

elettrochimica della pila rivale della precedente, secondo la quale le giunzioni cruciali erano quelle tra metallo e liquido elettrolita, dove si verificavano i processi chimici che, producendo una polarizzazione dell'elettricità, generavano il moto elettrico.

- c) Una terza teoria, rimasta virtualmente sconosciuta, fu pubblicata nel 1806 dal filosofo naturale danese Hans Christian Oersted.

2.2 Oersted e l'unificazione tra elettricità e magnetismo

HANS CHRISTIAN OERSTED [1777–1851] fu in tutto e per tutto un filosofo naturale dinamistico, in esplicito antagonismo con la tradizione meccanico-molecolare francese di Laplace, Poisson e Biot, allora dominante. Da giovane ebbe una formazione da farmacista ma successivamente completò una tesi di dottorato in filosofia che verteva sull'opera di Kant *Fondamenti metafisici delle Scienze naturali*, una delle opere fondamentali per il consolidamento della tradizione dinamistica in fisica. Successivamente Oersted studiò con Johann Gottlieb Fichte, successore di Kant e divenne sostenitore della *Naturphilosophie* di Friedrich Schelling. Da coerente filosofo dinamistico rifiutò ogni specifica ipotesi meccanica, enfatizzando il ruolo delle osservazioni empiriche e del contributo a priori della mente umana attraverso cui queste osservazioni potevano essere trasformate in leggi universali. Il contenuto a priori delle leggi di natura forniva secondo Oersted, così come secondo Schelling, la base per l'unificazione della scienza, soprattutto attraverso il concetto di polarità, polarità che si manifestava in natura nella forma di due forze fondamentali opposte, come egli stesso affermò:

Ci sono due forze fondamentali che esistono in tutti i corpi e che non possono essere mai completamente rimosse da essi. Ognuna di queste forze ha un'azione espansiva e repulsiva nel volume che essa domina; ma ognuna attrae e produce una contrazione quando agisce sull'altra.

Royal Society. Dopo il 1820 studia i fenomeni magnetici prodotti dall'elettricità ed effettua ricerche di elettrochimica. Nel 1826 pubblica il lavoro *On the relation of electrical and chemical changes*, successivamente si ammala e parte per un viaggio in Italia; a Roma si sente come "una rovina tra le rovine". Sebbene paralizzato da un ictus scrive una serie di dialoghi che saranno pubblicati un anno dopo la sua morte, avvenuta a Ginevra nel 1829: *Consolations in travel, or the last days of a philosopher*.

Il suo interesse per la fisica fu stimolato dal suo amico tedesco Wilhelm Ritter, anche lui farmacista e sostenitore della *Naturphilosophie*, nonché abile sperimentatore nel campo dei fenomeni elettrici. Insieme con lui lavora sul galvanismo esponendo nel 1803, a Parigi, alcuni dei loro risultati e la teoria dello stesso Ritter. I risultati vengono ben accettati, ma le loro interpretazioni teoriche, basate su un tentativo di unificazione di galvanismo e magnetismo, furono respinte perché troppo imbevute di *Naturphilosophie* e del tutto indigeste per una città dominata dallo spirito meccanicistico di Laplace e della sua scuola.

Tre anni dopo Oersted espone una sua teoria della pila voltaica, secondo la quale l'elettricità galvanica era "una sorta di oscillazione dinamica" o moto ondulatorio polarizzante:

Sappiamo che la forza che viene trasmessa attrae la sua opposta, mentre respinge la forza dello stesso tipo. Quando la forza attratta ha raggiunto una certa intensità essa si ricombina con una certa porzione della forza attraente, lasciando la forza respinta in uno stato ancora più perfetto di libertà. Questa forza produce una nuova distribuzione mediante la sua facoltà attrattiva e repulsiva e, un momento dopo, si raggiunge un nuovo equilibrio come il primo e così via.

E aggiungeva:

Tutto ciò che è stato detto finora sull'elettricità si deve ugualmente applicare al magnetismo. L'azione di un magnete comincia con una polarizzazione, e deve di conseguenza comunicarsi come un moto ondulatorio come per l'elettricità.⁶⁰

Nella stessa opera sostenne ancora che "questo meccanismo di azione della propagazione ondulatoria è senza dubbio generale in tutta la natura" anche se "è molto difficile da dimostrare".⁶¹ Un anno prima Oersted aveva scritto a Ritter suggerendo che l'unificazione fra elettricità e magnetismo dovesse essere estesa alla chimica e a tutti i fenomeni naturali, in quanto prodotti dalle stesse forze di polarizzazione:

Cosa altro sono le forze elettriche se non elettricità opposte? [...] Le stesse forze si manifestano nel magnetismo come in elettricità [...] tutte le forze in Natura si possono ridurre a queste due.

⁶⁰ H.C. Oersted, *Des forces électriques considérées comme des forces chimiques*, J. Physique, 62 (1806), 369–375; cit. p. 370; cit. in L.P. Williams, *Michael Faraday: A Biography*, (Londra, 1965), p. 138.

⁶¹ *Ibid.*, p. 370.

Nonostante i suoi tentativi e quelli di Ritter non fu loro possibile dimostrare sperimentalmente l'identità delle forze elettriche e magnetiche, ma il lavoro scientifico di Oersted continuò ad essere dominato dal tentativo di unificazione delle forze della natura. Nel 1806 Oersted, grazie alle sue ricerche di elettricità e di acustica, diventa professore all'università di Copenhagen. Nel 1813 pubblica le *Recherches sur l'identité des forces chimiques et électriques*⁶² e in questo contesto ridiscute la relazione fra forze elettriche e magnetiche, affermando a questo proposito: «È necessario verificare se l'elettricità nel suo stato più latente [cioè l'elettricità galvanica] eserciti una qualche azione su un magnete».

In realtà questi tentativi di unificazione fra elettricità e magnetismo non furono una prerogativa esclusiva dei dinamisti Oersted e Ritter. Ma l'approccio dei meccanici, come Biot, era assai diverso: l'unificazione veniva ricercata attraverso la riduzione di tutti i fenomeni all'azione di forze meccaniche a distanza tra molecole. Così Biot, nel 1819, cercava di spiegare la magnetizzazione di fili di ferro e aghi mediante azioni puramente meccaniche:

è provato che ogni pezzo di ferro che ha subito uno sfregamento si magnetizza e [...] una scarica elettrica, agendo come un colpo, sviluppa magnetismo in fili di ferro in cui viene fatta passare. Per lo stesso motivo il fulmine produce lo stesso effetto sulla bussola e a volte ne inverte la polarità.

Biot vedeva “la più completa, la più perfetta e la più fondamentale analogia tra le leggi dei due principi magnetici e dei due principii elettrici” (cioè fra la legge di Coulomb e la sua analoga per i poli magnetici), entrambe del tutto simili nella forma alla legge di gravitazione universale, tutte quante caratterizzate dall'essere forze centrali che si manifestano con azioni a distanza. Biot cercava appunto un'unificazione di tutti i fenomeni elettrici e magnetici descrivibili mediante “colpi” o urti e cioè riconducibili all'ordinaria meccanica delle particelle e quindi non poteva avere alcuna simpatia per il programma di Oersted, così poco rigoroso da un punto di vista matematico e meccanico⁶³.

⁶² Paris, 1813.

⁶³ Jean-Baptiste Biot [1774–1862], educato all'École Polytechnique, diventa professore di matematica all'Università di Beauvais nel 1797, a 25 anni, e professore di fisica matematica al Collège de France nel 1800, membro dell'Accademia delle

Ma fu l'approccio dinamistico a produrre frutti: fin dal 1807 Oersted era andato alla ricerca di una correlazione tra elettricità e magnetismo e nel 1820 Oersted intraprese le sue ricerche elettriche cercando esplicitamente un'azione laterale esercitata da un conduttore galvanico su un magnete.

Nell'aprile 1820 dispone l'ago magnetico perpendicolarmente al conduttore in tutte le possibili configurazioni Nord-Sud dell'ago e del filo (+ e -). Poi ripete l'esperimento disponendo l'ago sia parallelamente che sopra il filo, trovando inizialmente un debole effetto. Ripete l'esperimento nel luglio dello stesso anno con una corrente più intensa e questa volta riesce ad osservare l'effetto molto più chiaramente: la deflessione dell'ago magnetico posto nelle vicinanze del filo metallico, quando il filo viene collegato ad una pila voltaica. Ma soprattutto scopre che l'effetto non dipende dall'interposizione di un qualsiasi mezzo non conduttore tra l'ago e il filo, contrariamente al caso dell'elettricità elettrostatica. Oersted descrive l'effetto della forza in termini di un'azione circolare, in quanto l'ago si dispone lungo direzioni tangenti a circonferenze perpendicolari al filo e con il loro centro su di esso.

Come egli stesso spiegherà successivamente, parlando di sé in terza persona, l'idea dell'esperimento gli era venuta dalla ricerca di un'analogia tra i noti effetti di incandescenza provocati da una corrente galvanica e un eventuale effetto simile di tipo magnetico:

Come l'effetto luminoso e di riscaldamento di una corrente elettrica si propaga in tutte le direzioni fuori da un conduttore che trasmette una grande quantità di elettricità, così egli pensò che l'effetto magnetico potesse irradiarsi in modo simile.⁶⁴

Scienze nel 1803. Accompagna Louis-Joseph Gay Lussac nel primo volo in pallone intrapreso per scopi scientifici, nel corso del quale studiano le variazioni del campo magnetico terrestre con la quota e la composizione degli strati alti dell'atmosfera. Biot collabora anche con Arago con il quale studia le proprietà rifrattive dei gas. La sua opera più importante è il *Traité élémentaire d'astronomie physique* (trad. ingl. 1805). Nel 1835 studiando la luce polarizzata scopre che le soluzioni di zucchero fanno ruotare il piano di polarizzazione e che l'angolo di rotazione fornisce una misura diretta della concentrazione, un metodo non distruttivo di analisi chimica.

⁶⁴ H.C.Oersted, *Thermoelectricity*, Edinburgh Encyclopedia, 18 (1830), 573-589; cit. p. 575.

Oersted comunica i suoi risultati inviando per posta una memoria⁶⁵ ai più importanti fisici europei, i quali peraltro li accolgono con lo scetticismo più totale a causa delle sue precedenti pretese di unificazione fra elettricità e magnetismo nel contesto della *Naturphilosophie*. Il chimico Pierre-Louis Dulong da Parigi scrisse a Berzelius che le notizie dell'esperimento di Oersted erano state accolte "molto freddamente" nella capitale francese, e liquidate come "nient'altro che un nuovo sogno tedesco"⁶⁶.

Ma l'esperimento di Oersted era altamente riproducibile e poco do-

⁶⁵ H.C. Oersted, *Esperienze relative all'effetto di un conflitto elettrico sull'ago magnetizzato*, 21 luglio 1820.

⁶⁶ Dulong a Berzelius, 2 ott. 1820, cit. in C. Blondel, *Ampère et la Création de l'Électrodynamique*, (Parigi, 1982), p. 44. Il chimico Pierre-Louis Dulong [1785–1838] insieme con Alexis-Thérèse Petit, chimico e fisico, aveva di recente (1819) dedotto la legge empirica secondo cui il calore molare di tutte le sostanze è ca. 6,4 cal/(mol K). Tale legge, verificata con buona approssimazione dalla maggior parte dei solidi a temperature superiori a 300 K, venne usata durante tutto il 19° secolo per il calcolo dei pesi atomici. Jöns Jacob Berzelius [1779–1848], chimico svedese, fu tra i maggiori scienziati del secolo. Scopri gli elementi cerio, silicio, selenio, zirconio, torio e vanadio; classificò gli elementi in metalli e metalloidi ed enunciò la legge dei numeri proporzionali e quella degli equivalenti chimici. Sulla base della teoria di Dalton svolse infatti un vastissimo programma di ricerche analitiche per provare le leggi relative alla combinazione chimica e determinare i vari pesi atomici. Non avendo tuttavia stabilito una distinzione tra atomi e molecole, i risultati di tali calcoli finivano col risultare incerti. Nell'ipotesi che l'elettricità potesse fornire una spiegazione dell'affinità, Berzelius sviluppò, a partire dal 1811, una teoria, ispirata in modo evidente alla *Naturphilosophie*, secondo la quale ogni atomo era dotato di polarità di segno opposto, possedendo sia una carica positiva che una carica negativa. In base al loro comportamento durante l'elettrolisi, le diverse sostanze, classificate in elettronegative ed elettropositive si combinavano chimicamente tra loro sotto l'impulso delle polarità elettriche presenti sugli atomi. Questa semplice teoria ebbe inizialmente un certo successo, ma non riusciva a spiegare il concetto di sostanza formata da atomi di uno stesso elemento, i quali, essendo dotati delle stesse cariche elettriche, non potevano avvicinarsi e legarsi tra loro. L'enorme influenza delle teorie di Berzelius finì con l'oscurare, tra l'altro, l'idea di molecola avanzata da Amedeo Avogadro [1776–1856] il quale nel 1811, ammettendo l'ipotesi che volumi uguali di gas differenti nelle medesime condizioni contengono un ugual numero di molecole (che sarà detto poi numero di Avogadro), aveva stabilito contemporaneamente una chiara distinzione tra atomi e molecole di uno stesso elemento. Tale teoria sarà riproposta nel 1860 da Stanislao Cannizzaro [1826–1910] e servirà a fornire una tabella dei pesi atomici priva delle incertezze che finivano col rendere terribilmente confuso il campo delle formule chimiche.

po François Arago ne dette una dimostrazione prima a Ginevra e poi a Parigi, all'Accademia delle Scienze, dinanzi ad un pubblico di scettici.

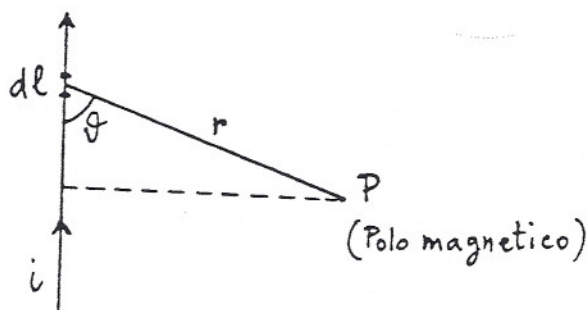
A questo punto l'interesse si spostò verso l'interpretazione di tale esperimento che secondo Oersted costituiva nient'altro che una conferma dell'unità di tutte le forze: galvanismo, elettricità statica e magnetismo, da lui definito una forma "più latente" di elettricità. Riprendendo il suo concetto di propagazione ondulatoria, interpretò la corrente come un flusso il cui moto lungo il filo avveniva in direzioni opposte e secondo due spirali di elettricità positiva e negativa. Inoltre ipotizzò che, in presenza di una pila abbastanza potente, non risultando la propagazione nel filo sufficientemente veloce da riuscire a trasportare tutta la corrente prodotta, una parte di questa venisse trasmessa lateralmente all'esterno, manifestandosi come forza magnetica sull'ago magnetico posto in prossimità del filo, in modo tale che le due forme di elettricità, positiva e negativa, agivano rispettivamente sul polo sud e sul polo nord.

Questa teoria non trovò alcun sostenitore, mentre nel 1821 J. J. Berzelius e H. Davy avanzano un'interpretazione alternativa attribuendo ad una proprietà magnetica del filo conduttore l'origine dei risultati di Oersted. Anche Biot interpretò il fenomeno in termini puramente magnetici e, coerentemente con le sue convinzioni meccanicistico-molecolari, parlò di "una autentica magnetizzazione molecolare comunicata alle particelle del filo metallico" che dava luogo ad azioni a distanza puramente magnetiche⁶⁷. Biot non riuscì ad ottenere una derivazione matematica dei risultati di Oersted, ma nel 1820, pochi mesi dopo l'annuncio della scoperta di Oersted, insieme a Savart ricavò la legge, nota appunto come legge di Biot e Savart, per la quale l'intensità in un punto del campo magnetico prodotto nello spazio circostante dalla cor-

⁶⁷ J. B. Biot, *Precis Elementaire de Physique* (Parigi, 1824), vol. 2°, p. 773. Biot e Savart esaminarono subito l'effetto trovato da Oersted, ricavandone una spiegazione che lo riduceva a un'azione tra gli elementi del filo eccitato dalla pila e un polo magnetico isolato. In ogni caso Biot non pensava che l'azione rivelasse qualcosa di fondamentalmente nuovo, piuttosto pensava che le scariche elettriche subita dal filo collegato alla pila, dovessero in qualche modo smuovere particelle magnetiche normalmente in quiete all'interno di esso, determinando una distribuzione all'interno del filo che potesse produrre l'effetto osservato. In assenza di una trattazione matematica del magnetismo tutto ciò poteva sembrare plausibile, anche se nessuna distribuzione di particelle magnetiche avrebbe potuto produrre la forza circolare richiesta.

rente elettrica che scorre in un elemento infinitesimo del conduttore è direttamente proporzionale all'intensità della corrente ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza del punto dal filo⁶⁸:

$$dB \propto \frac{idl \sin \theta}{r^2}$$



2.3 Il contributo di Ampère

I contributi più significativi allo sviluppo dell'elettromagnetismo in Francia non vennero dai fisici laplaciani, ma da ANDRÉ-MARIE AMPÈRE [1775–1836], che diede un'interpretazione degli esperimenti di Oersted in netto contrasto con la teoria magnetico-meccanicistica di Biot, e più vicina allo spirito dinamistico di Oersted.

Ampère era un "enfant prodige": a 12 anni dominava tutta la matematica conosciuta ai suoi tempi. Nel 1801, a 26 anni, diventa professore di fisica e di chimica a Bourg e nel 1809 professore di matematica all'École Polytechnique a Parigi. Successivamente i suoi interessi si allargano dalla fisica alla botanica, alla chimica, alla matematica, alla

⁶⁸ Tale legge, caposaldo dell'odierna teoria elettromagnetica, è l'equivalente magnetico della legge di Coulomb che esprime l'intensità del campo elettrico prodotto da un elemento infinitesimo di carica in un punto generico dello spazio circostante, a distanza r dalla carica stessa: $dE \propto \frac{idq}{r^2}$.