

S. Leva¹ A.P. Morando*

UN POSTMAXWELLIANO: OLIVER HEAVISIDE

Le presenti note ripropongono l'importanza e l'attualità di questo grande scienziato, così inspiegabilmente "dimenticato", ed offrono l'occasione per avvicinarsi sia al suo pensiero che, più in generale, alla scienza vittoriana. Artefice di importanti contributi fisico-matematici, egli ebbe nel contempo un ruolo cruciale anche nell'ambito elettrico-tecnico. In questo senso una sua rivisitazione appare opportuna per meglio cogliere, nella fase postmaxwelliana dell'elettromagnetismo, i contenuti metodologici impliciti nella affermazione della moderna "elettronica scientifica".

By a Maxwellian I mean one who follows Maxwell as interpreted by O.H.

- Oliver Heaviside

Il 13 agosto 1889, in una lettera inviata ad H. Hertz, il fisico matematico inglese Oliver Heaviside tranquillizzava il collega tedesco a proposito di una ricerca che questi stava conducendo da tempo: la verifica sperimentale della esistenza delle onde elettromagnetiche espressamente voluta da H.L.F. von Helmholtz. Nella missiva, volta innanzitutto a rassicurare Hertz in merito alle critiche mosse al suo lavoro da E. Poincaré, si precisava come l'impiego del *dipolo* potesse ritenersi legittimo a condizione che «*le onde emesse fossero più lunghe*» dell'oscillatore stesso². Si trattava, pur circoscritto nelle poche righe di un messaggio epistolare, di un chiarimento cruciale per il successivo sviluppo dell'Elettromagnetismo. Esso infatti, valicando ogni ricerca di astratto rigore formale, consentiva all'indagine hertziana di superare le riserve metodologiche avanzate dalla fisica francese e di giungere in tal modo alla legittimazione della *Dynamical Theory*. Questa, elaborata fin dal 1864, non suffragata da riscontri operativi capaci di accreditarne la corrente di spostamento, era stata accolta fino a quel momento con non poche perplessità. Ora, invece, essa poteva finalmente essere confermata al di là di ogni possibile dubbio. E tutto ciò accadeva proprio mentre le correnti forti e quelle deboli, avviandosi verso le loro prime grandi affermazioni, si accingevano a porre ben precisi quesiti ad una teoria elettromagnetica vissuta in senso sempre più applicativo. Dopo tutto, e non casualmente, il *Treatise*, rivolto espressamente agli elettricisti inglesi all'indomani di una battaglia di Sedan che aveva inequivocabilmente sancito il predominio prussiano sull'Europa, era stato dedicato da Maxwell proprio agli ingegneri ...



Dal carteggio Heaviside-Hertz.

If it is love that makes the world go round, it is self induction that makes electromagnetic waves go round the world

- Oliver Heaviside

A vent'anni di distanza dalla *Dynamical Theory*, la verifica hertziana segnava dunque l'inizio di quell'era post-maxwelliana della quale, a buon diritto, proprio Heaviside ed Hertz potevano considerarsi gli artefici principali. Una fase prerelativistica di natura prioritariamente fisico-matematica ed epistemologica, ma nella quale tuttavia, grazie al ricorso preliminare alla Teoria dei Campi, anche la più usuale Teoria delle Reti, rinunciando all'apparente autoevidenza che le era derivata da un "fortunato empirismo", trovava finalmente, grazie al dipolo oscillante, la sua prima oggettiva condizione di legittimità scientifica. E, con essa, in una lettura anche più allargata che coinvolgeva la conversione elettromeccanica e la trasmissione di potenza, la conferma esplicita dell'indole fisico-matematica riconoscibile all'ingegneria Elettrica. Quella per la quale, con Steinmetz e con Slepian, ma certamente con Ferraris e con Giorgi³, essa sarebbe divenuta sempre di più uno specifico quanto consapevole evento post-maxwelliano.

Per parte sua, con tale chiarimento, Heaviside anticipava⁴, e di non pochi anni, quelle che in seguito sarebbero state le odierne condizioni di Abraham, per le quali la legittimità dell'approccio circuitale va comunque ricondotta al confronto preliminare tra la dimensione massima del circuito e la lunghezza delle onde associabili al fenomeno elettromagnetico considerato⁵.

To the majority of people the unusual and arresting name of Oliver Heaviside conveys nothing.

***-"Oliver Heaviside" in "The Post-Victorians"
Richard Whiddington***

Tale anticipazione, non costituì comunque l'unico risultato conseguito nel corso dei suoi studi. Oltre a quello citato infatti, per ricordare solo i contributi più importanti, egli mise a punto l'odierna analisi vettoriale. Chiari ed estese la teoria delle equazioni di Maxwell, cui conferì, avvalendosi delle nozioni di rotore e divergenza, la struttura circuitale attuale. Scopri inoltre il principio che rende possibile la telefonia su lunghe distanze; prevede in seguito la televisione e le comunicazioni radio transoceaniche; ebbe alcune intuizioni sulla relatività; pose infine le basi per il moderno calcolo operatoriale.

Tuttavia, inespugnabilmente, malgrado il merito di simili contributi, se pure fu tenuto in grande considerazione da non pochi scienziati del suo tempo, oggi egli appare pressoché caduto nell'oblio. Azzardare una spiegazione ragionevole per



Dagli appunti di Heaviside.

questa sua “emarginazione” non appare cosa agevole. Forse, avanzando un’ipotesi non del tutto usuale, la ragione potrebbe risiedere proprio nel fatto che i suoi contributi furono talmente importanti ed “utili” da essere in seguito ritenuti quasi “ovvi a priori” e dunque “noti da sempre”.

Sua fu l’introduzione della moderna teoria dei vettori. Oggi, grazie a questo algoritmo, la fisica previttoriana è stata interamente riscritta in forma vettoriale e solo a questa, ormai da molto tempo, i fisici-matematici e gli ingegneri fanno riferimento. Con il risultato che può risultare realmente “difficile” pensare che tali conoscenze, seppure in tempi “remoti”, siano nate ed esistite in una forma diversa da quella attuale, così naturalmente ricca di trasparenza. Appare invece più spontaneo pensare, negando però in tal modo la presenza Heaviside, che tali formulazioni, proprio perché immediate, siano state da sempre concepite proprio nel modo attuale.

From here on this book is absolutely unreadable. - opinione di uno sconosciuto studente di fisica matematica del secolo scorso rinvenuta scritta sulla sua copia del Treatise

Analoghe considerazioni valgono poi per le Leggi di Maxwell. Nella forma originaria data dal Grande Scozzese, esse assommavano a venti equazioni differenziali scalari di Lagrange applicate al sistema anolonomo nel quale si identificava l’etere. Cristallizzate in tale formulazione, esse avrebbero finito per costituire per l’uomo attuale, sempre più bisognoso di sintesi e di unificazione, un approccio concettuale proibitivo ed in parte anche infecondo. Fu proprio Heaviside invece che, risentendo di tale “disagio”, seppe fare dell’edificio maxwelliano, a prima vista così complesso, un’“idea quotidianamente possibile”, trasparente e compendiosa di tutte le implicazioni ontologiche ed applicative che vi erano sottese. Per far questo dovette innanzitutto “riscrivere” e dettagliare nella sua *Electromagnetic Theory* il *Treatise*: l’esito fu cruciale perché in tal modo egli riuscì a compattare le “ostiche relazioni matematiche” presenti nel lascito maxwelliano in una forma direttamente circuitale, ridotta alle sole due equazioni ai rotori presenti nella formulazione moderna giunta a noi. E a tali leggi ai vortici ed alle sorgenti, a conferma della interiorizzazione propria della sua rilettura, egli stesso recò contributi cruciali⁶. Nel 1885, ad esempio, in modo indipendentemente da Poynting, giunse, attraverso l’integrale dell’energia delle equazioni di Maxwell, al bilancio energetico associabile alla Dynamical Theory.

Maxwell, come già è stato ricordato, scrisse le sue equazioni in forma cartesiana e con l’ausilio dei quaternioni. Esse erano pertanto del tutto prive di quella trasparenza fenomenologica e di quella simmetria che è invece propria della formulazione di Heaviside. Va tenuto presente al riguardo che a noi è pervenuta questa formulazione perché Maxwell scomparve ucciso dal cancro all’età di 48 anni, proprio mentre stava lavorando ad una nuova edizione del suo trattato, nella quale, oltre a prendere ulteriormente le distanze dal vortice



molecolare, voleva abbandonare l'uso dei quaternioni di Hamilton per i quali, in più occasioni, aveva manifestato riserve.

In ogni caso nel corso della stesura della prime edizione del trattato per Maxwell l'uso del formalismo, e forse anche la chiarezza, non furono obiettivi principali e dunque, seppur provvisoriamente, non se ne occupò. Heaviside, che invece aveva fatto della chiarificazione il suo obiettivo principale, li colse subito. Si servì per questo, esponendone dettagliatamente i fondamenti nel III capitolo della sua *Electromagnetic Theory*, della compatta notazione vettoriale che egli, unitamente

all'americano Gibbs, mise completamente a punto, definendo in particolare il prodotto scalare e vettoriale. Tale proposta non fu indolore perché molti fisicimatematici del tempo, tra cui in particolare proprio P. Tait, il grande amico di Maxwell, gli si scagliarono letteralmente contro. Egli, da parte sua, rispose per le rime ed il risultato fu che la tenzone degenerò, rimbalzando dalle pagine delle riviste scientifiche, in una rissa. Per la cronaca il risultato fu che lui aveva ragione e la chiarezza della formulazione stava a confermarlo.

Ci sono però delle considerazioni anche più profonde di quelle, in fondo puramente formali, legate ai vettori. Innanzi tutto va osservato che Heaviside si servì intenzionalmente della notazione compatta di rotore e di divergenza. Egli conosceva infatti il teorema di von Helmholtz sull'esistenza ed unicità delle soluzioni di campo e per questo motivo si servì di tale formalismo. Altra cosa molto importante è che Maxwell, in questo figlio dell'approccio faradiano, si era servito dello stato elettrotonico che riportava alla filosofia della natura tedesca e che oggi conosciamo col nome di potenziale vettore. Heaviside respinse tale approccio, definendolo metafisico, e si servì in modo diretto dei campi elettrico e magnetico, i soli che egli riteneva osservabili. Questo suo approccio, per il quale fu detto il "W. Whitman della fisica inglese", confermava la sua accettazione a priori della nozione faradiana di campo e dunque dell'azione per contatto. Anche Hertz arrivò alla stessa forma di equazioni, ma figlio di Weber e di von Helmholtz, lo fece per successive correzioni di quella che in fondo continuava ad essere una teoria di pseudocontatto, se non addirittura di azione a distanza. Heaviside si dedicò alla formulazione delle equazioni di Maxwell per i sistemi in movimento, anche se nel suo contributo sono ancora assenti le successive correzioni relativistiche di Lorentz.

Quanto alla parte energetica, fino ai primi anni '50 la forza era vista come la nozione di base su cui prioritariamente riflettevano gli scienziati. Lo sviluppo simultaneo della Termodinamica, ed in particolare il principio di conservazione dell'energia (1847), avevano tuttavia spostato l'attenzione degli studiosi verso

l'energetica. Questo problema era poi particolarmente sentito proprio in elettromagnetismo, dove l'azione per contatto aveva conferito particolari significati alla lettura meccanica dell'Energia di Maxwell.

Il 19 Giugno del 1884 il fisico matematico C. Poynting, che in quell'anno come economista si stava occupando dell'oscillazione dei prezzi del cotone importato in Inghilterra, pubblicò il suo famoso Teorema. Si tratta di un fulmine a ciel sereno perché da quel momento si comprese come i conduttori non accumulino in alcun modo energia ma si limitino, per dir così, a guidarla, questa essendo accumulata nello spazio circostante. Da quel momento, da McDonald in poi, i fisici matematici si daranno da fare per indicare eccezioni alla lettura di Poynting. Ne nacquero, soprattutto da parte della rivista *The Electrician* che ospitava i lavori di Heaviside, questioni di priorità sulla pubblicazione di tale Teorema⁷. Oggi tutto questo poco importa. I due pubblicarono autonomamente e quasi simultaneamente il lavoro. È un fatto che quello di Poynting aveva una trattazione analitica molto involuta, mentre quello di Heaviside, legato all'integrale per parti delle equazioni di Maxwell, rappresenta la versione attuale. Nella sua formulazione finale, datata 2-11-1885, il vettore di Poynting reca già la presenza esplicita del termine additivo solenoidale a priori arbitrario. Da lì partirà J. Slepian, nel '42, per il suo omonimo vettore.

Per tale via circuitale, con lui, forse ancor più che con Hertz, nacque finalmente l'Elettrotecnica post-maxwelliana, quella che, facendo giustizia di un Mascart e Joubert già causa di notti insonni per Ferraris avrebbe progressivamente condotto alla lettura moderna⁸.

He was a mathematician at one moment, and a physicist at another, but first and last, and all the time, he was a telegraphist.
- W.E. Sumpner in "The work of Oliver Heaviside"

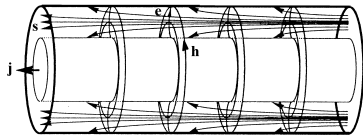
Altrettanto importante fu la teoria, da lui interamente svolta, delle linee a costanti distribuite. Avvalendosi sia delle sue equazioni di campo che del calcolo operatoriale, egli condusse tale indagine fino alla formulazione attuale, basata, oltre che comunque sul calcolo degli elementi circuitali, sulla formulazione delle equazioni dei telefonisti, dei telegrafisti e dei radiotecnici.

Con l'inizio del nuovo secolo, tali "equazioni teoriche" si sarebbero scontrate con le esigenze applicative proprie delle linee di potenza ed avrebbero in tal modo svelato il complesso e talvolta "conflittuale" rapporto esistente tra l'ingegneria elettrica e la fisica matematica postmaxwelliana⁹.

Sir K. Thomson theory of the submarine cable is a splendid thing.
- Oliver Heaviside

L'esigenza di un approfondimento tecnico della teoria delle linee si presentò tuttavia con maggior urgenza già sul finire del secolo nell'ambito delle telecomunicazioni. Fino a quel momento l'unico fondamento teorico per il loro

progetto risaliva a Lord Kelvin ed era relativo a segnali telegrafici trasmessi su grandi distanze. Le frequenze in gioco erano in tal caso molto basse perché,



Secondo il modello di Kelvin, valido per le basse frequenze, la trasmissione via cavo dava luogo a fenomeni diffusivi.

anche con la manualità più abile, il codice Morse era in grado di immettere frequenze armoniche che non oltrepassavano mai il centinaio di hertz. Ne derivavano, in accordo con il modello diffusivo kelviniano, fenomeni reattivi di entità trascurabile. Ora, passando invece alla telefonia, le cose si complicavano nettamente perché il parlato era in grado di introdurre armoniche anche dell'ordine del migliaio di hertz. In tal caso il modello diffusivo di Kelvin non risultava più difendibile: le armoniche di ordine più elevato, "cammin facendo", se non si attenuavano del tutto, giungevano a destinazione più velocemente di quelle lente per cui il segnale non era più riconoscibile. Tale effetto reattivo di distorsione fu imputato prioritariamente all'induttanza, che da quel momento apparve ai "comunicazionisti" come la causa di tutti i mali. Per questo motivo, al fine di debellarla, negli anni successivi, scienza e tecnica, congiunte in uno sforzo comune, si dedicarono al progetto di linee a bassissima induttanza. Fautore principale di tale strategia fu W.H. Preece, direttore tecnico della G.P.O., "uomo pratico" che "esibiva scarso interesse nei confronti dei teorici che rivestivano il loro lavoro di formule inutili" ...

Heaviside, che in un'aspra controversia proprio con W.H. Preece, arrivò a definirlo su *Electrician* uno "scienziatucolo"¹⁰, giunse alla soluzione completa del problema individuando l'omonima condizione che rende possibile la telefonia: l'assenza di distorsione è ottenibile imponendo la condizione $RC=LG$. In tale prospettiva, andando contro l'opinione corrente, egli, anziché attenuare l'induttanza, propose ereticamente addirittura di accrescerla collocando lungo la linea opportune "bobine di carico". La soluzione, tecnicamente affidata al fratello Arthur, anch'egli telefonista, si dimostrò vincente. Heaviside non poté tuttavia attuarla: era questo il prezzo da pagare per il dissidio e la derisione verso il ben più potente W.H. Preece. Dieci anni dopo M.I. Pupin, professore alla Columbia University, per tale idea non sua otterrà un brevetto: da allora si parlerà di linee pupinizzate¹¹. Heaviside, cui la vendita di *Electromagnetic Theory* non aveva assicurato l'atteso e vitale ritorno finanziario, non avrà per tale idea, che fece di lui il padre delle Telecomunicazioni¹², alcun riconoscimento, nè alcun compenso.

He is a genius, but one has to check his calculations ...

- Kirchoff a proposito di Maxwell

Lo studio delle linee di trasmissione, comportando necessariamente l'analisi dinamica dei circuiti, condusse il fisico matematico inglese ad occuparsi

parallelamente anche delle procedure analitiche implicite nello studio dei transitori¹³. In tale ambito, la sua innata insofferenza per i “cavilli logici” giocò un ruolo decisivo per l'ingegneria elettrica perché lo portò dapprima a negare il complesso degli algoritmi classici usati in analisi differenziale¹⁴ e successivamente, spinto dall'esigenza di pervenire sul piano applicativo a metodi più rapidi e diretti, ad approdare al calcolo operatoriale che egli, in due articoli dal titolo *On the self induction of wires* e *On resistance and conductance operators* dell'86 e dell'87, presentò su *Philosophical Magazine*. L'idea da lui proposta, estremamente geniale ed “eccentrica”, consistette nel riguardare la derivata temporale $df(t)/dt$ di una funzione come un “prodotto” del tipo $(d/dt) f(t)$, nel rappresentare successivamente il fattore d/dt presente, omogeneo con una pulsazione, con l'iniziale p di tale parola e nell'applicarvi infine, in modo del tutto naturale, le ordinarie regole dell'algebra. Così facendo, una corrente poteva esprimersi algebricamente nella forma $i(t)=e(t)/z(p)$ riconducibile ad una funzione nota del tempo e ad un rapporto tra polinomi funzione della pulsazione generalizzata p . Il metodo così proposto, promettendo di far giustizia di quei metodi differenziali che lo stesso Steinmetz definirà insoddisfacenti, appariva senza dubbio allettante. Sul piano metodologico esso risultava tuttavia non probante, in quanto non poteva comunque ritenersi lecito riguardare come una formalizzazione analiticamente coerente ciò che in fondo costituiva solo un'espressione simbolica. Le critiche in questo senso non si fecero attendere. Per esse i matematici della *Royal Society*, pur affascinati da questa “magia”, si videro costretti a respingere l'idea perché giudicata del tutto priva di rigore. Da parte sua Heaviside, anche non negando la legittimità di queste riserve, mantenne, e fu questo un grosso vantaggio per l'Elettrotecnica, la precisa convinzione che, al di là della apparenza, tali risultati dovessero contenere qualcosa che valicava il semplice simbolo. Dopo tutto, come egli aveva potuto constatare, gli zeri dell'equazione $z(p)=0$ conducevano alle costanti di tempo della rete e con esse alla sua evoluzione libera: essi non potevano dunque essere puramente simbolici. Procedette pertanto imperterrito per la sua strada e, nei riguardi dei molti che avanzarono riserve sul suo algoritmo, la sua risposta, tipica dell'uomo, fu la seguente: «E allora? Dovrei forse rifiutarmi di mangiare perché non capisco a fondo il processo della digestione?».

Inizialmente egli si limitò a considerare la funzione telegrafica, in seguito denominata gradino di Heaviside, ed ottenne al riguardo risultati probanti. Confortato da tali risultati, ne estese in seguito i contenuti, fino a giungere in modo conclusivo alla sua formula dello sviluppo.

Con tali contributi, ormai innegabili, il dado era dunque tratto: ora, prendendo atto delle possibilità che tale algoritmo svelava, sarebbe stato compito dei matematici di professione rendere rigoroso nel modo dovuto un approccio fin qui innegabilmente intuitivo. Nel 1904, negli Atti AEI, fu G. Giorgi a dare la prima sistemazione fondatazione su tale argomento. La sua ricerca, durata anni, avrebbe dato vita ad una scuola di pensiero di cui A.M. Angelini sarebbe stato uno dei continuatori. In seguito il lavoro, seppur su una base metodologica talvolta diversa dalla precedente, sarebbe stato sviluppato da T.J. Bromwich,

J.R. Carson, B. Van der Pol, G. Doetsch, E.J. Berg ed altri. L'esito finale, con un felice raccordo con l'integrale di Duhamel del lontano 1833, avrebbe condotto, sul finire degli anni '20, alla moderna Trasformata di Laplace.

It was great, greater and greatest
-Opinione di Oliver Heaviside sul Treatise

Per Heaviside tale ricerca faticosa era cominciata molto tempo prima di quel lontano e fortunato 1889 con Hertz. Ultimo di quattro figli nasce, in un sobborgo di Londra nel 1850, in una famiglia nel quale il padre, di salute malferma, a mala pena riesce a mantenere i figli. La sua infanzia sembra uscita classicamente da un libro di Dickens. Di fatto la sua casa si trovava vicino alla fabbrica di lucido da scarpe dove aveva lavorato Dickens e più di qualcuno ha riscontrato analogie tra l'aspetto della sua casa natale e la descrizione che Dickens stesso fa della casa di Mr. Micawber presso la quale abiterà per un certo tempo David Copperfield ... In giovanissima età la scarlattina danneggia gravemente il suo udito, condannandolo ad un isolazionismo dal quale emergerà il suo carattere terribile.

Egli non ricevette alcuna formazione universitaria e, se si fa eccezione per il periodo di sei anni in cui, grazie ai buoni uffici dello zio Sir C. Wheatstone, poté lavorare come telegrafista, fu anche un disoccupato a vita. Eppure questo autodidatta, condannato alla solitudine da una progressiva sordità, grazie alle sue doti intellettuali ed alla sua inflessibile volontà, divenne uno dei più grandi fisici dell'epoca vittoriana.

Mentre, con successo, lavorava come telegrafista, si impegnò in un ambizioso programma di studi di fisica matematica che lo portò, già con le sue prime pubblicazioni, ad avere una menzione particolare nella seconda edizione (1882) del *Treatise*. Nel 1874, a 24 anni, letta l'opera di Maxwell e conquistato dalla "semplicità" che traspariva da quelle formule, intravide possibilità prodigiose dietro a quelle venti equazioni e si decise a padroneggiarle. Decise dunque di abbandonare il posto di lavoro e di dedicarsi interamente, allo studio del suo pensiero. In seguito la conferma hertziana¹⁵ dell'88-89 avrebbe dimostrato la correttezza delle teorie maxwelliane. Egli però, come rivelerà nel '18, non avrebbe atteso questa conferma¹⁶. Per lui la fisica matematica del *Treatise*, una volta compresa, rendeva le verità racchiuse nella *Dynamical Theory* inconfutabilmente vere a priori. « Mi occorsero vari anni prima di poter capire tutto ciò che era nelle mie possibilità. Allora misi da parte Maxwell e seguii la mia strada. E progredii molto più rapidamente... »

Heaviside pubblicò la sua produzione scientifica su *Electrician*, un periodico professionale, che pur riservato ad ingegneri elettrotecnici, ospitò anche lavori di eminenti accademici, tra cui, in particolare, J. A. Fleming, J. Hopkinson e lo stesso Maxwell. Tali presenze gli consentirono di esser molto apprezzato da importanti studiosi, tra i quali Kelvin, Lodge, Fitzgerald e Poynting. Per questo, considerato ormai un'autorità indiscussa, nel '91 divenne membro della *Royal Society*.

Il riconoscimento, venuto dopo anni di immense fatiche e di grosse frustrazioni, era però ormai tardivo. Con l'età, i segni dei primi squilibri mentali avevano iniziato a manifestarsi. E la sua appartenenza alla *Royal Society*, pur prestigiosa, non bastava a difenderlo dalla derisione dei suoi vicini di casa ...

I believe in Ghosts, Everybody does, though my Ghosts are not Thy Ghosts...

- da una lettera del 1924 al Professor Ernst Julius Berg-Union College

La felice conclusione della vertenza con Kelvin sull'età della terra¹⁷ fu il suo "canto del cigno". Con l'inizio del secolo, il nome di Heaviside scomparve completamente dalle riviste scientifiche. Nel 1908 egli si trasferì a Torquay, nella costa meridionale della Gran Bretagna. Una pensione statale di 800 sterline, a a suo tempo "negata" a Faraday, valse a salvarlo dalle difficoltà economiche.

L'accresciuto isolamento e l'età ne peggiorarono rapidissimamente il fisico e soprattutto la mente, facendo di lui un eremita, afflitto da manie di persecuzione e zimbello di chi lo incontrava.

Nel 1925, a seguito di una caduta, Oliver, uomo geniale, fragile e sfortunato, morì. Nel frattempo, egli aveva sostituito tutti i mobili di casa con grosse pietre e, forse vittima di una sindrome depressiva di cui nessuno mai si occupò, aveva siglato la sua carta da lettere con il titolo W.O.R.M. [verme].

Oggi la fisica matematica e l'ingegneria elettrica postmaxwelliana, debbono molto sia alla sua sofferita *Electromagnetic Theory* che a quegli *Electrical Papers* che non seppero salvarsi dal macero. D'altra parte, in tempi ben più recenti, una loro ristampa del 1970 non oltrepassò mai i limiti angusti degli specialisti: scrivere sotto forma vettoriale o sintetizzare Maxwell con rotori e divergenza è cosa nota a tutti, da sempre. E, assai spesso, la cultura è inconscia ed impalpabile...

Nel 1929, Ernst Julius Berg, l'*Alter Ego* di Charles Proteus Steinmetz, pubblicò il primo trattato applicativo sulle L-trasformate: *Heaviside's Operational Calculus*, un testo snello, efficace ed ancora oggi di sorprendente modernità¹⁸. Il libro, dopo aver fornito l'immancabile tabella sulle "trasformate più ricorrenti", termina con due appendici. La prima, quasi una scelta obbligata in quegli anni immediatamente postmaxwelliani, è riservata alla *Dynamical Theory*. La seconda, assai dettagliata, alla figura umana e scientifica di Oliver Heaviside. Quest'ultima parte, così "specialistica ed ardua", non fu affidata ad un addetto ai lavori, bensì ad un asincronista di fama: Bernard Behrend, colui che alla Westinghouse partì esattamente da dove Tesla aveva fallito, ottenendo risultati per i quali in seguito si parlò di «*age of the induction motor analysis*». Ancora oggi quelle brevi note su un fisico matematico scritte da un asincronista di professione costituiscono un punto di riferimento per gli specialisti ed i cultori di Heaviside. In quella *golden age* dell'Elettrotecnica che fu successiva agli anni postmaxwelliani, Oliver, ben presente nella comunità degli elettrici, non fu dunque dimenticato. E l'approfondimento della sua opera servì a meglio definire i fondamenti metodologici delle Scienze Elettriche.

Di lì a qualche anno, a Schenectady, si affaccerà un altro grandissimo altrettanto, "incompreso e sconosciuto": Gabriel Kron. La storia recente, in modo superficiale e frettoloso, ne ha paragonato impropriamente l'opera scientifica a quella di Steinmetz. Essa in realtà, sia per la sua polivalenza sia per il carattere profondamente innovativo che la animò, appare invece più vicina proprio a quella di Heaviside, di cui è in pari misura quotidianamente utilizzata in modo inconsapevole. Oggi infatti gli elettricisti, con la loro teoria biassica, le loro matrici e le loro diadi, con le reti interpretative di campi, con la diakoptica e la compensazione serie delle linee di trasmissione, sono più che mai intrisi del pensiero di Gabriel Kron. E, spesso, forse neppure lo sanno. Ma tant'è: la cultura è talvolta inconscia ed impalpabile.

Riferimenti Bibliografici

- [1] O. Heaviside, *Electrical papers*, 2 Voll, 2nd Ed., Chelsea Publishing Company, New York, (1970)
- [2] O. Heaviside, *Electromagnetic Theory*, 3 Voll., 3rd Ed. (ibidem 1971)
- [3] J.Z. Buchwald, *Oliver Heaviside, Maxwell's Apostle and Maxwellian Apostate*, Centaurus, 28, (1985)
- [4] P.J. Nahim, *Oliver Heaviside: Sage in Solitude*, IEEE Press, New York, (1988)
- [5] J.G. O'Hara, W. Pricha, *Hertz and the Maxwellians*, Peter Peregrinus Ltd, London, (1987)
- [6] I. Yavetz, *From Obscurity to Enigma - The work of Oliver Heaviside 1872-1889*, Birkhäuser, Berlin, (1995)
- [7] R. Manigrasso, A.P. Morando, *La Nascita dell'Ingegneria Elettrica*, Tecniche Nuove, Milano, (1997)
- [8] A.P. Morando, *L'insegnamento e la ricerca in Elettrotecnica nei primi cento anni di storia del Politecnico di Milano*, Quaderni di Storia della Fisica, N.2, (1997)
- [9] A.P. Morando, S. Leva, *Note di teoria dei Campi Vettoriali*, Esculapio, Bologna, 1998

NOTE

¹ Dipartimento di Elettrotecnica - Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32 - 20133 Milano, Tel: +39-2-23993729 - Fax: +39-2-23993703 - e-mail: sonia@bottani.etc.polimi.it

²Nel compiere la sua indagine, volta ad evidenziare sperimentalmente il contenuto propagativo implicito nelle equazioni di Maxwell, Hertz formalizzò appositamente la sua teoria del dipolo oscillante. Dovette avvalersi a questo scopo anche della formula di Lord Kelvin, ma, per elaborarla, accettò di utilizzare le relazioni premaxwelliane di von Neumann Commise in tal modo, e la cosa non sfuggì ad un Poincaré particolarmente critico, il grave errore metodologico di dimostrare la validità di una teoria nuova servendosi di relazioni che, a priori, erano proprie solo di quella vecchia. Sul piano concettuale una simile critica, del tutto ineccepibile, rischiava di invalidare sia l'attesa legittimità del pensiero maxwelliano sia la conseguente possibilità di una sua espansione applicativa.

³In Italia la cultura tecnica del tempo, che pure, con la dovuta eccezione di Righi e Ferraris, aveva saputo solo in parte interiorizzare la lettura maxwelliana, si mostrò in seguito "inaspettatamente" interessata ad Heaviside. Una conferma esplicita al riguardo è costituita dallo scambio culturale che, dalle pagine di *Electrician*, G. Giorgi ebbe proprio con lo scienziato inglese. Ciò avvenne soprattutto a proposito della ricerca di una definizione rigorosa di quella "ardua" nozione di forza elettromotrice che lo stesso Maxwell, in precedenza, non aveva saputo comprendere con la dovuta chiarezza. Esempio a tutt'oggi, per la lungimiranza che la contraddistingue, è poi la recensione che, nel 1898, dalle pagine de *l'Elettricista*, il Giorgi stesso scrisse per la *Electromagnetic Theory* di Heaviside. Negli anni successivi i contenuti di tale opera si sarebbero positivamente riflessi sulla rivoluzione fondazionale che egli portò avanti tramite le sue *Lezioni di Fisica Matematica*. Il suo caso non fu poi isolato, perché, oltre a lui, non pochi furono gli elettricisti italiani che si mostrarono vivamente interessati a questo autore. Tra gli altri, valga l'esempio di Luigi Donati, illustre fisico matematico presso l'Ateneo bolognese, successivamente passato all'elettrotecnica. Ampia fu in lui non solo la conoscenza di *Electromagnetic Theory*, ma anche quella, forse meno usuale, di *Electrical Papers*, l'opera monumentale dello scienziato inglese rimasta pressoché invenduta e per questo rapidamente condannata al macero. Questa sua "affezione" non fu tuttavia casuale, perché, se già nel 1885 Heaviside approdava ad un integrale primo dell'energia delle equazioni di Maxwell che anticipava per via campistica la odierna *Relazione di Tellegen*, di fatto, nel 1899, proprio il Donati ne riprese e ne sviluppò i contenuti stessi. Tellegen del resto fu sempre ben presente nell'elettrotecnica italiana di quegli anni. Accanto all'importante e "recente" contributo del duo Bottani & Sartori del 1959, "tracce" di questa ricerca sono presenti in Galileo Ferraris già dal 1872.

⁴Heaviside si occupò anche di reti magnetiche, portando avanti il lavoro di Rowland e di Hopkinson. Suoi sono infatti i termini riluttanza e permeanza. L'approccio operatoriale lo condusse poi ad affinare i concetti di impedenza e di reattanza e ad introdurre quelli di ammettenza e di suscettanza.

⁵In seguito il necessario lavoro di chiarificazione, in larga parte preliminarmente compiuto proprio su quelle stesse formule di Neumann “incriminate” da Poincaré, non sarebbe risultato né facile né immediato. In ogni caso, da tale ricerca sarebbe apparso definitivamente chiaro come le “teorie circuitali” di Ampère, Neumann, Kirchhoff etc., fino ad allora “indiscriminatamente utilizzate” come se il regime fosse sempre stazionario, costituissero soltanto dei risultati approssimati, deducibili per via *quasi-statica* dagli integrali generali delle equazioni di Maxwell.

Negli anni successivi l'analisi fondazionale dell'approccio circuitali non avrebbe più potuto prescindere da tale consapevolezza. E, con essa, dalla necessità di dedurre in modo diretto e rigoroso la Teoria delle Reti dalle equazioni di Maxwell, così da esplicitarne con la dovuta chiarezza sia la portata concettuale che le condizioni di legittimità. La soluzione definitiva a tale problema, successiva ai lavori dello stesso Steinmetz, sarebbe giunta solo nel 1927, a cento dunque anni dalla legge di Ohm, con la pubblicazione, da parte di J.R. Carson, di *“Electromagnetic theory and foundations of electric circuit theory”*. Fondamento indiscusso della moderna Ingegneria Elettrica, tale contributo è oggi riguardabile come la “necessaria prosecuzione circuitali” di quella *Dynamical Theory* di cui conserva sia il rigore fondazionale sia il ruolo innovatore. Questa analisi, oltre che per i suoi fondamentali contenuti metodologici, appare oggi altrettanto significativa, sul piano storico, per i processi osmotici che essa, espressione dei fecondi scambi tra università e industria, seppe innescare tra le varie aree di competenza interessate. Presentata dapprima alla *National Academy of Sciences*, essa, convenientemente ampliata, fu in seguito didatticamente inclusa in un corso appositamente tenuto presso il MIT; comparve infine, con specifica valenza tecnica, nel *Bell System Technical Journal*. Era questo, all'indomani dell'ingegner Steinmetz, il segno tangibile di come l'Ingegneria Elettrica, evento definitivamente post-maxwelliano, stesse approdando al suo assetto scientifico-tecnico attuale.

⁶Dirà a questo riguardo G. F. Fitzgerald, del Trinity College di Dublino, che «*Il Trattato di Maxwell è ingombro dei detriti delle sue brillanti idee di assalto, dei suoi campi trincerati, delle sue battaglie. Oliver Heaviside ha sgombrato il campo, ha aperto una via di accesso diretta, ha costruito una strada ampia e ha esplorato una parte considerevole della regione.*».

⁷In effetti su tale rivista Heaviside pubblicò il suo lavoro il 21 Giugno 1884. Poynting consegnò il suo articolo il 17 Dicembre '83 e questo venne letto di fronte alla *Royal Society* il 10 Gennaio '84. Poiché l'edizione data a stampa reca note aggiuntive di Poynting datate 19 Giugno '84 ne nascerà una questione di priorità.

Per la cronaca va ricordato che già nel 1875 il Bartoli, per via termodinamica, predisse addirittura la pressione di radiazione implicita in Poynting. Per alcuni anni si parlò infatti di Teorema di Poynting-Bartoli.

⁸In essa gli elettrici attuali, sostituendo il metodo storico con quello logico, presentano *ab initio* la teoria di campo, vista nella sua azione per contiguità, e da questa, a ritroso, passano all'azione per pseudo-contatto, per giungere infine a quella a distanza. Giorgi, sensibile a queste tematiche, in alcune riflessioni dell'età matura che avrebbero dovuto condurre al suo Grande Trattato, parlerà al riguardo di schema didattico di insegnamento per azione a distanza e, con riferimento ad Heaviside, secondo lo sviluppo intermedio.

⁹Proprio a questo riguardo, in anni successivi, occupandosi di guasti sulle linee di potenza, Steinmetz, con riferimento esplicito ad Heaviside, avrebbe affermato che «*phantom transmission lines circuit of uniformly distributed capacity and inductance was very different from the circuits existing in practice*». La sua risposta sarebbe stata, nel 1909, *Theory and calculation of transient phenomena and oscillations*. Tale trattato avrebbe segnato la definitiva transizione postmaxwelliana dall'approccio fisico matematico di Heaviside e quello applicativo necessario invece all'elettrotecnica, con Steinmetz, «*the most mathematical of all engineering disciplines*».

¹⁰Si calcola che la presenza di Preece, "uomo pratico" che restò sempre ancorato al modello di Kelvin e non seppe mai comprendere le equazioni a costanti distribuite di Heaviside, abbia ritardato il progresso delle telecomunicazioni di vent'anni.

¹¹Sarà G.A. Campbell, all'*American Bell Telephone* a realizzare anni dopo il primo induttore a questo scopo.

¹²Fu proprio Heaviside, seppure contemporaneamente a Kelvin, a postulare nel 1902 l'esistenza di una ionosfera in grado di riflettere le onde elettromagnetiche e dunque capace di imprimere alle radiotrasmissioni un progresso che la telefonia poté avere solo successivamente.

¹³Erano questi, successivi all'80, gli anni in cui la teoria dei transitori, seppur ancora in modo parziale, era già stata oggetto di attenzione da parte degli elettrici e nel corso dei quali tutta una serie di algoritmi, sviluppati precedentemente dai fisici matematici, si accingevano ad essere trasferiti alle reti elettriche. E' questo, ad esempio, il caso dell'utilizzo dell'identità di Eulero nello studio delle reti in regime sinusoidale: concepita già alcuni decenni prima da von Helmholtz, tale strategia, attraverso una iniziale lettura grafica di W. Blakesley e di G. Kapp, si accingeva ora, sul finire del secolo, ad essere formalizzata in modo definitivo da Kennelly e da Steinmetz.

¹⁴Nel 1821 A. Cauchy, sviluppando alcune idee di Leibnitz, aveva algebricamente formalizzato un'idea embrionale di calcolo operatoriale. In seguito, procedendo sempre su tale approccio, egli aveva poi ricondotto tali risultati alle *trasformazioni integrali* già concepite da Laplace e successivamente sviluppate da Fourier.

¹⁵Il lavoro di Heaviside su Maxwell fu condotto parallelamente da Hertz, il quale tuttavia, pubblicando *Electric Waves*, riconobbe cavallerescamente che «*la*

priorità spetta al Signor Heaviside». Per qualche anno le Leggi di Maxwell così formulate furono chiamate di Hertz-Heaviside. Con Einstein esse divennero invece di Maxwell-Hertz, per tornare successivamente, e definitivamente, equazioni di Maxwell.

¹⁶In effetti l'accettazione definitiva di Maxwell si ebbe solo quando Sir O. Lodge rivelò la presenza di onde elettromagnetiche anche nei materiali conduttori.

¹⁷ Vanno ricordati anche gli studi di Heaviside sul calcolo dell'età della Terra fondati sull'analisi del "transitorio di raffreddamento" del pianeta. Tale ricerca, i cui esiti numerici trovarono un ragionevole riscontro negli studi di C. Darwin, determinarono la smentita degli studi contemporanei che, attraverso la stessa via, condusse Lord Kelvin, amico e grande estimatore di Heaviside.

¹⁸Da molto tempo ormai egli aveva abbandonato la *General Electric* ed ora, dopo una parentesi iniziale all'Università di Illinois, insegnava all'*Union College*. Quegli "appunti", già a suo tempo rimaneggiati per la *General Electric Review*, risalivano alla "fase eroica" di Schenectady, quando, con Charle Proteus, alla mattina in sala prove si misuravano sincroni non ancora sufficientemente chiariti da Doherty ed al pomeriggio si studiava severamente Maxwell ed Heaviside. Un Heaviside che Berg conobbe di persona e con il quale ebbe, per lungo tempo, proficue frequentazioni intellettuali utili di riflesso anche allo stesso Steinmetz.