

André-Marie Ampère: la teoria dell'azione a distanza tra correnti e tra correnti e magneti*

Le esperienze che ho fatto sull'azione mutua dei conduttori che mettono in comunicazione le estremità di una pila voltaica mi hanno dimostrato che tutti i fatti relativi a questa azione possono essere ricondotti a due risultati generali, che si devono anzitutto considerare come dati unicamente dall'osservazione, determinandone la natura e, se possibile, l'espressione analitica della forza che li produce. Comincerò con l'enunciarli sotto la forma che mi sembra la più semplice e generale. Questi risultati consistono nell'azione direttrice di uno dei corpi sull'altro e nell'azione attrattiva e repulsiva che si stabilisce fra di loro secondo le circostanze.

Azione direttrice. Quando un magnete e un conduttore agiscono l'uno sull'altro e, essendo uno di essi fisso, l'altro possa soltanto ruotare in un piano perpendicolare alla più breve distanza fra il conduttore e l'asse del magnete, quello dei due che è mobile tende a ruotare in modo che le direzioni del conduttore e dell'asse del magnete vengano a formare un angolo retto e che il polo del magnete che è abitualmente rivolto al nord risulti a sinistra di quella che si chiama comunemente corrente galvanica (denominazione che io ho cambiato in quella di corrente elettrica) e il polo apposta risulti alla sua destra (si intende che la retta che misura la più breve distanza fra il conduttore e l'asse del magnete incontra la direzione di questo asse fra i due poli) [...].

Nelle esperienze del signor Oersted l'azione direttrice si combina sempre con quella che il globo terrestre esercita sull'ago magnetizzato e si combina inoltre talvolta con l'azione che descriverò fra poco sotto la denominazione di azione attrattiva o repulsiva; il che conduce a risultati complicati dei quali è difficile analizzare le circostanze e scoprire le leggi.

Per osservare gli effetti dell'azione direttrice di una corrente elettrica su un magnete, senza che siano alterati dalle diverse cause suddette,

* (Comunicazioni di Ampère alla Académie des Sciences, a partire dal settembre 1820. Da Ampère, *Opere*, a cura di Mario Bertolini, *Classici della Scienza*, Torino, UTET 1969, pp. 187 sgg.)

ho fatto costruire uno strumento che ho chiamato *ago magnetizzato astatico* [...].

La principale esperienza eseguibile con questo apparecchio è quella che mostra che l'angolo fra le direzioni dell'ago e del conduttore è sempre retto quando esista soltanto l'azione direttrice.

Attrazione attrattiva o repulsiva. Il secondo risultato generale consiste nel fatto che un conduttore, congiungente le due estremità di una pila voltaica, e un magnete, il cui asse faccia un angolo retto con la direzione della corrente che si manifesti in quel conduttore in conformità delle definizioni precedenti, si attirano quando il polo australe è a sinistra della corrente che agisce su di esso, ossia quando la posizione è quella che il conduttore ed il magnete tendono a prendere in virtù della loro mutua azione, e si respingono quando il conduttore e il magnete sono mantenuti nella posizione opposta a quella che essi tendono a darsi mutuamente. Dall'enunciato stesso di questi due risultati appare che l'azione fra il conduttore ed il magnete è sempre reciproca. Quantunque questa reciprocità mi sembrasse evidente per se stessa, mi sono anzitutto dedicato a verificarla; mi sembra che sia superfluo descrivere qui le esperienze che ho fatto per constatarla; basti dire che esse sono pienamente riuscite [...].

A ognuno dei poli di un magnete, le correnti elettriche di cui esso si compone sono dirette secondo curve chiuse concentriche; ho imitato questa disposizione per quanto possibile con una corrente elettrica, piegando il filo conduttore a spirale: questa spirale era formata con un filo di ottone e terminava con due porzioni rettilinee di questo stesso filo, racchiuse in due tubi di vetro affinché non comunicassero fra loro e potessero essere congiunte alle due estremità della pila.

Secondo il senso nel quale si fa passare la corrente in tale spirale, essa è in effetti fortemente attirata o respinta dal polo di un magnete che le sia presentato in modo che la direzione del suo asse sia perpendicolare al piano della spirale, seconda che le correnti elettriche della spirale e del polo del magnete siano nello stesso senso o in senso contrario. Sostituendo il magnete con un'altra spirale la cui corrente abbia lo stesso senso della prima, si hanno le stesse attrazioni e repulsioni; ho così scoperto che due correnti elettriche si attirano quando hanno lo stesso senso e si respingono nel senso contrario [...].

Potei finire di leggere all'Académie quanto ho sopra trascritto sol-

tanto nella seduta del 25 settembre; terminavo quella lettura con un riassunto nel quale, dai fatti che avevo esposto, deducevo le seguenti conclusioni:

1. Due correnti elettriche si attirano quando si muovono parallelamente nello stesso senso; si respingono quando si muovono parallelamente in senso contrario.

2. Ne segue che, quando i fili metallici che esse percorrono possano soltanto ruotare in piani paralleli, ciascuna di queste correnti tende a condurre l'altra in una posizione in cui esse risultino parallele: dirette nello stesso senso.

3. Queste attrazioni e repulsioni sono assolutamente diverse dalle attrazioni e repulsioni elettriche ordinarie.

4. Tutti i fenomeni che presenta la mutua azione di una corrente elettrica e di un magnete, che il signor Oersted ha scoperto e che io ho generalizzato e ridotto a due fatti generali in una memoria precedente, letta all'Académie il 18 settembre 1820, rientrano nella legge di attrazione e repulsione di due correnti elettriche, tale quale essa è stata sopra enunciata, ammettendo che un magnete non sia altro che un sistema di correnti elettriche prodotte da una azione delle particelle dell'acciaio le une sulle altre, analoga a quella degli elementi di una pila voltaica e manifestantesi in piani perpendicolari alla linea che congiunge i due poli del magnete.

5. Quando il magnete è nella posizione che tende a prendere per l'azione del globo terrestre, queste correnti sono dirette nel senso opposto a quello del movimento apparente del sole; quando si pone il magnete nella posizione contraria, in modo che i poli che guardano i poli della terra siano della stessa specie di questi, le stesse correnti vanno nel senso del movimento apparente del sole.

6. I fenomeni noti che si osservano quando due magneti agiscono l'uno sull'altro rientrano nella stessa legge.

7. Lo stesso deve dirsi dell'azione che il globo terrestre esercita su un magnete, ammettendo in esso delle correnti elettriche in piani perpendicolari alla direzione dell'ago di inclinazione, che si muovono dall'est all'ovest, al di sotto di questa direzione.

8. Non vi è nulla di più a un polo che all'altro; la sola differenza che esiste fra di loro è che l'uno si trova a sinistra e l'altro a destra delle correnti elettriche che danno all'acciaio le proprietà magnetiche.

9. Quando Volta ebbe provato che le due elettricità, positiva e negativa, delle due estremità della pila si attirano e si respingono secondo le medesime leggi delle due elettricità prodotte con i mezzi noti prima di lui, non aveva con questo dimostrato completamente l'identità dei fluidi messi in azione dalla pila e dallo strofinio; ma questa identità fu dimostrata, per quanto una verità fisica lo possa essere, quando egli mostrò che due corpi, dei quali l'uno elettrizzato per il contatto dei metalli e l'altro per lo sfregamento, agivano l'uno sull'altro, in tutte le condizioni, come se fossero stati entrambi elettrizzati con la pila o con la macchina elettrica ordinaria. Lo stesso genere di prove si ha qui riguardo all'identità delle attrazioni e repulsioni delle correnti elettriche e dei magneti [...].

Ora queste attrazioni e repulsioni delle correnti elettriche differiscono essenzialmente da quelle che l'elettricità produce nello stato di riposo; anzitutto esse cessano, come le decomposizioni chimiche, nell'istante in cui si interrompe il circuito dei corpi conduttori. In secondo luogo, nelle attrazioni e repulsioni elettriche ordinarie, le elettricità di specie opposte si attirano e quelle dello stesso nome si respingono; nelle attrazioni e repulsioni delle correnti elettriche avviene precisamente il contrario: si ha attrazione quando i due fili conduttori sono situati parallelamente in modo che le estremità di uguale nome si trovino dalla stessa parte e vicinissime l'una all'altra, e si ha repulsione, quando, essendo sempre i due conduttori paralleli, le correnti sono di senso opposto, dimodoché le estremità dello stesso nome si trovino alla massima distanza possibile. In terzo luogo, nel caso in cui si abbia attrazione e questa sia tanto forte da portare il conduttore mobile a contatto con il conduttore fisso, i conduttori restano attaccati l'uno all'altro come due magneti e non si separano, come invece fanno non appena vengono a toccarsi i due corpi conduttori che si sono attirati perché elettrizzati, l'uno positivamente e l'altro negativamente. Infine, e sembra che quest'ultima circostanza dipenda dalla stessa causa della precedente, due correnti elettriche si attirano o si respingono tanto nel vuoto quanto nell'aria; il che è ancora contrario a quanto si osserva nell'azione mutua di due corpi conduttori elettrizzati nel modo ordinario. Non si tratta qui di spiegare questi nuovi fenomeni: le attrazioni e repulsioni che si manifestano tra due correnti parallele, secondo che esse siano dirette nello stesso senso o in sensi contrari, sono fatti dati

da una esperienza facilmente ripetibile. È necessario, onde prevenire in questa esperienza i movimenti che imprimerebbero al conduttore mobile le piccole agitazioni dell'aria, situare l'apparecchio sotto una campana di vetro, appoggiata sopra uno zoccolo, nel quale si fanno passare le porzioni dei conduttori che debbono comunicare con le due estremità della pila. La disposizione più comoda di questi conduttori consiste nel porne uno su due appoggi in posizione orizzontale immobile, e nel sospendere l'altro con due fili metallici che facciano corpo con lui a un asse di vetro che si trova sopra il primo conduttore e che riposa, con punte di acciaio finissimo, su altri due appoggi di metallo; queste punte sono saldate alle due estremità dei suddetti fili metallici in modo che la comunicazione si stabilisce attraverso gli appoggi per mezzo di queste punte.

I due conduttori si trovano così paralleli e a fianco l'uno dell'altro nello stesso piano orizzontale; uno di essi è mobile, potendo oscillare intorno alla linea orizzontale passante per le estremità delle due punte di acciaio e, in questo movimento, rimane necessariamente parallelo al conduttore fisso.

Sopra e al centro dell'asse di vetro si aggiunge un contrappeso, onde aumentare, alzandone il centro di gravità, la mobilità della parte dell'apparecchio che è suscettibile di oscillare. In un primo tempo avevo creduto che fosse necessario stabilire la corrente elettrica nei due conduttori per mezzo di due pile differenti; ma ciò non è necessario: basta che questi conduttori facciano entrambi parte dello stesso circuito; infatti la corrente elettrica esiste dappertutto con la stessa intensità. Da questa osservazione si deve concludere che le tensioni elettriche delle due estremità della pila non entrano per nulla nei fenomeni di cui ci stiamo occupando: inoltre è certo che non vi sono tensioni nel resto del circuito. Ciò è anche confermato dalla possibilità di fare muovere l'ago magnetizzato a una grande distanza dalla pila, per mezzo di un conduttore molto lungo, la cui parte di mezzo si ripieghi nella direzione del meridiano magnetico sopra o sotto l'ago. Questa esperienza mi è stata indicata dall'illustre scienziato Laplace al quale le scienze fisico-matematiche devono soprattutto i grandi progressi che hanno fatto ai nostri giorni: l'esperienza è pienamente riuscita [...].

Del resto, poiché le attrazioni e le repulsioni delle correnti elettriche si manifestano in tutti i punti del circuito, si può immaginare di

attrarre o respingere quanti conduttori si vogliono con un solo conduttore fisso e fare variare la direzione di quanti aghi magnetizzati si vogliono; mi riprometto di far mettere due conduttori mobili sotto una stessa campana di vetro, dimodoché, rendendoli, con un conduttore fisso comune, parte di uno stesso circuito, essi siano entrambi attratti, entrambi respinti o l'uno attratto e l'altro respinto contemporaneamente, a seconda del modo con il quale si stabiliranno le comunicazioni. In seguito al successo dell'esperienza indicatami dal signor marchese di Laplace, si potrebbe – per mezzo di tanti fili conduttori e aghi magnetizzati quante sono le lettere dell'alfabeto, ponendo ogni lettera su un ago diverso e usufruendo di una pila situata lontano da quegli aghi, le cui due estremità si facciano comunicare alternativamente con quelle di ciascun conduttore – formare una specie di telegrafo atto a scrivere ogni particolare si volesse trasmettere, attraverso qualsiasi ostacolo, alla persona incaricata di osservare le lettere poste sugli aghi. Mettendo sulla pila una tastiera i cui tasti portino le stesse lettere e stabiliscano la comunicazione, abbassandoli, questo mezzo di comunicazione potrebbe realizzarsi con molta facilità e non richiederebbe che il tempo necessario da una parte per toccare e dall'altra per leggere ciascuna lettera.

Se il conduttore mobile, invece di essere soggetto a muoversi parallelamente a quello che è fisso, può soltanto ruotare in un piano parallelo a questo conduttore fisso, intorno a una perpendicolare comune passante per i loro punti di mezzo, è chiaro che, secondo la legge che abbiamo scoperto per le attrazioni e le repulsioni delle correnti elettriche, le due metà di ogni conduttore attireranno e respingeranno quelle dell'altra, secondo che le correnti saranno di uguali sensi o di sensi contrari; conseguentemente il conduttore mobile ruoterà fino al momento in cui giunga in una posizione nella quale risulti parallelo a quello fisso e le correnti siano dirette nello stesso senso: donde deriva che, nell'azione mutua di due correnti elettriche, l'azione direttrice e l'azione attrattiva o repulsiva dipendono da uno stesso principio e sono soltanto effetti diversi di una sola e medesima azione. Allora non è più necessario istituire fra questi due effetti la distinzione che è importante fare, come vedremo tra poco, quando si tratta di una corrente elettrica e di un magnete, considerato come si fa comunemente in relazione al suo asse, perché, in quella azione, i due corpi tendono a porsi in direzioni perpendicolari fra loro. Esaminerò negli altri paragrafi di

questa memoria e nella memoria seguente l'azione mutua fra una corrente elettrica e il globo terrestre o un magnete e quella di due magneti l'uno rispetto all'altro: mostrerò che tanto l'una quanto l'altra rientrano nella legge dell'azione mutua di due correnti elettriche, che ho testé fatto conoscere, se si immaginano sulla superficie e nell'interno di un magnete tante correnti elettriche, in piani perpendicolari all'asse del magnete, quante linee, formanti curve chiuse che non si taglino mutuamente, si possano immaginare; dimodoché, dal semplice accostamento dei fatti, non mi sembra possibile dubitare che non esistano realmente tali correnti attorno all'asse dei magneti o, meglio ancora, che la magnetizzazione non consista soltanto nell'operazione con la quale si dà alle particelle dell'acciaio la proprietà di produrre, intesa nel senso delle correnti di cui abbiamo parlato, la stessa azione elettromotrice che si trova nella pila voltaica, nella zinco ossidato dei mineralogisti, nella tormalina scaldata e anche in una pila formata di cartoni imbevuti e di dischi di uno stesso metallo a due temperature diverse. Però, poiché questa azione elettromotrice si sviluppa nel caso del magnete fra le diverse particelle di uno stesso corpo buon conduttore, essa, come abbiamo fatto notare più sopra, non può mai produrre alcuna tensione elettrica, ma soltanto una corrente continua simile a quella che avrebbe luogo in una pila voltaica che rientri su se stessa formando una curva chiusa; è evidentissimo, dalle osservazioni precedenti, che una simile pila non potrebbe produrre in nessuno dei suoi punti né tensioni, né attrazioni o repulsioni elettriche ordinarie, né fenomeni chimici, poiché sarebbe in questo caso impossibile interporre un liquido nel circuito; ma è chiaro che la corrente che si stabilisse immediatamente in questa pila agirebbe, per dirigerli, attrarli o respingerli, sia su un'altra corrente elettrica sia su un magnete che sarebbe considerato allora come un complesso di correnti elettriche.

In questo modo si giunge al risultato inatteso che i fenomeni del magnete sono unicamente prodotti dall'elettricità e che non vi è nessun'altra differenza fra i due poli di un magnete se non la loro posizione rispetto alle correnti di cui si compone il magnete, dimodoché il polo australe è quello che si trova a sinistra [...].

Il modo in cui concepisco il magnete, cioè come un complesso di correnti elettriche in piani perpendicolari alla linea che ne congiunge i poli, mi fece anzitutto cercare di imitarne l'azione con conduttori a eli-

ca, di cui ogni spira rappresentasse una corrente disposta come quella di un magnete; la mia prima idea fu che l'obliquità di queste spire avvolte si sarebbe potuta trascurare quando le spire avessero avuto piccolo spessore; non avevo allora notato il fatto che, man mano che tale spessore diminuisce, il numero delle spire, per una data lunghezza, aumenta nello stesso rapporto, e che, per conseguenza, come ho riconosciuto più tardi, l'effetto di questa obliquità resta sempre uguale.

Nella memoria letta all'Académie il 19 settembre, denunciavi che avevo l'intenzione di fare costruire delle eliche in filo di ottone per imitare tutti gli effetti del magnete, sia di un magnete fisso con un'elica fissa, sia di un ago magnetizzato con un'elica avvolta intorno a un tubo di vetro sospeso al suo centro su una punta finissima come l'ago di una bussola. Speravo che non soltanto le estremità di questa elica sarebbero state attratte o respinte come i poli di un ago da quelle di una sbarretta magnetizzata, ma anche che essa sarebbe stata diretta per l'azione del globo terrestre; sono riuscito completamente in questo scopo per quanto riguarda l'azione della sbarretta magnetizzata; ma rispetto alla forza direttrice della terra l'apparecchio non era sufficientemente mobile, e questa forza agiva con un braccio di leva troppo corto perché potesse produrre l'effetto desiderato; l'ho poi ottenuto qualche tempo dopo per mezzo di apparecchi che saranno descritti nel paragrafo seguente [...].

Fin dalle prime ricerche sull'argomento di cui ci stiamo occupando avevo cercato di attenere la legge secondo la quale l'azione attrattiva e repulsiva di due correnti elettriche varia quando cambino di valore le loro distanze e gli angoli che determinano la loro posizione rispettiva. Fui ben presto persuaso che non si potesse dedurre questa legge da esperienze dirette, perché essa non può avere un'espressione semplice se non considerando porzioni di correnti di lunghezza infinitamente piccola; ora, non si possono fare esperienze su tali correnti; l'azione delle correnti di cui si possono misurare gli effetti è la somma delle azioni infinitamente piccole dei loro elementi, somma che si può ottenere soltanto per mezzo di due integrazioni successive, delle quali la prima deve essere fatta in tutta l'estensione di una delle correnti per un medesimo punto dell'altra e la seconda si deve eseguire sul risultato della prima integrazione presa fra i limiti indicati dalle estremità della prima corrente, in tutta l'estensione della seconda corrente; soltanto il

risultato di quest'ultima integrazione, presa entro i limiti segnati dalle estremità della seconda corrente, può essere paragonato con i dati dell'esperienza; donde consegue, come ho detto nella memoria che ho letto all'Académie il 9 ottobre scorso, che queste integrazioni sono la prima cosa di cui bisogna occuparsi quando si voglia determinare dapprima l'azione mutua di due correnti, di lunghezza finita, sia rettilinee, sia curvilinee, tenendo presente che in una corrente curvilinea la direzione delle porzioni di cui essa si compone è determinata in ogni punto dalla tangente alla curva secondo la quale la corrente stessa si manifesta, e in secondo luogo quella di una corrente elettrica su un magnete o di due magneti l'uno sull'altro considerando, in questi due ultimi casi, i magneti come complessi di correnti elettriche disposte come ho detto sopra.

Faraday: le interazioni elettromagnetiche avvengono nello spazio e sono interazioni tra linee di forza*

All'inizio della scorsa settimana, mentre facevo un esperimento per riconoscere effetti di una corrente voltaica su un ago magnetico, fui condotto a una serie di scoperte che mi sembravano gettare una nuova luce sull'azione elettromagnetica e sul magnetismo e rendere più chiari e distinti i punti di vista già maturati in proposito. Il valore scientifico degli uomini che hanno già compiuto esperimenti su questi fenomeni è tale che fin da principio avrei dovuto ritenere assai improbabile che i miei esperimenti potessero aggiungere qualcosa di nuovo in proposito; tuttavia, ritengo che essi possano servire a mettere d'accordo i vari punti di vista sul problema in esame. Per questo ne ha pubblicato un resoconto, nella speranza cioè che possano render più perfetta questa importante branca della conoscenza. [...]

Ho disposto il filo percorso da corrente perpendicolarmente all'ago e ho portato l'ago verso il filo per individuare le posizioni che corrispondano a un'azione attrattiva e repulsiva tra ago e filo: invece di trovarne quattro, una attrattiva e una repulsiva per ciascun polo, ne ho trovate

* (M. Faraday, *On some New Electro-magnetic and on the Theory of Magnetism* (1821), in *Experimental Researches in Electricity*, II, 127–28, 129–32, 136–37)