diffrazione.* — I fenomeni di diffrazione delle onde elettromagnetiche sono dimostrati implicitamente dall'imperfetta delimitazione di un fascio di raggi di forza elettrica riflesso da uno specchio, e da altre particolarità simili. Ma si possono realizzare delle esperienze del tutto simili a quelle della diffrazione della luce, ponendo delle lastre metalliche sulla superficie di una delle onde emesse dall'oscillatore. Si è ottenuta così la diffrazione con una fessura o con il bordo di un corpo opaco, e l'effetto dato dal diaframma di Fresnel.

Più tardi si è ottenuta la diffrazione per mezzo di un reticolo.

*Assorbimento e trasmissione.* — Lo studio dell'assorbimento delle radiazioni elettriche operato dai diversi corpi è meno semplice che esso non sembri dapprima. Generalmente lo spessore delle lamine di cui si vorrebbe studiare il potere assorbente è poco superiore, e anche inferiore alla lunghezza d'onda e rientrano i fenomeni delle lamine sottili. L'intensità dell'onda trasmessa è dunque una funzione complessa dello spessore, e non cresce sempre quando lo spessore aumenta.

Si è sfuggita questa difficoltà in due modi. O ponendo la lastra sopra un conduttore piano, e facendovi cadere normalmente l'onda piana prodotta da un oscillatore munito di un riflettore parabolico. Si studia allora l'onda riflessa (risultante delle riflessioni successive, sulle due facce della lastra), di cui l'intensità non è minore di quella che essa possiede, quando si allontana la lastra, altro che se questa è dotata di un potere assorbente. Oppure si pone semplicemente la lastra, che deve essere spessa, sulla strada delle onde e ci si assicura che la diminuzione dell'effetto sul risonatore è dovuta all'assorbimento, constatando che l'intensità dell'onda trasmessa decresce regolarmente quando si aumenta poco a poco lo spessore della lastra.

Nel caso dei liquidi si è proceduto anche in un'altra maniera.

Si è circondato da ogni parte il risonatore con il corpo da studiare e in tal modo Branly ha constatato, per esempio, che l'acqua del mare assorbe più che l'acqua pura, e questa più dell'olio.

In quanto ai corpi più assorbenti, ossia ai metalli, Bjerknæs giunge a determinare in un modo ingegnoso la profondità alla quale le onde penetrano nell'interno del corpo.

*Riflessione.* — La riflessione delle onde Hertziane si è studiata tanto sui metalli che sui dielettrici, tanto dal punto di vista dell'ottica geometrica, quanto da quella dell'ottica fisica, e si è giunti alla conclusione che il fenomeno si compie nello stesso modo che nella luce.

Così l'intensità dell'onda riflessa varia con l'azimut delle vibrazioni sull'onda incidente e con l'angolo d'incidenza, come per le onde luminose, e esiste un'incidenza di polarizzazione nel caso dei dielettrici, o un'incidenza principale nel caso dei metalli.

Sotto condizioni simili a quelle che sono necessarie in ottica per avere raggi riflessi a vibrazioni circolari o a vibrazioni ellittiche, si sono ottenute, con la riflessione sui metalli delle onde riflesse, che per il loro carattere debbono essere considerate come onde a vibrazioni circolari o ellittiche. In questo modo si sono ottenute per la prima volta onde hertziane di questa specie.

Infine la riflessione su lastre di legno o su lastre di gesso dimostra fenomeni analoghi ai fenomeni ottici della riflessione cristallina.

*Rifrazione.* — I fenomeni di rifrazione delle onde hertziane sono del tutto analoghi a quelli dell'ottica.

*Riflessione totale.* — Si ottiene in modo evidente con prismi dielettrici a base di triangolo rettangolo. Due prismi simili che si toccano con le loro ipotenuse si comportano come una massa a facce parallele e la riflessione totale non ha più luogo; essa non ricomincia che quando si allontanano le suddette facce fino a una certa distanza.

Con lunghe colonne formate da un dielettrico (p. es. paraffina) si ottiene un fenomeno analogo a quello delle fontane luminose. Infine dei prismi di zolfo o di paraffina a sezione di parallelogramma o di trapezio, all'interno del quale le onde si riflettono totalmente due o tre volte, hanno permesso di ottenere, come con gli apparecchi simili di Fresnel, i fenomeni di polarizzazione circolare o ellittica con la riflessione totale.

*Doppia rifrazione.* — Questo fenomeno è stato ottenuto per la prima volta con delle lamine di legno e più tardi con lamine cristalline; ma soprattutto col gesso il fenomeno è stato lungamente studiato.

Il legno si comporta come un birifrangente a un asse, e quest'asse coincide con la direzione delle sue fibre. Ma nello stesso tempo esso assorbe in parte le onde hertziane, e in proporzione diversa, secondo che le vibrazioni sono parallele o perpendicolari alle fibre. Nel primo caso l'assorbimento è più grande.

Il legno ricorda così le proprietà della tormalina. Infine col legno si possono fare delle lastre semionda o quarti d'onda, ecc.

Col gesso si può ottenere lo stesso risultato e riprodurre i fenomeni di polarizzazione ellittica.

Le linee di estinzione per le lastre di sfaldatura principale non coincidono con quelle che corrispondono ai raggi luminosi, ciò che si poteva prevedere, e che si spiega con la diversità della lunghezza d'onda. Per le onde hertziane il fenomeno rappresenta quasi un caso limite e più intimamente

legato alla struttura cristallina che nel caso della luce. Infatti una delle linee di estinzione coincide sensibilmente con la direzione della sfaldatura secondaria non fibrosa.

Finalmente si è giunti a misurare i tre indici di rifrazione principali del gesso per le onde hertziane, per mezzo di prismi tagliati in diverse maniere, e a confermare la direzione degli assi dell'elissoide di polarizzazione, indicata dalle esperienze di doppia rifrazione, osservando l'orientazione di piccoli dischi di gesso in un campo elettrico uniforme alternativo.

L'insieme di queste esperienze mostra l'identità supposta delle onde elettromagnetiche con le luminose. I pochi insuccessi incontrati in questi studi si possono attribuire alla diversità di lunghezza d'onda.

Non si è ancora riusciti ad ottenere la doppia rifrazione di un dielettrico isotropo con la deformazione meccanica, né la polarizzazione rotatoria naturale o magnetica; ma si sa che questi fenomeni si indeboliscono in generale quando la lunghezza d'onda cresce, ed è possibile ed anche probabile, che, per onde lunghe come quelle degli oscillatori, esse divengano nulle o quasi.

È vero che si sono potuti formare, per mezzo delle fibre vegetali torte, dei pezzi che producano una rotazione delle vibrazioni; ma così non si ha che una imitazione del fenomeno.

In ogni caso se vi è qualche insuccesso non si sono mai verificati dei risultati in opposizione con quelli che danno le onde luminose, e la grande analogia messa in evidenza dalle esperienze testè esposte non viene per nulla tolta.

#### IV. La telegrafia con le onde hertziane.

Il professore R. Threlfall è il primo a quanto sembra che abbia proposto (nel 1890) quest'applicazione delle esperienze di Hertz; ma certamente il Crookes è il primo che abbia mostrato la via da seguire per arrivare a risultati pratici fino ad indicare l'utilità dell'impiego del ricevitore Morse, e a discutere i vantaggi e i difetti della telegrafia senza fili.

Quasi nello stesso tempo Tesla proponeva di trasmettere delle oscillazioni elettriche a distanza per mezzo di due an-

tenne verticali terminate da larghi conduttori e poste in due stazioni elevate.

Un poco più tardi il prof. Rathenau descrivendo le sue esperienze di telegrafia senza fili, fatte nel 94, suggerì come una possibilità dell'avvenire, l'impiego delle onde elettromagnetiche ad uno scopo simile.

Lo studio delle scariche atmosferiche fece entrare la questione sulla sua fase sperimentale. Infatti diversi fisici, soprattutto il Popoff, stabilirono degli apparecchi destinati allo studio o alla registrazione di queste scariche e questi apparecchi erano più o meno simili ai ricevitori della attuale telegrafia senza fili.

Durante questo tempo il Lodge ottenne per mezzo del coherer la trasmissione dei segnali a distanza abbastanza grandi e il Rutherford, col suo indicatore magnetico arrivò a distanze di centinaia di metri.

Ma il giovane inventore italiano Marconi, ha, primo, indipendentemente dai suoi predecessori e quando questi saggi erano quasi ignorati, saputo realizzare un sistema completo di telegrafia con le onde hertziane, e farlo funzionare per distanze di decine di chilometri, dopo aver vinto numerose difficoltà pratiche per mezzo di disposizioni ingegnose.

Non descriverò qui gli apparecchi che esso impiega e mi limiterò a esaminare certe questioni relative alla telegrafia con le onde hertziane che possono presentare qualche interesse scientifico.

Dapprima si presenta la funzione delle due antenne.

Come si sa queste antenne sono lunghi fili verticali; l'una di esse comunica con uno dei poli del rocchetto di induzione di cui l'altro polo è messo a terra; l'altra posta alla stazione ricevitrice, comunica con uno degli elettrodi del radioconduttore, mentre che il secondo elettrodo è a terra.

Esaminiamo prima di tutto l'azione dell'antenna dell'oscillatore. Si è riconosciuto che si poteva sopprimere la comunicazione al suolo del secondo polo del rocchetto di induzione e sostituirvi una seconda antenna sul prolungamento della prima. Se si riflette che al momento della scarica le due scintille nell'aria stabiliscono una comunicazione istantanea fra i due fili



e le due sfere dell'oscillatore si è condotti a supporre che si potrebbe modificare la disposizione adottata e mettere i due fili in comunicazione diretta con le pälline.

Allora l'insieme delle sfere e delle antenne costituirà un grande oscillatore rettilineo.

Si è così condotti ad ammettere che l'antenna faccia parte dell'oscillatore e aggiunga alle sfere della capacità e soprattutto dell'autoinduzione e, per conseguenza produca un aumento di lunghezza d'onda e nello stesso tempo un aumento nella lunghezza dell'oscillatore, ciò che ne aumenta la portata.

Le onde emesse sono certamente riflesse dal suolo, e l'effetto osservato nell'apparecchio ricevitore è quello che risulta dall'interferenza fra le onde dirette e le onde riflesse. Nella disposizione ordinaria dell'oscillatore, in cui non vi è che una antenna in comunicazione con un polo del rocchetto, mentre l'altro polo è a terra, la riflessione delle onde completerà in qualche modo l'oscillatore, aggiungendo all'antenna esistente la sua immagine elettrica.

Questa maniera d'interpretare l'azione dell'antenna dell'oscillatore non rappresenta che una opinione personale; ma ricerche recenti vengono in suo aiuto.

Ordinariamente si dà del funzionamento dell'antenna un'altra spiegazione, nella quale si suppone che l'oscillatore abbia il periodo d'oscillazione proprio al sistema delle due sfere sole e che le onde si propaghino nell'antenna per sfuggire in qualche modo dalla sua estremità.

Il funzionamento dell'antenna del ricevitore sembra evidente. Inoltre la sua presenza permette di avvicinarsi alla risonanza.

Un'altra questione è quella della direzione dell'antenna. Se essa è orizzontale invece di essere verticale, gli effetti che si ottengono sono più deboli. Una esperienza di riflessione già citata ne dà una spiegazione sufficiente, se si ricorda che le onde si riflettono certamente sul suolo.

Al tempo dei primi saggi di telegrafia con le onde hertziane, si sono enunciate opinioni molto singolari. Ne enuncierò una che ha dato luogo a ricerche sperimentali, quella della pretesa

penetrazione delle onde in un involucro conduttore completamente chiuso.

Con involucri metallici tali che tutte le parti che li compongono siano in perfetto contatto, non si osserva il minimo effetto sopra un indicatore molto sensibile interamente contenuto in questo involucro; ma se vi sono contatti imperfetti un'azione vi si produce. Si è anche studiato sperimentalmente l'influenza della forma e dell'orientazione della fenditura per la quale le onde entrano nell'involucro.

A proposito di quest'ultima espressione mi permetto di osservare che non mi sembra bene scelta. Non mi sembra esatto dire che le onde entrano per la fenditura e preferisco considerare la cosa in un altro modo. I pezzi che formano l'involucro sono sede di correnti ondulatorie quando le onde arrivano su di essi. Queste correnti si compensano nell'interno dell'involucro, se questo è completo; ma questa compensazione non ha più luogo quando le correnti restano modificate per qualche interruzione nella continuità del metallo.

Si è detto che le onde possono attraversare facilmente grandi colline interposte fra due stazioni. Le recenti esperienze hanno dimostrato invece che una semplice nave può interrompere le comunicazioni. Mi sembra dunque che la pretesa penetrabilità delle colline sia semplicemente un fenomeno di diffrazione.

Un'ultima questione resterebbe da esaminare, quella della distanza massima alla quale si possono ottenere buone trasmissioni di segnali. Si è riconosciuto che questa distanza cresce con l'altezza delle antenne, secondo una legge espressa per mezzo di una formola empirica. Veramente si possono calcolare le onde emesse da un oscillatore rettilineo infinitamente piccolo e assorbite da un risonatore simile; ma sembra che questo caso teorico sia troppo lontano dal caso reale. Si sono anche date formole complesse in cui si tien conto dello smorzamento, ma esse si prestano a serie obiezioni. Infine è quasi impossibile tener conto delle perturbazioni prodotte dalla terra e dai diversi oggetti che si trovano vicino agli apparecchi o vicino alla linea che congiunge le due stazioni. Per ora dunque è necessario contentarsi dei dati empirici.

Sarà pure riservato all'avvenire ogni giudizio sulla praticità e sulla utilità della telegrafia con le onde hertziane.

Sopra questo tema si è a un tempo troppo scettici o troppo entusiasti. Così, mentre da un lato si è espressa l'opinione che per certi tragitti le linee telegrafiche terrestri e i cavi sottomarini sparirebbero, dall'altro si è sostenuto che la telegrafia senza fili non possiede ancora un grado sufficiente di sicurezza perchè il suo impiego possa generalizzarsi, specialmente in guerra.

Forse la verità si trova fra queste due opinioni. È certo che la trasmissione dei dispacci è molto più lenta che in qualunque altro sistema di telegrafia; che le trasmissioni spesso sono impedita, da difetti d'isolamento prodotti dall'umidità, o quando due oscillatori (o più) funzionino nello stesso tempo, o durante violenti temporali, o ancora per la prossimità di correnti di illuminazione; che in mare l'oscillatore può produrre perturbazioni dannose sulle bussole; e che la trasmissione non può essere segreta.

Ma vi sono dei casi in cui non si possono stabilire delle linee telegrafiche, o nei quali è comodo e economico di farne a meno; per esempio per lo scambio dei segnali fra due navi fra loro o con le coste. Si può dire che in tali casi la telegrafia con le onde hertziane potrà dare dei risultati preziosi, anche nel suo stato attuale, e senza tener conto dei perfezionamenti che certamente le saranno apportati.

L'inconveniente che in generale colpisce di più è l'impossibilità di mandare i segnali soltanto al luogo voluto o almeno in una direzione determinata.

Sono state proposte diverse disposizioni destinate a rimediare a questo difetto; ma esse non sembrano sufficienti e in ogni caso non hanno ancora ricevuto la sanzione dell'esperienza. Una delle più ingegnose è forse quella del signor Tommasi consistente nell'uso di un secondo oscillatore che si fa funzionare a caso in modo da impedire a qualsiasi ricevitore di raccogliere i dispacci mandati dall'oscillatore principale, salvo al di là di una certa distanza che l'oscillatore secondario di minore forza non può oltrepassare,

Per i piccoli apparecchi di laboratorio, l'uso di un riflettore parabolico permette di mandare le onde quasi esclusivamente in una direzione determinata, ma per un oscillatore a lunga antenna la cosa è quasi impossibile, e che io sappia, essa non è stata ancora provata.

Alla prima sembra che si possa raggiungere lo scopo impiegando un risonatore perfettamente all'unisono con l'oscillatore corrispondente. Ma allora bisognerà modificare gli apparecchi, perchè, come ora sono, per il forte smorzamento dell'oscillatore, un risonatore entra in azione anche quando il suo periodo non è uguale a quello dell'oscillatore.

Si è così condotti ad aumentare l'autoinduzione dei due apparecchi, come hanno fatto i Sigg. Lodge e Muirhead, per arrivare a una migliore sintonizzazione, ma la distanza massima alla quale si possono mandare i segnali diventa molto piccola.

Qualunque sia il valore che si danno a queste considerazioni, tutti si troveranno d'accordo, io credo, per riconoscere che, tale com'è, la telegrafia con onde hertziane è una delle più notevoli applicazioni che siano state fatte, nei nostri tempi, di un principio scientifico.

---