

FISICA/ MENTE

MAGNETISMO

Le teorie del magnetismo dall'antichità ai giorni nostri

Parte I: dall'antichità a Faraday

Roberto Renzetti

FUORI DALLA STORIA

I fenomeni magnetici hanno tardato molto ad essere conosciuti e quindi minimamente discussi perché non sono qualcosa che possiamo osservare nella nostra vita ordinaria. Ancora di più in passato quando essi si presentarono solo a coloro che casualmente hanno avuto a che fare con materiali con proprietà magnetiche naturali come la magnetite (Fe_3O_4). Da qui a scoprire che pezzetti di ferro erano attratti dalla magnetite, ad osservare che i pezzi di magnetite presentavano medesimi fenomeni di attrazione tra loro, ma anche di repulsione, deve essere passato ancora del tempo.

Qualcuno poi avrà anche osservato che se un pezzo di magnetite, un magnete, è libero di muoversi (non vincolato dall'attrito), esso non resta nella posizione in cui lo lasciamo ma si orienta in un certo modo per effetto di una strana azione che su di lui esercita la Terra. E come pensare di eliminare l'attrito in un magnete che è pesante e, se lo poggiamo, non vuole saperne di spostarsi? Lo si può sospendere ad un sottile filo o lo si può sistemare sopra un sughero o altro oggetto galleggiante. Tutto questo è oggi estremamente facile da immaginare perché vi è dietro un mondo di conoscenze che, in gran parte, non occorre neppure spiegare. Ma, in un lontano passato, ognuna di queste acquisizioni è costata centinaia di anni di osservazioni empiriche finché qualcuno, piano piano, non le ha ordinate dando loro un qualche senso logico.

Abbiamo notizie vaghe della conoscenza di questi fenomeni riferite al VI secolo prima di Cristo. Sarebbe stato Talete di Mileto (e Mileto era città dell'Asia Minore al centro di imponenti traffici, anche culturali, tra l'Oriente, l'Egitto e la Grecia) il primo ad occuparsi di fenomeni come l'elettricità ed il magnetismo nelle loro forme primitive ed elementari. Diogene Laerzio affermava che «*Aristotele e Ippia [di Elide] dicono che Talete dette una parte di anima anche alle cose inanimate, arguendolo dalla calamità e dall'ambra*». E ciò vuol dire che già prima di Aristotele si attribuivano a Talete considerazioni sul magnetismo e la cosa non dice troppo perché a Talete sono state assegnate, soprattutto da Aristotele, moltissime scoperte senza però che noi si possa dire se sono sue o meno per mancanza di adeguata documentazione e perché Aristotele non è un riferimento credibile in quanto utilizzava gli altri pensatori sempre a suo comodo. Aristotele

comunque nel *De Anima* (A2 405a 20-22) affermava che «*anche Talete, da quanto ricordano [il riferimento sembra ad Ippia], sembra congetturare che l'anima sia una forza motrice, se afferma che la calamita ha l'anima perché attrae il ferro*». Fenomeni di attrazione e repulsione erano di particolari minerali ferrosi noti come pietra di Magnesia ($\bullet \lambda\theta\omicron\varsigma \text{Μαγνητις}$ ⁽¹⁾; leggi: *e litos Magnetis*, dal nome della città, *Magnesia ad Sipylum*, che si trovava alle falde del monte Sipilo, nell'Asia Minore) che presentavano la proprietà di attrarre a sé pezzettini di ferro.

Anche Platone farà riferimento al magnetismo ma in modo radicalmente differente confrontando il fenomeno all'ispirazione poetica assimilabile alla catena che si genera tra magnete, oggetto attirato e altri oggetti che, se posti a contatto con questo primo oggetto, sono attirati anch'essi. E' come la catena di poeti ispirati da un'unica Musa. Si tratta anche della forza di attrazione che il poeta comunica al suo uditorio. Nel *Timeo* poi Platone sviluppa una teoria fisica del magnetismo. Stava trattando il fenomeno della respirazione ed aveva detto che non esiste il vuoto e che, mediante la respirazione, l'aria respinta dal polmone genera nell'aria esterna una *corrente circolare* che può essere pensato come un vortice. A questo punto diceva: *Ugualmente accade per il movimento di corsi d'acqua, ed anche per la caduta della folgore e i meravigliosi effetti dell'ambra che attrae, come le pietre di Eraclea [i magneti]; in tutti questi fatti non esiste mai nessun tipo di attrazione; ma è che non c'è nessun vuoto, che questi oggetti esercitano gli uni sugli altri una spinta circolare, si separano e si riuniscono per tornare tutti, dopo una permutazione, ciascuno al suo posto.*

Altro approccio è quello meccanicistico degli atomisti. Empedocle, come ci riporta Alessandro di Afrodisia, sosteneva:

Perchè la pietra di Eraclea attira il ferro, Empedocle dice che il ferro è portato verso la pietra dagli effluvi che escono dall'uno e dall'altro e dal fatto che i pori della pietra sono adattati agli effluvi del ferro. In effetti, gli effluvi della pietra scartano l'aria dai pori del ferro e mettono in movimento quello che li tappa. [Egli dice che] quest'aria essendo scartata, il ferro segue la corrente dell'abbondante effluvio. Ora quando gli effluvi che escono dal ferro si portano verso i pori della pietra, (egli dice che) poiché questi pori sono adatti agli effluvi, il ferro fugge infatti anche lui e si mette in movimento con loro.

LA BUSSOLA

(questo paragrafo ed i successivi sono una elaborazione molto estesa del mio articolo [Sulle origini della scienza elettrica e magnetica](#)).

Le notizie che riporto sono in gran parte incerte, vaghe ed a volte contraddittorie, come è sempre quando non si dispone di documenti. Fornisco quindi solo alcuni cenni per seguire alcune tracce della storia della vicenda.

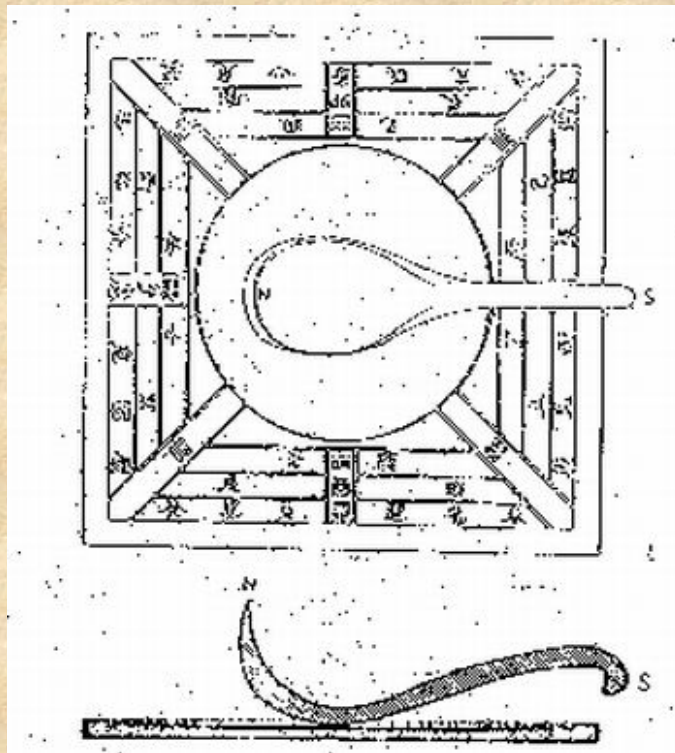
Una delle proprietà che venne scoperta (?) era quella per cui i magneti di forma allungata, barrette o aghi magnetici, se sistemati in condizioni di orientarsi liberamente su di un piano orizzontale si disponevano spontaneamente dirigendo sempre una delle due estremità (per questo chiamata nord dell'ago) verso il nord geografico mentre l'altra risultava diretta verso il sud geografico (sud dell'ago). Tale proprietà risulta sia stata sfruttata in Cina intorno al IV secolo d. C. con la realizzazione di bussole (dal greco $\pi\upsilon\lambda\acute{\iota}\varsigma$ che in latino diventa *buxis* e che, nelle due lingue, vuol dire "scatola di legno di bosso") per orientarsi nella navigazione (fatto che permetteva il superamento del bordeggiare per inoltrarsi in mare aperto anche in condizioni di non visibilità del cielo ma SOLO con mare calmo). Esse erano in genere costituite da un recipiente contenente acqua, sulla quale galleggiava un piccolo oggettino di legno (una canna cava), spesso forgiato artisticamente con la forma di un drago, di un pesce, ..., vincolato a ruotare

liberamente intorno all'asse verticale centrale del recipiente. All'interno di tale oggetto era disposto un ago magnetico che, orientandosi come accennato, orientava anche l'oggetto, che quindi si disponeva indicando la direzione del nord.

Non sappiamo se i Greci, i Romani e gli Arabi conoscessero le proprietà magnetiche della Terra, ma abbiamo qualche testimonianza che la cosa era nota ai cinesi. Shen Kua (1031-1095) faceva cenno alla magnetite e parlava di *tchi-nan* o *carro del sud* (un carro sul quale una piccola statua magnetica dava indicazione del sud), per orientarsi in grandi distese come praterie e deserti. Lo strumento si orientava da solo se lasciato libero di muoversi e quindi era in grado di sentire le proprietà magnetiche della Terra (sembra fosse formato da un blocco metallico con un cucchiaino girevole).



***Carro cinese del sud* con la statuina che può ruotare indicando il Sud**

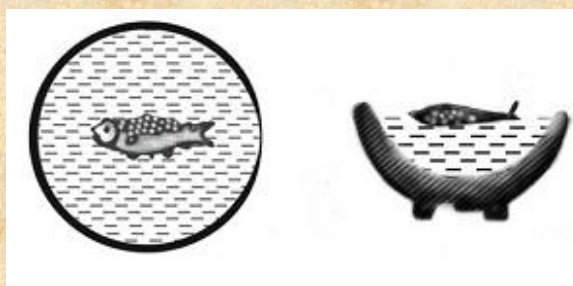
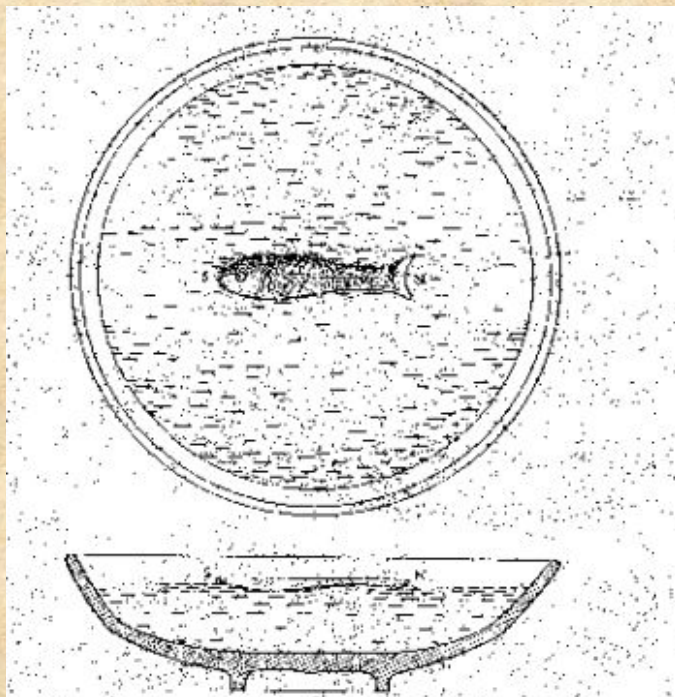


La bussola cinese a cucchiaio, chiamata anche *indicatore del sud*, risalente a circa il 1° secolo d.C. Fu utilizzata anche come strumento divinatorio dai taoisti. Si trattava di un cucchiaio di magnetite sistemato sopra un piatto di terracotta ricoperto da un foglio di rame lucidato. La forma del cucchiaio permette che esso possa ruotare sul piatto a seguito dell'azione magnetica della Terra. Vi erano anche dei significati simbolici legati alla direzione che l'Imperatore indicava per garantire la fertilità della Terra.

Uno storico americano, Carlson, afferma che, da alcuni ritrovamenti a San Lorenzo (Messico del Sud), probabilmente i primi a costruire uno strumento simile ad una bussola, con della magnetite lavorata a barretta che si orientava quando era fatta galleggiare su una superficie d'acqua, furono gli Olmechi, antica e sofisticata popolazione di elevatissimo livello culturale, intorno al 1000 a.C, quindi oltre 2000 anni prima.

Abbiamo racconti che assegnano differenti origini della bussola di Guiot de Provins (nella sua opera satirica *La Bible* del 1190, nella quale si legge che il Papa deplora che la Chiesa non sia ciò che la Stella Polare è per i marinai), Alexander Neckam (1195), Jacques de Vitry (1218) ed altri come Vincent de Beauvais, Alberto Magno, Alfonso il Sabio e Ramon Lull. Qualcuno assegna l'origine all'India, altri fanno riferimento al grande traduttore a Toledo delle opere dell'antichità classica dall'arabo al latino, Gerardo da Cremona, e quindi ad una fonte araba. Per parte loro i cinesi assegnano la scoperta a stranieri (indiani, persiani, arabi ad abitanti di Giava). Chu-Yu (1100) racconta di un oggetto che può considerarsi una bussola utilizzato nel Mar della Cina in una barca in viaggio da Sumatra a Canton. Da quanto ci dicono i cinesi, gli arabi conoscevano la bussola almeno dall'XI secolo ma la tennero segreta per sfruttare la superiorità che dava nella navigazione e quindi nei commerci. Questo sarebbe il motivo per il quale non troviamo una qualche bussola citata nei testi arabi fino a circa il 1230 quando Muhammad al

'Awf raccontò nella sua *Collezione di racconti* di un capitano, disperso nel Golfo Persico a causa di un violento temporale, che ritrovò la rotta grazie ad un magnete a forma di pesce chiamato stranamente, anche lì, *el bossola*.



La bussola costituita da un pesciolino scolpito nella magnetite fatto galleggiare

Ad attestare l'uso della bussola presso gli arabi, abbiamo uno scritto di Baylak al-Qabagaki del 1290 circa, *Libro del tesoro dei mercanti sopra la conoscenza delle pietre*, in cui si narra di un viaggio da Tripoli (Siria) ad Alessandria del 1242:

I capitani allorché l'aria è oscura, così che non possono scorgere alcuna stella per dirigersi secondo i quattro punti cardinali, prendono un vaso colmo d'acqua e lo mettono al coperto dal vento, pigliano poi un ago fissato a una cannuccia in modo che galleggi e lo gettano nel vaso; in seguito, presa una pietra magnetica grande da riempire il palmo della mano, l'accostano alla superficie dell'acqua, dando un movimento di rotazione alla mano, in guisa che l'ago giri a galla e poscia ritirano la mano all'improvviso e l'ago con le sue punte fa fronte al Nord e al Sud.

Tale importante scoperta sembra quindi sia arrivata in Europa, con l'intermediazione araba, tra l'XI ed il XII secolo (occorre però osservare che furono ancora gli stessi arabi a trasferire la bussola europea, da poter usare anche con mare mosso, in Oriente e probabilmente nella stessa Cina)⁽²⁾. Sull'introduzione della bussola in Europa vi è molta leggenda che occorre ridimensionare ad evitare errori clamorosi. Fu probabilmente nel XVI secolo che tali leggende si affermarono⁽³⁾ a seguito dell'errata interpretazione di un testo, scritto nel 1543 da Flavio Biondo, storico di Positano, vicino ad Amalfi, secondo il quale sembrava che marinai amalfitani fossero stati i primi a usare e anche a perfezionare la bussola dei Cinesi. La tradizione popolare, con una strana

deformazione del nome, attribui a questo Flavio l'invenzione della bussola. Una prima notizia certa, e non in ordine cronologico, è che due commentatori della *Divina Commedia* del XIV secolo, Francesco da Buti e Giovanni da Ferravalle, spiegavano il verso 29 del canto XII del Paradiso in tal modo:

"Hanno li naviganti uno bussolo che in mezzo è imperniato una rotella di carta leggera, la quale gira su detto perno; e la detta rotella ha molte punte, et ad una di quelle che vi è dipinta una stella, è fitta una punta d'ago; la quale punta li naviganti quando vogliono vedere dove sia la tramontana, imbriccano con la calamita"

E' la prima descrizione nota di una bussola che si avvicina a quella moderna ed in uso in Italia: l'ago magnetico, imperniato al centro della scatola che lo contiene, gira solidale con la rosa dei venti (la sospensione cardanica, che permette che l'ago mantenga sempre il medesimo piano di rotazione, qualunque sia l'oscillazione della nave, sarà introdotta nel XVI secolo)⁽⁴⁾.

Altre notizie certe sull'uso della bussola magnetica, nei mari del Nord Europa all'inizio del XII secolo, provengono dalla *Summa de utensilibu* del citato Alexander Neckam (1157-1217), un monaco inglese che scrisse varie opere tra cui il *De naturis rerum* ed il *De utensilibus* in cui si parla anche della bussola magnetica⁽⁵⁾.

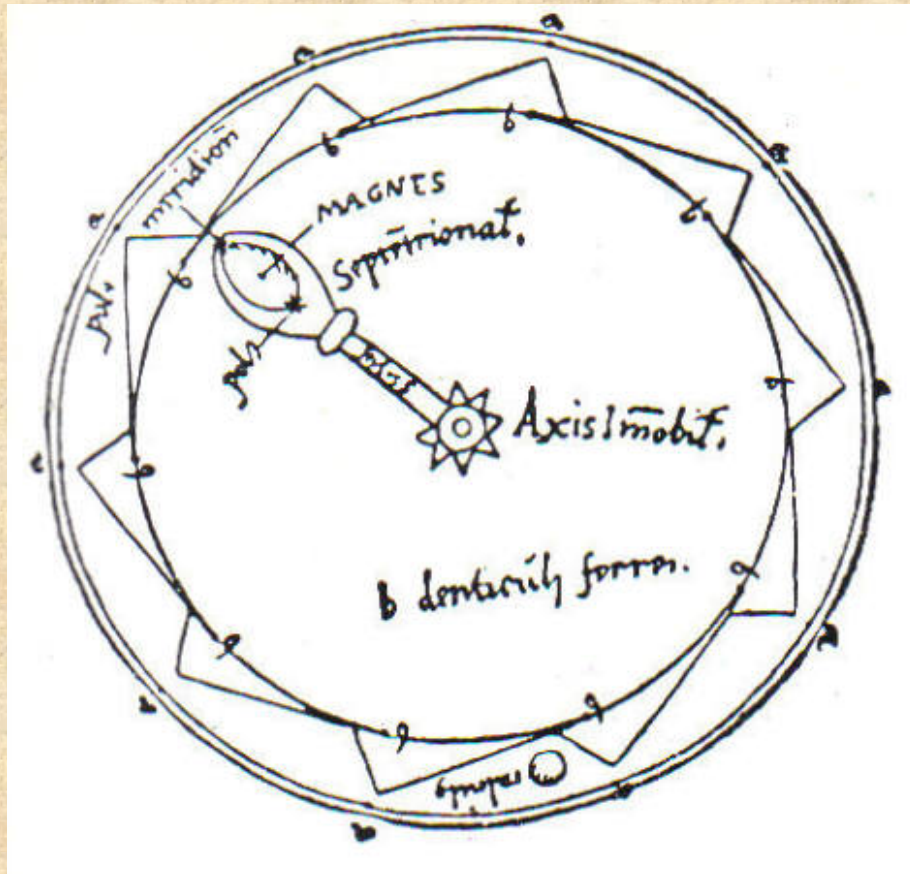
Lo scienziato francese Pierre de Maricourt (mago ed alchimista nato in Picardie, Francia settentrionale, ammirato da Ruggero Bacone e sceso in Italia con Carlo D'Angiò), più noto con la sua denominazione latina di Petrus Peregrinus (presumibilmente per essersi recato in pellegrinaggio a Roma), nel 1269 scrisse *Epistula ad Sygerum de Foucaucourt militem, de magnete*, un compendio di quello che allora si sapeva sul magnetismo in generale e sul magnetismo terrestre in particolare, che, nell'inevitabile forma manoscritta, ebbe subito larga diffusione tra gli scienziati (fu passato a stampa soltanto nel 1558). Nella sua opera viene descritta una bussola ad ago imperniato con le seguenti parole:

«In questo capitolo ti discoprirò la costruzione di una ruota che si muove costantemente in modo meraviglioso... Se vuoi costruire una simile ruota, prendi una coppa d'argento, come quella degli specchi concavi, che sia dotata nell'interno di incisioni e trafori, non solo per motivi di bellezza, ma anche allo scopo di diminuirne il peso; poiché quanto più essa è leggera, tanto più rapidamente può esser posta in movimento. Devi però ben badare che l'occhio dell'inesperto non si accorga di quanto in essa è abilmente predisposto.

All'interno della coppa devono essere fissate delle liste di ferro e dei denti di ugual peso, che siano posti in direzione obliqua sull'orlo della coppa, uno dopo l'altro, in modo che la loro distanza non sia maggiore dello spessore di un fagiuolo o di un pisello. La ruota stessa deve avere ugual peso in ogni sua parte.

Fissa il centro dell'asse, attorno al quale gira la ruota, in modo che esso resti immobile. Disponi sull'asse un'asta d'argento, alla cui estremità sia fissata, tra due capsule, una pietra magnetica, che deve essere stata preparata nel modo seguente. Quando essa sia stata arrotondata e si siano individuati i suoi poli, come è indicato prima, le si deve dar forma d'uovo. Mentre i poli vengono lasciati come sono, si limiti la parte compresa fra di essi, cosicché venga ridotta ed occupi meno posto. In tal modo essa non toccherà le pareti delle capsule, quando la ruota gira. Quando ciò sia fatto, fissa la pietra sull'asta metallica, così come si incastona una pietra preziosa. Si diriga il polo nord verso le liste e i denti della ruota, ma leggermente inclinato, in modo che la forza della pietra non agisca direttamente, ma sotto un certo angolo sui denti di ferro. A seguito di ciò un dente che si avvicini al polo nord e, in virtù del moto della ruota, lo superi, viene ad avvicinarsi al polo sud, dal quale esso è ora più respinto che non attratto, come manifestamente avviene secondo la legge che ho esposto nel precedente capitolo. Un tale dente viene quindi di continuo attratto e respinto. Al fine che più velocemente compia la ruota il suo lavoro, si ponga nella coppa un piccolo peso rotondo di bronzo o argento, di grandezza tale da poter essere

facilmente nascosto fra ogni coppia di denti. Quando ora la ruota sale, il piccolo peso cade dalla parte opposta. Poi che però il moto della ruota è sempre di salita per l'una delle due parti, parimenti incessante è il cadere del piccolo peso fra due denti qualsiasi, poiché esso tende per il suo peso al centro della terra. Con ciò esso appoggia il moto dei denti ed impedisce che questi si fermino quando vengono a cadere esattamente davanti alla pietra magnetica. Fa' di larghezza opportuna lo spazio fra i denti, così che il piccolo peso resti nascosto durante la caduta, come è illustrato dal disegno.

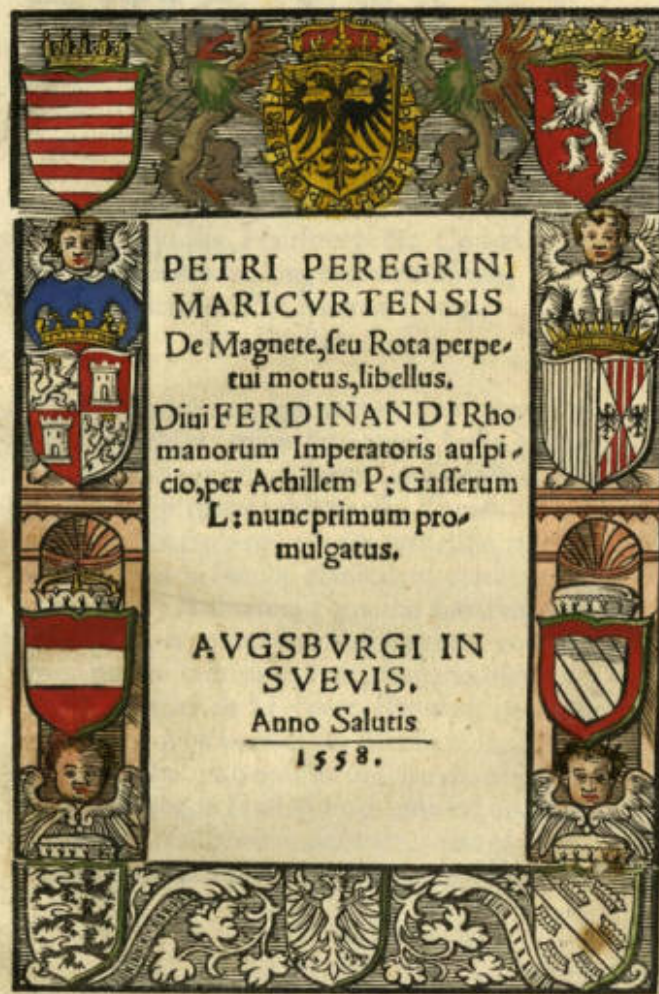


Il moto perpetuo magnetico di Pierre de Maricourt

Addio ! Terminato nel campo dell'assedio di Lucera⁽⁶⁾ l'8 agosto anno Domini 1269».

pietro da maricourt

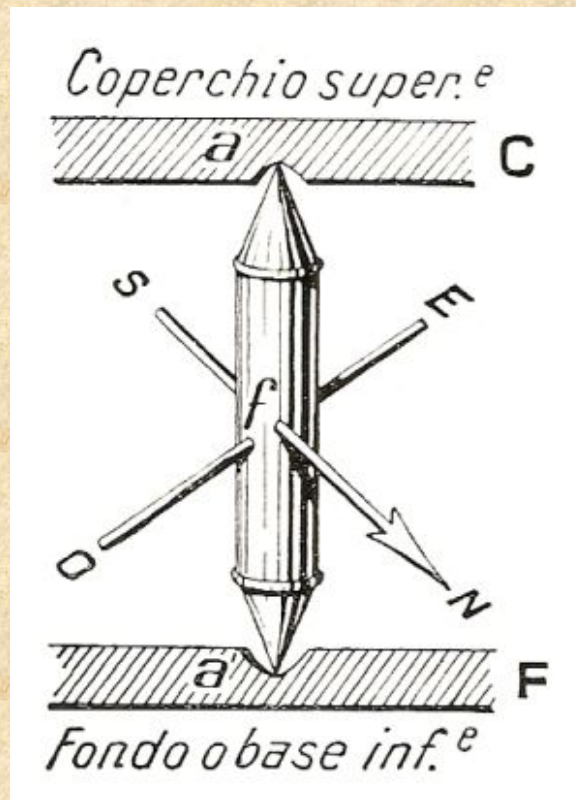
Ma Pierre de Maricourt, le cui opere sono andate quasi completamente perdute, fece anche importanti studi sul magnetismo: le attrazioni e repulsioni tra poli magnetici lavorando anche con magneti sferici, il magnetismo indotto mantenendo un magnete naturale vicino ad un pezzo di ferro, la riproduzione dei magneti allo spezzarli successivamente (se si dispone di una barra magnetica e la si spezza, i due pezzi diventano due magneti indipendenti; continuando a spezzare i magneti si ottengono sempre dei magneti "autonomi", fatto che mostra che i due poli magnetici risultano inseparabili), come realizzare un buon magnete.



Frontespizio del *De Magnete* di Pierre de Maricourt, passato a stampa

Una importante scoperta di Pierre de Maricourt è la seguente. Si lavori un pezzo di magnetite (il minerale di ferro che ha le proprietà magnetiche naturali) in modo da dargli la forma di un globo. Si disponga poi un ago magnetico su questo globo e si marchi con una linea la sua posizione. Si prosegua sistemando l'ago in posizioni diverse sull'intero globo. Si scopre che le linee segnate sulla magnetite sono dei cerchi che circondano il minerale allo stesso modo dei meridiani sul globo terrestre, cerchi che hanno due punti da parti opposte in cui tutti i cerchi si incontrano allo stesso modo che i punti di incontro dei meridiani sulla Terra indicano il polo Nord ed il Polo Sud della Terra medesima. Colpito da tale analogia, Pierre de Maricourt propose di chiamare i due punti sulla magnetite, individuati come riassunto, *poli* del magnete. Tali poli godevano di particolari proprietà poiché l'interazione di due magneti dipende solo dalla posizione dei rispettivi poli come se in essi risiedesse l'intera potenza dei magneti. La scoperta dei poli è alla base degli sviluppi successivi di diverse teorie: essi per moltissimi anni hanno giocato un grande ruolo nella filosofia della natura.

A Pierre de Maricourt è dovuta anche la descrizione di una diversa sospensione dell'ago magnetico nella bussola, così come mostrato in figura:



Cilindretto mobile della bussola con ago magnetico (SN) imperniato e con una barretta d'argento (OE) facente da contrappeso.

Occorre comunque osservare che questa è un'epoca in cui trionfa l'alchimia e la magia in genere e, quasi sempre, a questi fenomeni non compresi si assegnavano valenze metafisiche. E Ruggero Bacone, nel suo *Opus Tertium* dice di Pierre de Maricourt: *Ha sempre preso nota dei rimedi, delle predizioni e degli incantamenti usati dalle vecchie, dalle streghe, dai maghi, e degli artifizi e degli inganni delle fattucchiere, in modo che nulla possa sfuggirgli di ciò che merita investigazione e, nello stesso tempo, possa anche scoprire le falsità dei ciarlatani.* E così, se da un lato l' *"Epistula ... de magnete"* di Pierre de Maricourt costituisce una rispettabile anticipazione nella sistematizzazione scientifica dei fenomeni magnetici, dall'altro corre parallela la tradizione diciamo così "affettiva" del magnetismo. Lo scrittore della Spagna araba, Abu Muhammad Ali Ibn Hasam (994-1064), nel suo *"Collare della colomba"* aveva utilizzato i fenomeni magnetici come paragone simbolico dell'attrazione di un essere umano verso il suo simile. Per non dire della calamita come vero e proprio elemento alchemico che trova una sorta di identità nella pietra filosofale e, forse non solo in senso traslato, nell'alchimista e nel corpo. Sulla natura del magnetismo si esercitarono in molti. Nicola da Cusa traeva da questa sorprendente azione a distanza conclusioni teologiche e mistiche. Marsilio Ficino tornava agli antichi greci, trovando nel magnete la presenza di un'anima. Fracastoro parlava di una simpatia tra affini. Cardano, poiché *la calamita si nutre di ferro*, addirittura vedeva nel magnetismo l'apparizione di vita nell'inerte regno minerale. Occultisti come Agrippa vedevano nel magnetismo la manifestazione di potenze misteriose, spirituali, occulte appunto. Di particolare interesse per gli occultisti risulta poi l'estrapolazione che fa del magnetismo il *"Magnes sive de magnetica arte"* di Athanasius Kircher del 1641 che ripropone il magnetismo come forza universale che regola ogni rapporto tra esseri viventi. Egli dava ai suoi pazienti della *'polvere di calamita'* o *ferro magnetizzato* proprio per ottenere, con l'evacuazione, *l'estrazione della malattia* dal corpo malato (*lo spirito Alkahest*). Queste cose Kircher le aveva apprese dal suo maestro Paracelso che, per parte sua, sosteneva:

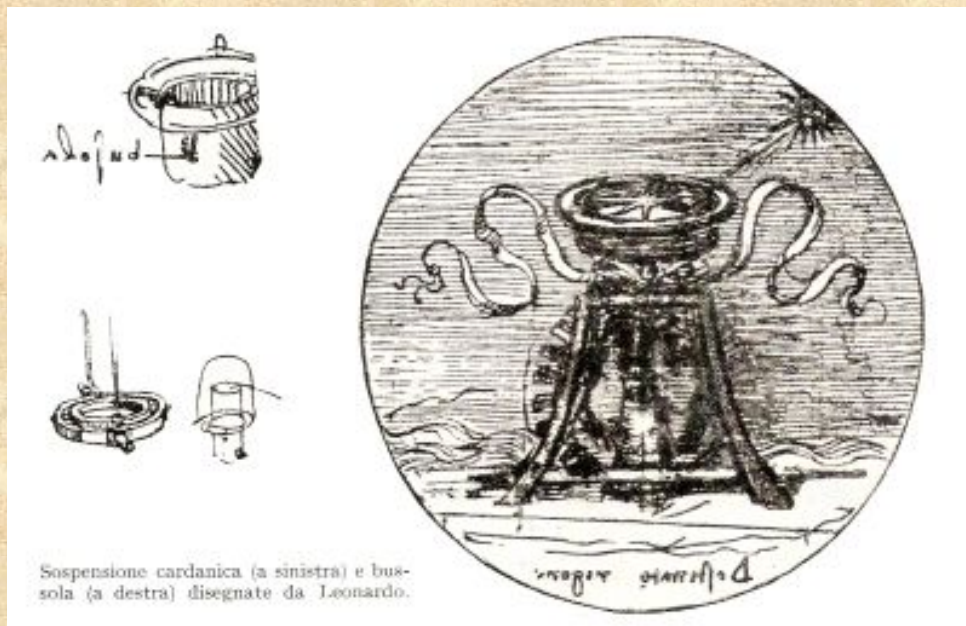
La calamita attira il ferro ma anche tutti gli elementi marziali del corpo, fra i quali vanno annoverati i flussi delle donne, qualunque essi siano. Ha anche un potere su tutte le malattie che si propagano a partire da un centro senza cessare di commuoverlo e l'applicazione su questo centro può ricondurvi la malattia,

circoscriverla e fermarla. La regola d'oro della medicina consiste infatti nell'arrestare il male, circoscriverlo e farlo sparire [...] La tendenza all'estensione della malattia è tipica, in astrologia, dell'influenza di Marte, indicata anche dal suo geroglifico. La calamita è dunque favorevole in tutte le infiammazioni, le ulcere, le malattie intestinali, dell'utero, tanto nelle affezioni esterne che in quelle interne.

Ma ritornando a noi, risalgono al XIII secolo le prime teorie sul funzionamento della bussola. Una delle più diffuse partiva dalla constatazione sperimentale che un ago magnetico deviava verso una vicina massa ferrosa e giungeva a spiegare il funzionamento della bussola come dovuto alla presenza di grandi masse di rocce ferrose (si parlava di «montagne di ferro») nella zona del polo nord geografico: una supposizione che ben s'accordava con la nota esistenza di ricche miniere di ferro nella penisola scandinava, all'estremo nord dell'Europa. Fu Ruggero Bacone che confutò una parte di tale teoria: dall'osservazione che l'ago magnetico punta a Nord ma anche verso il basso, la supposta grande massa ferrosa che «attirava» l'ago si sarebbe trovata in una imprecisabile regione delle profondità terrestri, sia pure verso il nord, e non in montagne scandinave. Ma vi erano altre teorie che volevano l'intera Terra come se fosse, essa stessa, un gigantesco magnete. Non mi occuperò della cosa, osservando solo che la circostanza di una Terra "magnetica" fu falsificata da Pierre Curie che mostrò che tutti i magneti perdono le loro proprietà magnetiche al di sopra di una temperatura di circa 760 °C (temperatura di Curie) che è abbondantemente superata immediatamente sotto la crosta terrestre.⁽⁷⁾

A segnare le tappe fondamentali dei perfezionamenti della bussola vi fu la sostituzione dell'ago galleggiante con l'ago poggiante e girevole su di un perno, il tutto rinchiuso nella cassetta di legno nell'interno della quale veniva disegnata la rosa dei venti; l'unione dell'ago alla rosa graduata, disegnata su una piccola e leggera superficie piana, faceva orientare la rosa, il cui diametro Nord-Sud coincideva con l'asse dell'ago. Altro perfezionamento successivo, risalente al XVI secolo, fu la sospensione cardanica, così chiamata perché ideata dal matematico Girolamo Cardano e applicata, sembra dal cremonese Jannello Torrioni che l'introdusse sulle navi di Carlo V. E tali perfezionamenti, con l'eccezione della sospensione cardanica, sarebbero avvenuti nei secoli XIII e XIV nelle repubbliche marinare italiane: Amalfi, Pisa, Genova, Venezia. Della diffusione della bussola nel Mediterraneo ad opera delle repubbliche marinare è forse testimonianza il fatto che la parola italiana *calamita* (che potrebbe derivare da *calamus* che vuol dire freccia) diventa d'uso in tutti i Paesi che si affacciavano sul Mediterraneo, compresi i popoli slavi.

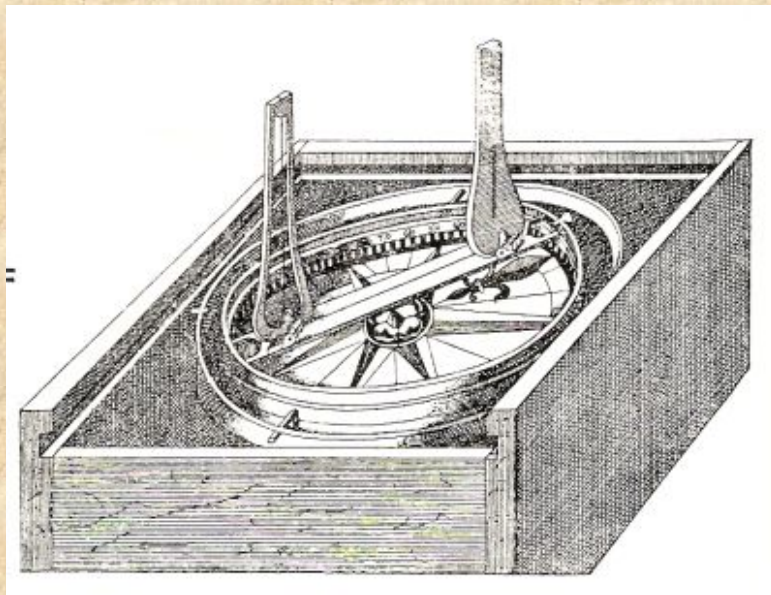
La sospensione cardanica serve a mantenere costantemente in piano una bussola nel suo contenitore e ciò anche quando il piano su cui è poggiata oscilla anche in modo violento (è il caso di una nave in una tempesta). Tale sospensione era nota fin dal III secolo a.C. quando fu descritta da Filone di Bisanzio nel suo *Belopoiika*. Fu utilizzata successivamente per varie operazioni tra cui il puntamento delle catapulte. Anche Leonardo disegnò una bussola con sospensione cardanica. Fu ripresa intorno alla metà del Cinquecento non per fini tecnici ma



solo per evitare che, nei suoi spostamenti, Carlo V non subisse troppi scossoni sulla sua carrozza alla quale, appunto, fu applicata una sospensione cardanica. Cardano, nel 1550, nel suo *De subtilitate rerum* descrisse l'articolazione di tre cerchi concentrici connessi tra loro ed applicò tale sospensione alla bussola (dallo studio di tale articolazione è discesa l'invenzione del giunto cardanico, il dispositivo che consente di trasmettere un moto rotatorio da un asse ad un altro di diverso orientamento).

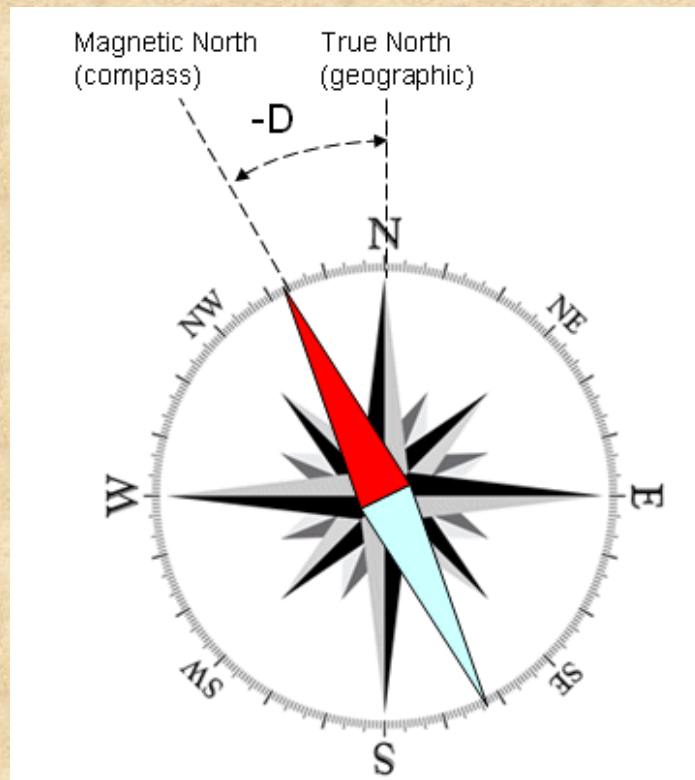


Una bussola a sospensione cardanica (circa 1570). Come in un giroscopio, gli anelli metallici che sostengono la bussola possono ruotare o oscillare a piacere, la bussola, che nella sua parte più bassa è zavorrata, resta immobile all'interno.

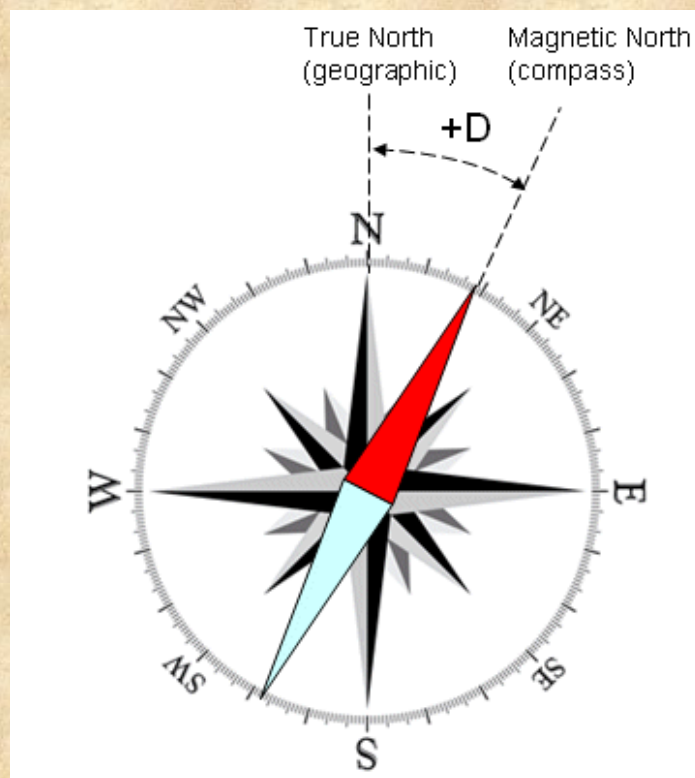


Altra bussola a sospensione cardanica e rosa dei venti mobile del XVII secolo. La tramontana è indicata con un giglio (simbolo araldico della Casa D'Angiò che dominarono il napoletano dal 1268 o evoluzione grafica della T, iniziale di Tramontana che per gli amalfitani indicava il Nord) probabilmente come omaggio ai meriti dei naviganti amalfitani.

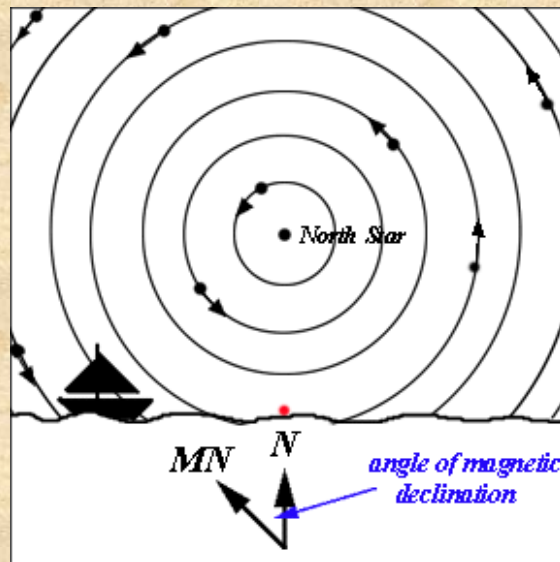
I perfezionamenti alla bussola si realizzarono in epoche che videro estendersi la navigazione su rotte non più bordegianti la costa. Quando si tratta di affrontare il mare aperto sapendo che la costa è da ogni parte lontana la strumentazione, e tra questa la bussola, diventa fondamentale. Per quanto si sa sembra sia stato Cristoforo Colombo il primo ad osservare la *declinazione magnetica* (angolo formato tra il nord geografico ed il nord magnetico) il 13 settembre del 1492 quando, trovandosi a 200 miglia marine dall'isola di Ferro, determinò in 5° e $30'$ verso occidente l'angolo che l'ago magnetico fa con il meridiano. Molto probabilmente, anche in precedenza, ci si era accorti del fenomeno a partire dai costruttori di meridiane solari i quali segnavano l'angolo formato tra la direzione dell'ago magnetico e l'ombra dello gnomone a mezzogiorno come risulta da alcuni esemplari conservati in musei tedeschi. E se conoscevano il fenomeno i fabbricanti di meridiane, a maggior ragione, si doveva conoscere in mare.



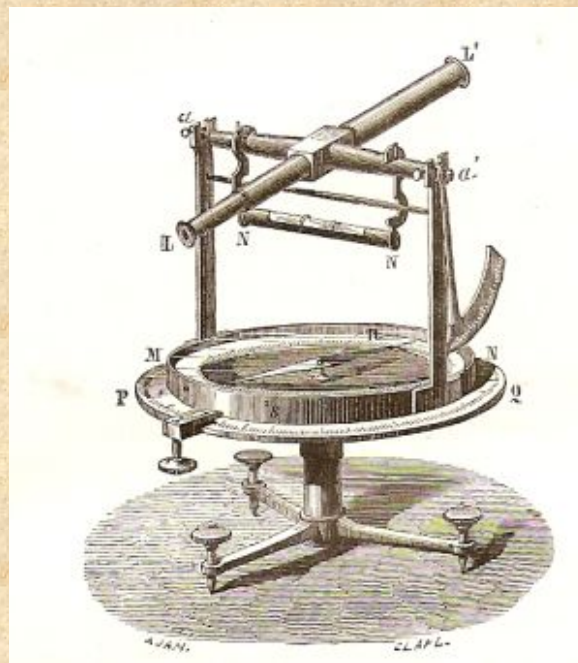
Declinazione magnetica negativa



Declinazione magnetica positiva



Il disegno mostra come nella pratica si determini la declinazione magnetica. Il nord geografico N è la retta che unisce l'osservatore ad una stella che determina il nord mentre la direzione dell'ago della bussola determina il nord magnetico MN.



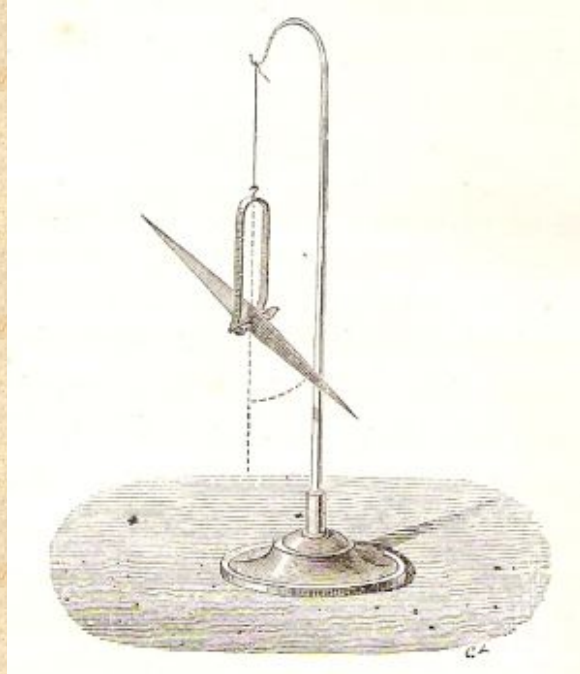
Una bussola per misurare la declinazione magnetica (il piccolo telescopio serve per puntare una stella che indica il nord ed è possibile fissare tale posizione facendo ruotare la bussola sulla superficie su cui poggia. La posizione dell'ago della bussola rispetto a quella segnata precedentemente fornisce l'angolo di declinazione).

Dopo Colombo troviamo che nel *De re metallica* (1556) di Giorgio Agricola, dove la bussola veniva indicata come strumento per orientarsi nelle gallerie delle miniere, vi sono indicazioni di angoli tra ago magnetico e meridiano per vari luoghi (Norimberga, Roma, Parigi, Londra ed ancora Parigi in epoca successiva con un valore differente che avrebbe potuto far ricavare la variazione della declinazione con il tempo. La cosa fu invece messa in chiara evidenza da Gunter nel 1622 e da Gellibrand nel 1634 con misure fatte a Londra).

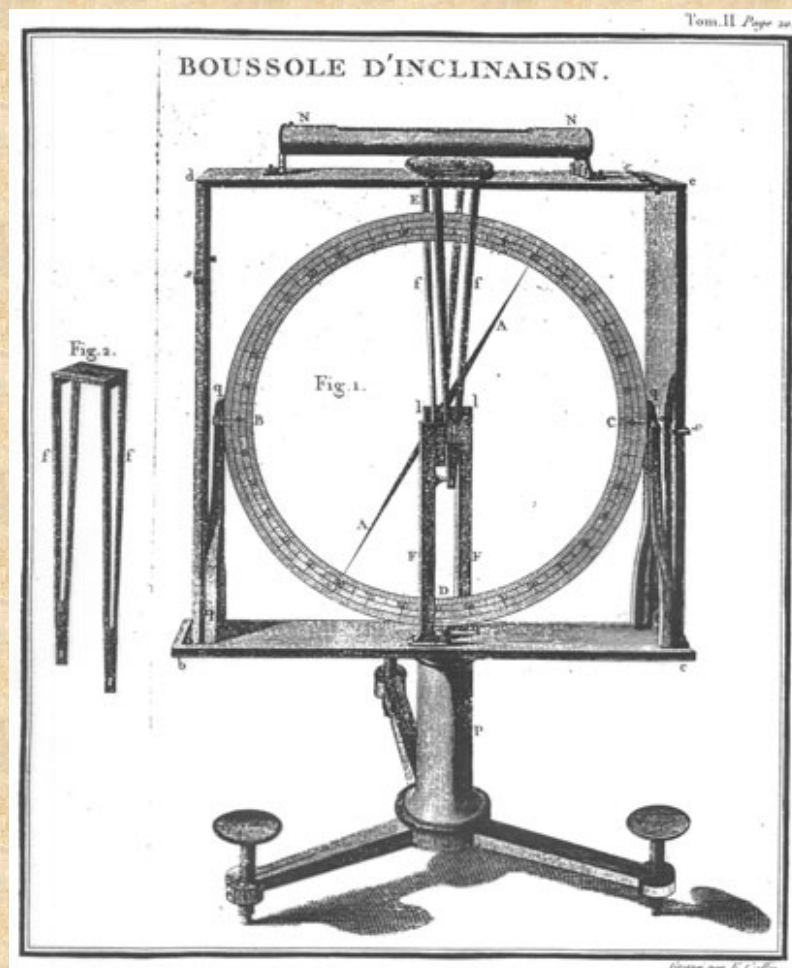
Fu invece Hartmann nel 1544 a rendersi conto che l'ago magnetico puntava verso la Terra e che quindi la forza magnetica della Terra non agiva in orizzontale, scoprendo l'*inclinazione magnetica*. Successivamente, nel 1576, fu Ros Normand che realizzò la bussola d'inclinazione

nella quale l'ago, imperniato in un asse orizzontale passante per il suo baricentro, era libero di ruotare su un piano verticale.

Le osservazioni erano empiriche e nessuna spiegazione era data né per la declinazione, né per l'inclinazione. Colombo, Paracelso e Cardano attribuivano la declinazione ad un qualche centro d'attrazione posto nel cielo mentre Fracastoro a grandi masse di ferro sotterranee nelle zone nordiche. Fu Gilbert, che studieremo più avanti, che da alcune osservazioni dedusse che la Terra, nel suo insieme, doveva essere un magnete.



Una bussola elementare per misurare l'inclinazione magnetica.



IL PRIMO TRATTATO ITALIANO DI MAGNETISMO

Durante il periodo rinascimentale, la magia la faceva da padrona, ed un praticante ed appassionato di ogni fenomeno arcano era il napoletano Giovan Battista Della Porta. Il magnetismo si prestava in modo eccellente ad interpretazioni magiche. E Della Porta andò proprio sulla strada dell'immaginazione, della fantasia, della demonologia, della chiromanzia, dell'astrologia, della magia per discutere di quei fatti straordinari. Al di là dei singoli temi di cui si è detto, è importante ricordare che nelle sue opere Della Porta esalta la magia naturale, considerandola una scienza suprema, il complemento e la parte pratica della filosofia della natura. Il suo compito consiste infatti nel far conoscere le forze occulte del mondo naturale, e nell'insegnare, per mezzo della loro applicazione, a compiere quelle opere che i profani ritengono prodigiose, ma che invece sono soltanto il mezzo attraverso cui l'uomo aiuta il compimento dei processi della natura. Secondo Della Porta, non bisogna confondere la magia naturale con quella "diabolica", basata su incantesimi ed evocatrice di fantasmi e demoni. Per ciò che ci interessa egli scrisse un libro (al quale collaborò Paolo Sarpi) in quattro tomi e venti libri, *Magia naturalis sive de miraculis rerum naturalium* (scritta in prima versione di 4 libri nel 1558 e pubblicata completa in tutti i suoi 20 libri nel 1584). Il settimo libro di quest'opera è il primo trattato italiano di *magnetismo* o *scienza magnetica*, che è una mera compilazione di fatti noti con delle integrazioni originali e d'interesse. Tra di esse va ricordata la descrizione che Della Porta diede delle "barbe" che la limatura di ferro costruisce sui poli dei magneti e dei primi spettri magnetici che si originano quando si dispone della limatura di ferro su di un foglio di carta disposto immediatamente al di sopra di un magnete. Di interesse è anche la scoperta della smagnetizzazione che una lastra di ferro subisce se scaldata (la cosa fu studiata e compresa da Pierre Curie sul finire dell'Ottocento, come ho già accennato) e quella di una lastra di ferro che agisce come uno schermo magnetico.

Uno storico del passato, Baldassarre Boncompagni, nel suo [*Intorno ad alcuni avanzamenti della fisica in Italia nei secoli XVI e XVII*](#) del 1846, così descrive quanto trovato da Della Porta sui fenomeni magnetici:

[...] §22. È ben noto che il ferro esposto per lungo tempo all'aria acquista proprietà magnetiche. La prima osservazione di questo fenomeno fu fatta nel secolo XVI in Italia: ed ecco in qual modo. Sul campanile della chiesa di s. Agostino in Rimini era una grossa verga di ferro che sosteneva un ornamento di mattoni fatto a modo di ghianda. Per un vento violentissimo piegossi questo ferro, e rimase così piegato per dieci anni: dopo i quali i religiosi, che avevan cura della chiesa, vollero togliere quell'ornamento e diedero il ferro ad un fabbro, ecciocchè lo raddrizzasse. Avendolo allora veduto un certo chirurgo, che aveva nome Giulio Cesare Moderato, questi il sottopose all'esperienza, e trovò che come una vera calamita aveva facoltà d'attrarre il ferro che gli si presentava^[1].

§23. Una calamita, scaldata fino al rosso bianco, perde le proprietà magnetiche e diviene un corpo inerte, privo di forza attrattiva e di forza direttrice. Un tal fatto notato, come avverte il sig. Pouillet^[2], dall'illustre fisico inglese Guglielmo Gilberto fu prima di lui osservato dal Porta. Perocchè questi scrisse di aver veduto, non senza gran meraviglia, una calamita sepolta sotto accesi carboni perdere la facoltà attrattiva

[3]. Avvertì inoltre che anche il ferro calamitato per l'azione del fuoco perde il suo vigore^[4]. Veramente il Porta mostrò di credere che una calamita, dopo aver perduto pel riscaldamento la virtù magnetica, più non possa riacquistarla; dicendo che il fuoco la rende un cadavere, a cui più non vien fatto di render la vita^[5]. Questa opinione è erronea, come fu avvertito dal Colangelo^[6]. Puossi per altro in iscusa del Porta osservare, che sebbene l'azione del fuoco non distrugga totalmente la forza magnetica, tuttavia notabilmente l'indebolisce; talchè le lame stesse d'acciaio, le quali sono molto atte a conservare il magnetismo, se dopo essere state calamitate subiscono un forte riscaldamento, più non riacquistano l'antico vigore.

§24. Generalmente parlando la forza d'una calamita è proporzionata alla sua grossezza, ed una calamita di maggior mole è sempre più vigorosa d'un'altra più piccola, quando non differiscono in alcun'altra qualità^[7]. Il Porta mostrò di ben conoscere tal verità in quel capitolo, nel quale toglie a dimostrare che quanto più grossa è la calamita, tanto maggiore è la sua forza. Avverte per altro, verificarsi solamente in una medesima specie di calamite, che le più grosse abbian maggior vigore. Narra d'aver veduto in Roma una calamita del peso d'un'oncia trarre a se due once di ferro e ritenerle con gran tenacità. All'incontro altre calamite vedute dal Porta, del peso di quaranta libbre, valevano appena a muovere un'oncia di ferro^[8].

Altri notabili fatti relativi alle attrazioni magnetiche furono ben conosciuti e descritti dal Porta. Egli insegnò che se varie calamite s'avvicinano l'una all'altra pei poli di nome contrario, rimarranno l'una all'altra aderenti in lunga catena, la quale si potrà veder pendente ritenuta da forza invisibile se per una delle estremità si appiccichi al solaio della camera^[9]. Avvertì inoltre, esser qualunque calamita molto più efficace in attrarre che in respingere. Di che avverte potersi fare esperienza sospendendo le calamite a fili ovvero in navicelle, e notando la prontezza con cui s'attraggono e la lentezza con cui si respingono^[10].

§25. Sembra esser giunto il Porta colle sue sperienze a formarsi una giusta idea del modo con cui i poli d'una calamita esercitano le attrazioni e ripulsioni; avendo conosciuto che questi punti diffondono attorno a se, come in una sfera, e quasi da centro a circonferenza, la forza loro attrattiva. «Siccome il lume, dic'egli, partendosi da una candela si sparge per ogni parte ed illumina tutta una camera, e quanto più dalla candela s'allontana tanto più debolmente risplende, sì che ad una certa distanza al tutto disperdesi, quanto poi è ad essa più vicino tanto più vivamente riluce; così la forza magnetica emana dal polo, più fortemente attrae a piccola distanza, e tanto più debolmente quanto maggiore è tal distanza, sì che quando molto si dilunga svanisce e divien nulla»^[11]. Questa similitudine della luce mi sembra molto acconcia a dimostrare ciò che l'autore si propone, vale a dire il modo con cui la forza magnetica da' poli di una calamita si diffonde all'intorno. Inoltre quanto egli insegna nel citato luogo è ben conforme alle dottrine de' fisici dei nostri giorni, le quali mostrano che la forza magnetica al limite della sfera d'azione agisce in modo quasi insensibile, cresce a misura che il corpo attirato s'avvicina alla calamita, e nel punto di contatto è massimo.

§26. Il Porta insegnò, che niun corpo, dal ferro in fuori, può esser d'ostacolo alle attrazioni e ripulsioni scambievoli di due calamite^[12]. Una curiosa esperienza, che ciò chiaramente dimostra, fu da lui indicata, scrivendo che se sopra una tavola di legno o di pietra o di metallo si sospenda una calamita, essa muovesi quando sotto la tavola si muova un'altra calamita, e si ferma quando più non muovasi l'altra sotto la tavola. Avvertì inoltre che se la tavola sia di ferro o di calamita, questo meraviglioso

effetto più non si vede^[13]. Conobbe poi che, come la calamita, così anche il ferro calamitato non può esser impedito nell'esercizio della sua virtù attrattiva dall'interpolazione di verun corpo. Il che anche dimostrò con una esperienza, notando che se sopra una tavola di legno, di pietra o di metallo, diverso dal ferro, si ponga un ago da bussola, agitando sotto la tavola una calamita l'ago si muove come se nulla tra esso e la calamita fosse frapposto^[14].

§27. Diligentissime indagini furon fatte dagli accademici del Cimento per conoscere se dal ferro o dall'acciaio in fuori alcun corpo solido o fluido vi sia, il quale posto tra il ferro e la calamita alteri o impedisca la virtù sua. A tal oggetto essi adattarono a giusta distanza sopra una piccola cassa di legno un globo di calamita e un ago calamitato posto in una bussola; e dopo aver notato la deviazione che l'ago soffriva per l'azione del globo, posero tra l'ago e il globo successivamente vasi di vetro con argento vivo, vasi di legno pieni di arena e di limatura di vari metalli, parallelepipedi fatti dei metalli stessi o di diverse pietre e marmi, e videro che per siffatte interposizioni la deviazione dell'ago non variava per nulla. Poscia riempiendo d'acquarzene que' vasi, e dando fuoco a questo liquido, sempre nell'ago osservarono la medesima deviazione. Di che a buon diritto dedussero, che mè anche a traverso la fiamma la virtù magnetica è impedita o alterata. Per altra sperienza conobbero, che la forza della calamita passando per diversi fluidi non varia, ma solamente attrae da diverse distanze; avendo essi notato che un ago di ferro in liquidi di minor gravità specifica più da lontano veniva attratto dalla calamita, ed a minor distanza ne' liquidi di gravità specifica maggiore^[15].

§28. Per valutare l'intensità della forza magnetica il Porta indica un metodo ben meritevole di essere qui ricordato, insegnando che ad uno de' bracci d'una bilancia si sospenda la calamita, di cui si vuol conoscere la forza; poscia le si presenti un ferro per modo, che da essa venga attratto, e fortemente ritenuto; e quindi nel piatto attaccato all'altro braccio della bilancia si versi arena finchè la calamita non lasci il ferro, e dal peso dell'arena versata si valuti la forza attrattiva della calamita^[16]. L'illustre fisico inglese Gilberto lodò un tal esperimento, avvertendo per altro ch'esso era già stato indicato dal cardinal de Cusa nella sua statica, e che da lui il Porta l'aveva imparato^[17].

§29. I moderni fisici sanno, che la calamita agisce più fortemente sul ferro che sopra un'altra calamita, lo attrae con maggior forza (a circostanze eguali), e lo ritiene con maggior efficacia^[18]. Il sagacissimo Porta mostrò di ben conoscere tali fatti, affermando che la calamita ha più vivo amore pel ferro che per un'altra calamita: *Nec dissimulandus est*, così egli scrive, *maximus ferri et magnetis mutuus amor: efficacior longeque validior, quam magnetis cum magnete*. Poscia si fa a descrivere alcune sperienze, colle quali si può facilmente verificare quest'importante proposizione^[19].

§30. Un pezzo di ferro posto a qualche distanza da una calamita manifesta proprietà magnetiche, le quali poi perde quando s'allontani la calamita che le ha fatte nascere. Questo fenomeno, notabilissimo per l'analogia ch'esso presenta collo sviluppo dell'elettricità in conduttori isolati sottoposti all'influenza di corpi elettrizzati^[20], fu anche dal Porta notato scrivendo: *Nec solum adhaesu magnes ferro suam virtutem diffundit, sed, quod mirum est, intra suae virtutis radios sola praesentia virtutem ferro conciliat, aliud ferrum attrahendi*^[21]. In prova di ciò avverte, che se ad una calamita si avvicini un pezzo di ferro in modo ch'esso si trovi nella sfera d'azione della calamita stessa, e poscia a questo pezzo se ne avvicini un secondo, esso verrà dal primo immediatamente preso, e così anche un terzo dal secondo. Mostra poi che per tal modo una catena di aghi o d'anelli si può formare lungi dalla calamita;

aggiungendo che se la calamita s'allontani, cadrà prima l'ultimo anello, poco stante il penultimo, finchè tutti cadranno.

§31. Il Fracastoro scrisse che nel nostro emisfero, dalle isole Fortunate a Catigara, l'ago magnetico declina a destra di circa nove gradi; e nell'altro emisfero, o tra le isole Fortunate, declina a sinistra ora più ed ora meno. Narra inoltre che coloro, i quali navigano verso il nuovo mondo, quando sono giunti al meridiano che passa per le isole Azore, osservano che la declinazione ivi cambia improvvisamente, volgendosi l'ago dalla destra alla sinistra del polo^[22]. Tali cose che il Fracastoro, morto nel 1553, scriveva in età avanzata^[23] posson farci conoscere quali notizie in Italia s'avessero in quel tempo intorno alle declinazioni dell'ago magnetico nell'Oceano. Qui per altro è da ricordare, che Cristoforo Colombo il dì 13 di settembre 1492 (epoca memorabile, al dire di un dotto ed eloquente scrittore tedesco, ne' fasti dell'astronomia nautica) sotto il parallelo delle isole Canarie vide improvvisamente declinare ad occidente gli aghi magnetici, ne' quali fino a quel momento egli aveva osservato declinazione orientale^[24]. Quanto intrepido navigatore, altrettanto diligente osservatore della natura, il Colombo ne' suoi tre viaggi in America notò più volte la declinazione magnetica e con somma sagacità ne ricercò i cambiamenti^[25]. Quindi i fatti, de' quali parla il Fracastoro nel citato luogo, erano già stati osservati molto tempo prima dall'illustre genovese che di un nuovo mondo fè dono all'Europa.

§32. È poi da notare che il Porta nel 1589 parla della variazione della declinazione, come di cosa ben nota in Italia nel suo secolo. « *Animadversum iam diu a nostris est, (così egli scrive) ferream cuspidem magneti adfrictam non semper super meridianam lineam conquiescere, sed orientem versus novem gradibus ab ea linea declinare, nec ubique locorum eundem situm servare, sed variis diversisque in locis varias ostendere declinationes* »^[26]. Secondo uno scrittore francese del secolo decimosesto (il P. Fournier gesuita, a cui nè pure il nome del Porta era ben noto), questi nel capo 37 del libro settimo della *Magia naturale* asserì di non conoscer declinazione maggiore di nove gradi^[27]. Se non che quest'asserzione, per la quale quello scrittore si fa lecito di censurare e di deridere con amaro sarcasmo il nostro Porta, non si trova nel capitolo da lui citato, nè in alcun altro luogo della *Magia naturale*. Quindi le critiche del Fournier sono vanissime e al tutto prive di fondamento.[...]

NOTE

1. ↑ Lettera dell'eccellentissimo Cavallara all'eccellentissimo signor Girolamo Conforto. Mantova MDLXXVI.
2. ↑ Elements de physique et de meteor. T. I, p. 483.
3. ↑ Mag. nat. lib. VII, c. II.
4. ↑ Mag. nat. lib. VII, c. LII.
5. ↑ Mag. nat. lib. VII, c. L.
6. ↑ Racconto storico della vita di Giovanni Battista della Porta filosofo napoletano, *parag.* 25.
7. ↑ Encyclop. method. dict. de phys. T. I, pag. 60.
8. ↑ Mag. nat. lib. VII, c. X.
9. ↑ Mag. nat. lib. VII, c. XI.
10. ↑ Mag. nat. lib. VII, c. XIII.
11. ↑ Mag. nat. lib. VII, c. XV.
12. ↑ Mag. nat. lib. VII, c. XVI.
13. ↑ Mag. nat. I. c.
14. ↑ Mag. nat. lib. VII, cap. XXXVIII.
15. ↑ Saggi di naturali esperienze fatte nell'accademia del Cimento. Seconda esperienza sulla calamita.
16. ↑ Mag. nat. lib. VII, c. XIX.
17. ↑ De magnete magneticisque corporibus lib. II, cap. XXXVI.
18. ↑ Encycl. math. dict. de phys. tom. I, pag. 61.

19. ↑ [Mag. nat. lib. VII, c. XXI.](#)
20. ↑ [Lamé, Cours de physique tom. III, p. 134. Paris 1840.](#)
21. ↑ [Mag. nat. lib. VII, c. XXVI.](#)
22. ↑ [De sympathia et antipathia cap. 7.](#)
23. ↑ [Scripsit graviori aetate ac plane senex de sympathia et antipathia. \(Vita Hieronymi Fracastorii premessa all'edizione delle sue opere fatta in Venezia nel 1535.\)](#)
24. ↑ [Humboldt, Examen critique de l'histoire de la geographie du nouveau continent. Paris 1836-39. T. III. p. 30.](#)
25. ↑ [Humboldt, Examen critique, tom. III, pag. 43, 59.](#)
26. ↑ [Mag. nat. lib. VII, c. XXXVIII.](#)
27. ↑ [La 7 erreur est de Jean Baptiste apporta qui tesmoigne au livre 7 de la magie naturelle chap. 37 n'avoir connu de declinaison plus grande que de 9 degrez. S'il s'est persuadé qu'il n'y en avoit point de plus grande, il s'est trompé. S'il veut dire qu'il n'en avoit point experimenté de plus grande, je n'ay rien a dire sinon qu'il n'avoit pas le pied marin, laissons le là. \(Fournier, Hydrographie contenant la theorie et la pratique de toutes les parties de la navigation lib. XI, chap. XI. A Paris MDCXLIII.\)](#)

Occorre comunque dire che Della Porta aveva ricavato gran parte della sua *Magia Naturalis*, nei capitoli che si occupavano di magnetismo, dall'opera *Due trattati sopra la natura, e le qualità della calamita* (circa 1580) del gesuita Leonardo Garzoni (1543-1592), opera mai pubblicata ma che girava in forma manoscritta. Ciò indica il grande interesse che avevano acquisito i fenomeni magnetici. Da lì a poco, altre opere importanti furono pubblicate sull'argomento: nel 1629 la *Philosophia Magnetica in qua magnetis natura penitus explicatur* (risistemazione del lavoro di Garzoni in cui si denunciò il plagio di Della Porta) di Niccolò Cabeo e circa intorno al 1630 la *Philosophia magnetica per principia propria proposita et ad prima in suo genere promota* di Niccolò Zucchi (nella quale ancora si denuncia il plagio di Della Porta). Anche Gilbert che tratterò tra poco, fu a conoscenza ed utilizzò il lavoro di Garzoni.

Il primo trattato di Garzoni⁽⁸⁾ contiene 17 capitoli che trattano di magnetismo. Il secondo trattato è una raccolta di esperienze che si concludono con 90 conclusioni o dubbi e 39 corollari. Si può quindi apprezzare un fatto estremamente importante: per la prima volta siamo di fronte ad uno studio moderno del magnetismo che fa ampio uso del metodo sperimentale.

Nel primo trattato vengono indagati i moti magnetici: il moto di rotazione per mezzo del quale una calamita si volge ai Poli (capp. 3-8) e il moto di rotazione e traslazione per mezzo del quale essa interagisce con una seconda calamita, o con il ferro (capp. 13-17). Avendo stabilito che questi sono moti naturali, finalizzati al ben situarsi della pietra, l'autore riconduce lo studio dei moti allo studio del motore interno, o forma della calamita, da cui essi provengono, e dello strumento, denominato *qualità delle due facce*, di cui la forma si serve per porli in atto (capp. 9-12). Secondo la teoria di Garzoni la *qualità delle due facce*, propria della calamita, può essere acquisita dal ferro per mezzo di una qualità simile, o *qualità di una faccia*. Una volta magnetizzato, il ferro si comporta come una calamita. L'aspetto più interessante della trattazione teorica sta nella descrizione di come la qualità magnetica, o polarizzazione, muova la calamita e di come alteri lo spazio ed i corpi ad essa circostanti, nei quali si diffonde virtualmente lungo precise linee di diffusione, che Garzoni arriva a determinare per via sperimentale. In tale contesto viene discussa la differente reazione dei corpi non magnetici e del ferro posti nella sfera di diffusione della qualità virtuale. Notevoli sono anche la spiegazione della doppia natura della qualità magnetica e la proposta di soluzione del problema della collocazione dei Poli magnetici geografici.

Il secondo trattato si apre con un esperimento sull'allineamento della calamita ai Poli seguito da alcune osservazioni sull'interazione tra calamite e tra calamita e ferro. Una lunga serie di esperimenti è quindi dedicata alla trasmissione della qualità magnetica e alla disposizione della polarità dentro e fuori la pietra. I risultati sono ottenuti magnetizzando corpi di differenti forme e dimensioni, tra i quali la limatura di ferro. Gli esperimenti più interessanti riguardano la diffusione della qualità esterna, che l'autore indaga con l'ausilio di aghi magnetici posti nella sfera d'azione della calamita, in ogni punto della quale essi mostrano direzione e verso della qualità diffusa. La configurazione così ottenuta, e coincidente con quella teorizzata nel primo trattato, è

illustrata da interessanti disegni. Seguono esperimenti sul comportamento del ferro nel raggio d'azione di più calamite, sull'interazione tra ferri, magnetizzati e non, sulla magnetizzazione spontanea e sulla perdita di magnetizzazione.

Riguardo al citato Zucchi, anch'egli gesuita, vi sono delle osservazioni da fare. Egli pensò di utilizzare i fenomeni magnetici per screditare il sistema di Copernico. Egli riteneva che il globo terrestre avesse virtù magnetiche provenienti dal cielo poiché, fra le entità costituenti l'universo, il cielo, con i suoi poli che occupano una posizione costante rispetto alla Terra, è il primo propagatore di virtù magnetica e la Terra la riceve proprio dalla totalità dei cieli. Ma la Luna non ha corrispondenza magnetica con Sole, Terra o mare e quindi non vi è relazione magnetica tra Sole e pianeti che ci possa far capire se i pianeti ruotano intorno al Sole o piuttosto intorno alla Terra. Quindi, conclude Zucchi, è più logico supporre che sia centro del moto chi ha le virtù magnetiche dispensate dai cieli.

Per completezza occorre dire che, nell'opera di Della Porta dalla quale siamo partiti per discutere di Garzoni, l'ultimo capitolo della *Magia*, il 59°, è pieno delle maggiori sciocchezze tramandate nei secoli sui poteri magici della calamita.

In passato, sull'onda dell'Inquisizione che condannava ogni riferimento a forze misteriose e magiche di indole magnetica nella spiegazione delle leggi dell' universo, Cecco d'Ascoli, docente all'Università di Bologna, fu bruciato vivo, come eretico a Firenze il 16 Sett. del 1327, perché ricercava un determinismo della interpretazione degli eventi, facendo riferimento a forze invisibili di indole magnetica; egli ad esempio attribuì alla forza magnetica della Luna la oscillazione delle maree. Ma qui siamo ancora a livelli di possibili spiegazioni scientifiche.

Ma le vere e proprie sciocchezze si affermarono e proseguirono almeno fino al 1800, quando in pieno Romanticismo, con le forze vaganti dappertutto, non solo si postularono cure mediante l'elettricità che dà la vita (si ricordi Frankenstein) ma anche strani fenomeni di attrazione reciproca dovuti al magnetismo. Basti ricordare le varie opere di Franz Anton Mesmer (1734-1815), in cui si avanzò la teoria del magnetismo animale in sintonia con l'elettricità galvanica. Egli, dopo aver elaborato la teoria dell'influsso sulla salute umana dell'attrazione solare e planetaria, dapprima tentò la cura degli infermi mediante la sistemazione in alcune parti del loro corpo di magnetite, quindi pensò che dallo stesso organismo umano emanano flussi magnetici in grado di influenzare il prossimo. Fondò quindi quello che ancora oggi è noto come mesmerismo: un sottile fluido fisico, chiamato *magnetismo animale*, riempie l'universo e forma un mezzo di connessione tra l'uomo, la terra e i corpi celesti e tra uomo e uomo; la malattia ha origine dalla carenza di tale fluido all'interno del corpo umano; con l'aiuto di alcune tecniche il fluido può essere incanalato, convogliato in altre persone; in questo modo si possono provocare "crisi" nel paziente e curare malattie. Mesmer fu il precursore della pranoterapia, dell'ipnosi ed anche della ciarlataneria contemporanea ed ispirò anche l'opera di Edgar Allan Poe (*La verità sul caso del signor Valdemar*). Nel 1784 Luigi XVI, che aveva udito voci sulla possibilità di accrescere la potenza sessuale tramite le cure di Mesmer, incaricò Lavoisier e Franklin (all'epoca a Parigi), tramite l'Accademia delle Scienze, di indagare. Dopo alcuni mesi il responso fu che, come oggi diremmo, l'eventuale guarigione di un malato avveniva per effetto placebo. Mesmer fu accusato di frode e fu costretto ad espatriare in Svizzera. Il suo posto lo prese Cagliostro. Quando sarà scoperta la radioattività vi saranno coloro che esportano i malati alle radiazioni e saranno consigliate acque minerali naturalmente radioattive.



Il magnetismo animale di Mesmer



Il magnetismo animale di Mesmer



Mesmer (sulla destra) dà dimostrazioni del suo magnetismo animale



Mesmer ipnotizza per mezzo di uno strumento (il tubo)



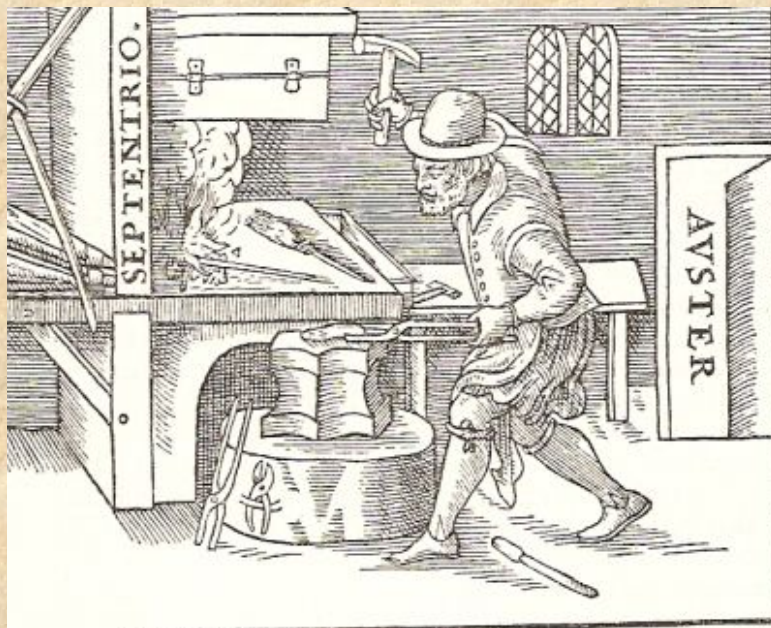
Il tubo di Mesmer che permette (?) di trasferire flussi magnetici da una persona ad un'altra.



La tinozza di Mesmer. Una tinozza con acqua e limatura di ferro : ed intorno ad essa i malati tra cui molte donne isteriche. Mesmer li toccava con una bacchetta mentre una fisarmonica suonava: il fluido 'magnetico' si trasmetteva ed i pazienti dovevano tenersi uniti tramite una fune per potenziare l'effetto di assorbimento delle "energie mesmeriche". Portati quindi in un'altra stanza, Mesmer li tranquillizzava e a volte operava vere guarigioni con tecniche ipnotico-suggestive. Successivamente, egli si accorse che non serviva la bacchetta per ottenere gli stessi effetti, ma la sola imposizione delle mani. Esse erano 'cariche' dello stesso fluido guaritore e, alla stessa maniera, *caricava* oggetti capaci di guarire il paziente, facendolo entrare in *trance*.

LA PRIMA OPERA ORGANICA SUL MAGNETISMO: IL *DE MAGNETE* DI WILLIAM GILBERT

Nell'anno 1600 vide la luce a Londra l'opera *De magnetie magneticisque corporibus et de magno magnete Tellure Physiologia Nova* del filosofo naturale inglese William Gilbert (1544-1603), contemporaneo di Giordano Bruno e di circa vent'anni più vecchio di Galileo (1564-1642) e di Francis Bacon (1561-1626). Gilbert era un copernicano a metà, ammetteva cioè la rotazione della Terra su se stessa ma, per il resto, non si esprimeva. E' uno di quei rappresentanti dell'epoca di transizione, uno di quelli che si fa interprete del mondo della manifattura, delle tecniche che si fanno scienza e che ne racconta in modo non strettamente tecnico e per addetti ai lavori (come nei manuali che si erano succeduti dal Quattrocento),



La lavorazione del ferro per fabbricare magneti nel *De magnetie* di Gilbert. La barra di ferro in lavorazione doveva essere mantenuta lungo la direzione N-S del campo magnetico terrestre come lo stesso Gilbert aveva scoperto.

ad un pubblico più vasto. Vi è dietro la conoscenza di tutti i marchingegni che si venivano perfezionando per l'arte della navigazione ma anche le problematiche che nascevano dall'industria dell'estrazione mineraria dei metalli e della loro lavorazione in fonderie. E in Bacon sembra si possa intravedere una certa influenza di Gilbert (culto dell'esperienza pratica, entusiasmo per la ricerca, stile energico e franco, nemico della cultura accademica ufficiale, scarso interesse per la matematica) anche perché vi fu una comune frequentazione (Bruno, Bacon, Gilbert) della corte di Elisabetta a vario titolo (ma Bacon non apprezzava le intemperanze di Gilbert).

La sua disposizione d'animo emerge nella prefazione del *De magnetie*:

«Perché mai io dovrei sottomettere questa nobile filosofia, che per le cose mai dette prima è nuova e quasi inammissibile, al giudizio di uomini che giurano sulle altrui opinioni, agli insulsi corruttori delle arti, ai letterati buffoni, a grammatici, sofisti e declamatori, e alla caparbia plebe, affinché essi la condannino e la colpiscano dei loro vituperi? A voi soli, veri filosofi, uomini sinceri, che cercate il sapere non nei libri soltanto, ma nelle cose stesse, io dedico questi fondamenti della scienza del magnetismo, trattati secondo un nuovo modo di filosofare».

E qui si sentono addirittura gli influssi di Bruno nell'attacco alla cultura libresca, ampollosa e vuota degli ambienti accademici, cristianamente formati e aristotelicamente conservati, ambienti presenti, a quanto pare, in tutta l'Europa colta. Ma l'influenza del filosofo nolano è ancora più profonda se si legge l'intero corpo delle opere di Gilbert. Valga un solo esempio, riguardante il valore relativo da assegnare alla gravità.

Bruno, nella *Cena delle Ceneri* (Londra 1584) aveva sostenuto:

«Sappi che né la terra, né altro corpo è assolutamente grave o lieve... Queste differenze... convengono a le parti che son divise dal tutto e ... si forzano verso il loco della conservazione come il ferro verso la calamità, il quale va a ritrovarla non determinatamente al basso, o sopra, o a destra, ma ovunque sia ... Perciò è cosa assurda il chiamar corpo alcuno naturalmente grave, o lieve».

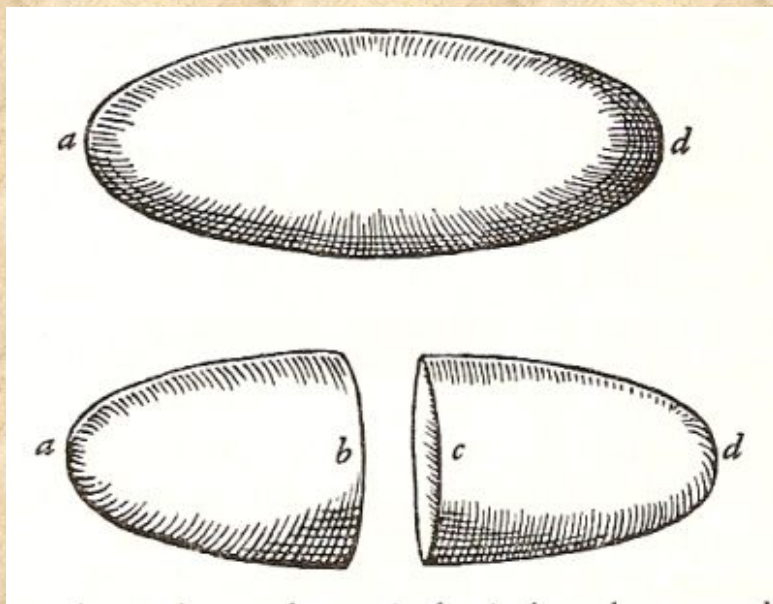
Gilbert scriveva nella sua *De mundo nostro sublunari Philosophia Nova* (pubblicata postuma nel 1651) quanto segue:

«Non è il luogo che agisce o opera nella natura delle cose, giacché esso — in sé — non è né un essere, né una causa efficiente. Sono piuttosto i corpi che, in virtù delle forze ad essi insite, determinano la loro posizione reciproca. Il luogo in sé non è niente: non esiste, e non esercita forza alcuna; ogni forza di natura è, invece, contenuta e radicata negli stessi corpi».

E fu proprio la capacità di assumere posizioni tanto coraggiose, che possono nascere nel clima più tollerante dell'Inghilterra elisabettiana rispetto alle corti papali, a permettere a Gilbert di comprendere in una sola chiave interpretativa i minuscoli effetti attrattivi dell'ambra strofinata, quelli di un magnete e quelli giganteschi della gravitazione. Oggi si direbbe che la sua è una teoria unificata dei fenomeni elettrici, magnetici e gravitazionali in campi di forza veicolati da un materiale fluido sottile disposto intorno ai corpi in tanti strati concentrici a densità decrescente.

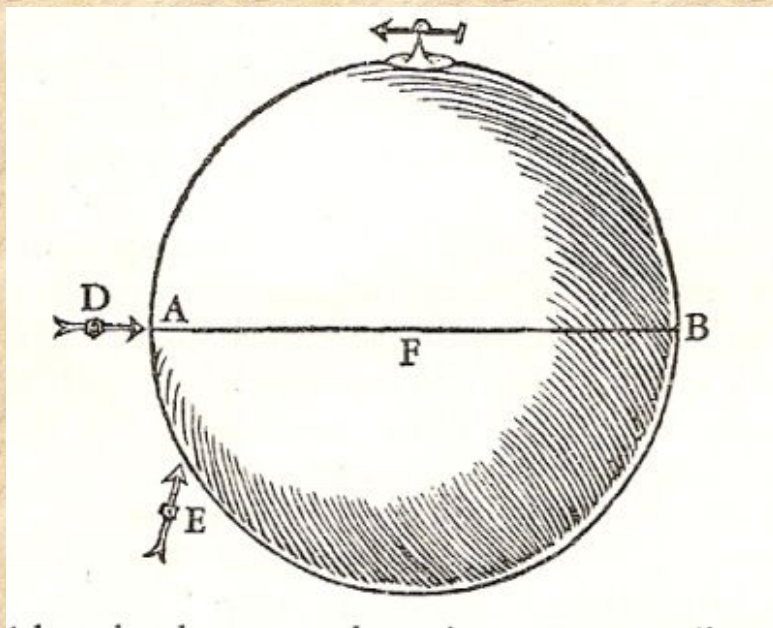
Per poter sostenere queste cose, Gilbert si servì di una gran mole di esperienze (circa 600), guidandosi con le analogie (per ciò che riguarda tutti i fenomeni d'attrazione) che in epoca rinascimentale ebbero grande fortuna⁽⁸⁾. L'idea guida era quella che la Terra, nel suo insieme, si comporta come un gigantesco magnete e, per poter sperimentare, si fabbricò un magnete a forma di globo, che egli chiamò *terrella*, come aveva fatto de Maricourt. Agendo con un ago magnetico sulla terrella, si accorse che le proprietà magnetiche di tale oggetto sono le stesse della *gran calamita*, la Terra. Al di là della eccellente scoperta e dell'ardire di proporla, come osservano Gliozzi e Forti, vi è una sorta di grande balzo in avanti nel modo di conoscere nelle operazioni di Gilbert. Si spezza il mito della separazione aristotelica dei mondi (mondo sublunare e cieli) mostrando che si possono sperimentare sulla Terra fenomeni cosmici e, fatto rivoluzionario, che le leggi trovate qui valgono lì, anche se lì, la gran parte degli eruditi lo affidava alla sola rivelazione. Le cose sono ancora empiriche e l'osservazione è ingenua. Le esperienze sono qualitative non vi compare mai né la misura, né la matematica, né qualcosa della scienza che avanzava con impeto, la meccanica.

Per il resto Gilbert riscrive in forma più accurata i fenomeni magnetici noti come quello del magnete spezzato e ne trova di nuovi: martellando un filo di ferro



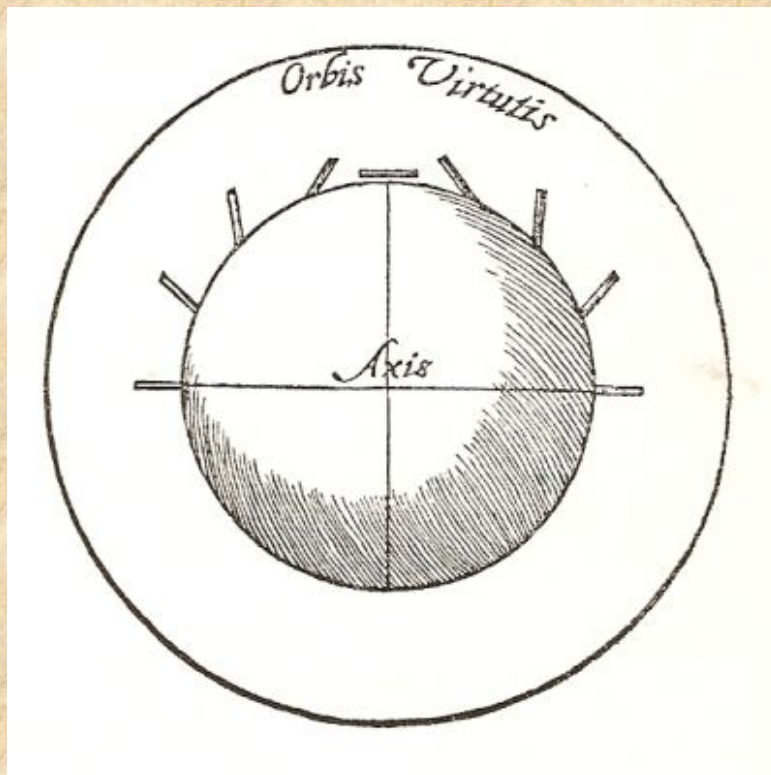
Esperienza del magnete spezzato. Illustrazione dal *De magnete*.

e disponendolo lungo un meridiano magnetico, esso acquista polarità magnetiche; si possono migliorare le "potenze" delle calamite con opportuna lavorazione dei poli (la cosa sarà portata al suo massimo dall'introduzione dell'*àncora* fatta da Galileo). E fin qui per ciò che riguarda il magnetismo, e non è poco ... salvo la conclusione profondamente deludente. Quando si tratta di dare una spiegazione



Una figura che illustra il *De magnete*.

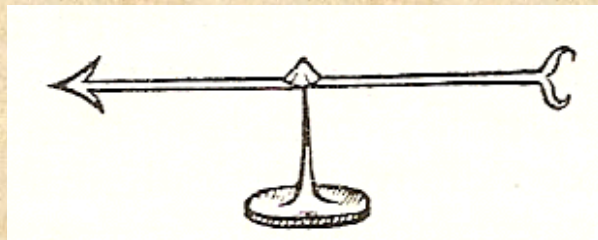
del fenomeno, dopo discussioni incomprensibili, Gilbert ritorna alle posizioni di Talete: i magneti hanno un'anima! e quest'anima ha addirittura proprietà superiori all'anima umana poiché non ha la ventura di essere fuorviata dai sensi agendo costantemente allo stesso modo.



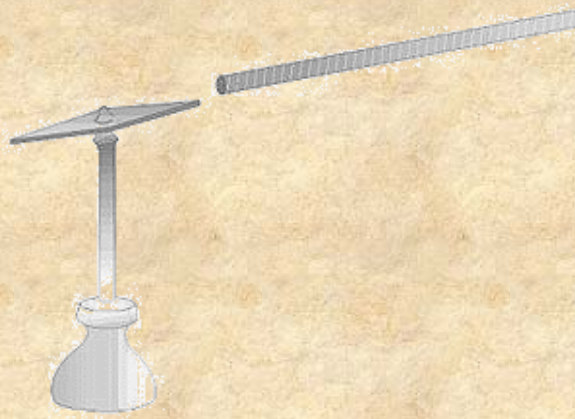
Una figura che illustra il *De magnete*.

Come accennato, nel *De Magnete* viene anche ripresa l'indagine sulle proprietà dell'ambra che avevamo lasciato 2200 anni prima. E fu proprio Gilbert a parlare per primo di forza elettrica (*vis electrica*) in relazione ai fenomeni in oggetto (furono poi Thomas Browne nel suo *Pseudoxia epidemica* del 1646 e quindi Boyle a introdurre il sostantivo *electricitas* nel 1694). Per sperimentare con deboli fenomeni, appunto, elettrici egli si servì di una specie di elettroscopio (chiamato *versorium non magneticum*) costituito da un sottilissimo e leggerissimo ago girevole sopra un sostegno a punta, descritto da Fracastoro (1483-1553) nella sua opera *De sympathia et antipathia rerum* del 1550:

“Affinché tu possa chiaramente sperimentare come avvenga tale attrazione e quali siano le sostanze che attraggono in tal modo altri corpi, costruisciti un aghetto di metallo qualsiasi, abbastanza leggero, della lunghezza di tre o quattro dita, imperniato come un ago magnetico, sulla punta [di un sostegno]. Il versorio girerà immediatamente su sé stesso, se ad una sua estremità avvicinerai l’ambra, o una pietruzza, leggermente strofinata”.

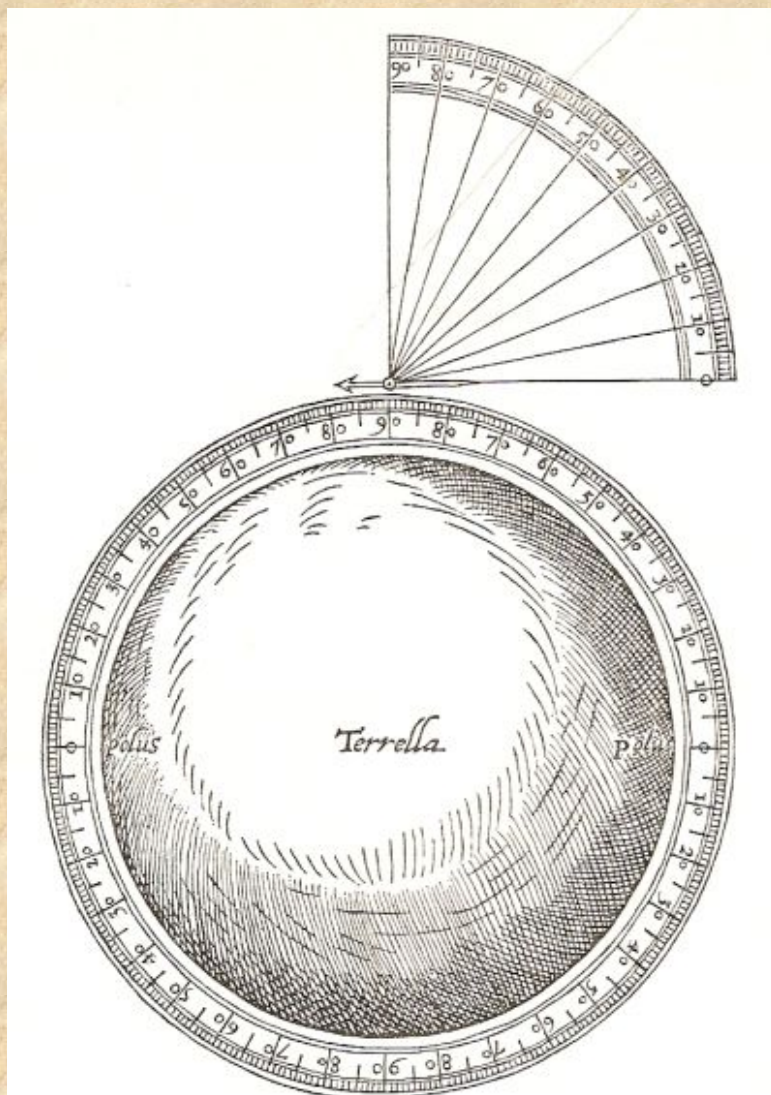


Il versorio



Una bacchetta avvicinata ad un *versorio* (un ago magnetico) per cercarne effetti elettrici. Se la bacchetta è elettrizzata l'ago ruoterà.

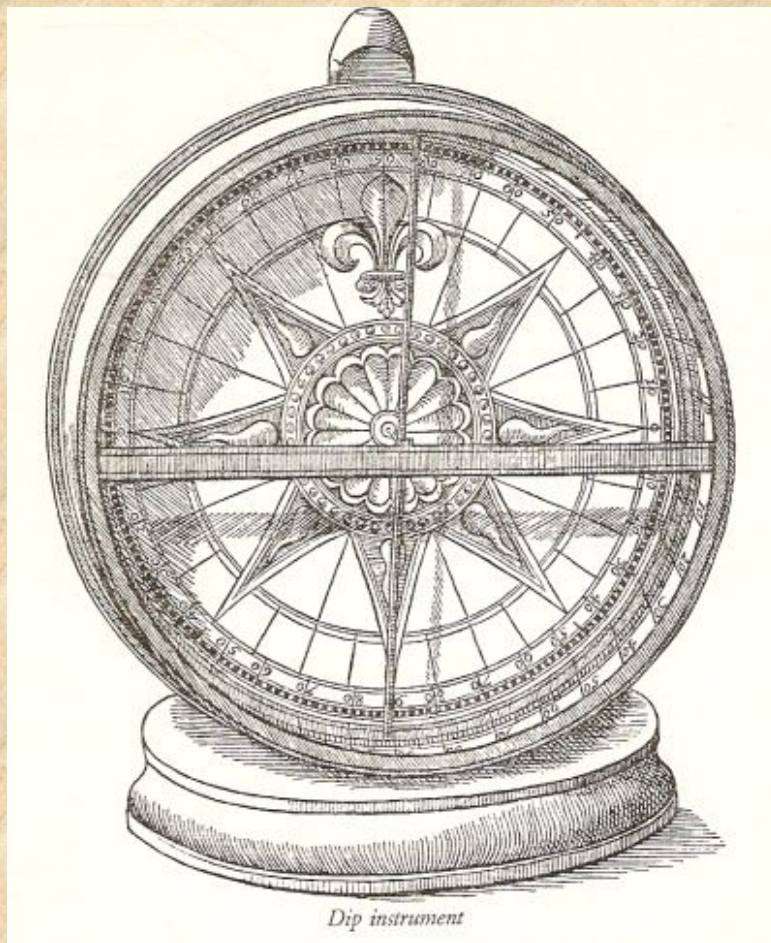
Come fece notare lo stesso Gilbert, con questo strumento è possibile mettere in evidenza l'attrazione anche per quei corpi, nei quali la virtù elettrica è così debole da non essere in grado di sollevare anche leggerissime pagliuzze. Scoprì così che non solo l'ambra gode di proprietà elettriche a seguito di strofinio (triboelettricità) ma anche molte altre sostanze (pietre preziose, salgemma, allume di rocca, vetro, zolfo, varie resine). Non conoscendo ancora nulla delle proprietà di conduzione ed isolamento, gli sembrarono del tutto indifferenti ai fenomeni elettrici sia i metalli che i legni ed alcune pietre. Altre cose di rilievo da assegnare ai lavori di Gilbert sono: l'affermazione che i magneti si respingono quando si avvicinano poli identici e si attraggono avvicinando poli opposti e la scoperta che una sbarra di ferro dolce si magnetizza se si dispone nelle vicinanze di un magnete.



Una figura che illustra il *De magnete*.

Una osservazione di interesse viene fatta da Gilbert: i corpi umidi non si elettrizzano mentre un magnete umido continua ad esercitare i suoi poteri.

Anche la Terra è per Gilbert un oggetto elettrizzabile e, di conseguenza manifesta attrazione rispetto agli altri oggetti. Ma la Terra è anche un magnete e perciò mantiene il suo asse con orientazione costante rispetto alla sfera celeste. La rotazione della Terra intorno al suo asse è poi dovuta ad una azione congiunta di raggi solari e magnetismo. La stessa compattezza della Terra è dovuta al suo magnetismo anche se, in modo che a questo punto stupisce, l'origine della cosa è elettrica. Insomma, in modo certamente confuso, Gilbert tenta di mettere insieme in modo unitario elettricità e magnetismo che in qualche modo sono responsabili della gravitazione e del moto della Terra sul suo asse⁽⁹⁾.



L'inclinometro presentato da Gilbert nel *De magnete*.

Gilbert seppe comunque capire alcune differenze fondamentali tra elettricità e magnetismo. Il magnete non deve essere sottoposto a sfregamento come lo devono invece essere vetro ed altri materiali per essere elettrizzati. Il magnete attrae solo sostanze magnetizzabili mentre i corpi elettrizzati attraggono tutto. L'attrazione magnetica tra due corpi non è influenzata dall'interposizione di un foglio di carta o di un telo di lino o immergendo i corpi nell'acqua; invece l'attrazione elettrica sparisce se si effettua una qualunque interposizione. Infine la forza magnetica agisce secondo una determinata orientazione, mentre la forza elettrica agisce in qualunque direzione.

E' d'interesse accennare anche alla teoria che starebbe alla base di elettricità e magnetismo che Gilbert sviluppò. Tutti i corpi deriverebbero da due elementi primi, l'acqua e la terra. Gli elementi derivanti dall'acqua hanno proprietà attrattive che discendono da effluvi che *come delle*

braccia distese si protendono dall'acqua ed afferrano il corpo e lo attirano, finché la potenza dell'azione non si illanguidisce fino a sparire. La cosa è specificata meglio nel seguito. Quando l'ambra attrae delle pagliuzze l'azione è univoca, è solo l'ambra che agisce. Nel caso di un magnete ed un pezzo di ferro si ha invece un avvicinarsi reciproco dei due oggetti (una *coitio*, come la chiamò Gilbert) ed il magnete sembra creare delle modificazioni nel ferro nelle sue parti più interne di modo che anche il ferro acquista la forza per avvicinarsi al magnete.

La spiegazione, la teoria che Gilbert ne ricavava è analoga a quella di molti filosofi naturali del Rinascimento. Vi era uno slancio innovatore di grandissimo spessore ma, nel contempo, vi è una sorta di palude in cui si è impantanati. La mancanza di strumenti accessori ai meri fatti in studio, chiudeva il tutto in spirali che non uscivano da spiegazioni che non spiegano. Come ricorda Dijksterhuis, la spiegazione di Gilbert:

Non si deve minimamente pensare [analoga] alla causa formalis della filosofia aristotelica o a concetti come quelli di simpatia, influenza celeste, o qualità occulta. Quando il ferro e la calamita aspirano a unirsi, questa non è un'inclinazione violenta di un corpo verso un altro, né una confluenza accidentale e furiosa, né il risultato di una coercizione, di una lotta, o di una discordia, ma una manifestazione dell'armonia senza la quale il mondo andrebbe in disfacimento, un risultato dell'essenziale identità delle parti col tutto. Quest'accumulazione di descrizioni inefficaci è tipica della situazione imbarazzante a cui si riduceva un fisico del Cinquecento o del Seicento, se aveva già abbandonato i principi esplicativi della scienza aristotelica, ma sentiva ancora quel desiderio di una spiegazione che era stato soddisfatto da tali principi nel Medioevo. Una diffusa concezione scolastica dell'attrazione magnetica era stata quella secondo cui la calamita, in virtù di una species magnetica che si diffonde sfericamente, risveglia nel ferro una qualità in virtù della quale quest'ultimo tende a unirsi alla calamita, e questa tendenza produce per accidens un moto locale. In un tempo in cui non si sentisse più parlare di Aristotele, una spiegazione del genere sarebbe stata considerata come un puro giuoco verbale (come effettivamente è); ma la spiegazione che la sostituiva non era molto migliore, né avrebbe potuto esserlo, giacché mirava allo stesso obiettivo irraggiungibile, ossia la conoscenza della natura nascosta delle cose.

Si può facilmente osservare che siamo in completo alto mare: i ragionamenti di tipo aristotelico, infarciti di misticismo, di animismo e di magia sono padroni del campo. Secondo Gilbert i vari fenomeni osservati sembrano indicare che l'elettricità sia dovuta ad un qualcosa di natura materiale che viene liberato quando l'ambra ed il vetro, che la tengono imprigionata, sono strofinati. A sostegno di ciò porta argomenti tratti da altri campi, come la teoria di derivazione aristotelica che vuole il corpo umano contenente vari umori o tipi di umidità: la flemma, il sangue, l'irascibilità e la malinconia. Se prevale uno di questi umori il carattere della persona ne viene condizionato cosicché essa è flemmatica o sanguigna o irascibile o malinconica. Allo stesso modo, poiché Gilbert osservava che i corpi elettrificabili sono quasi tutti duri e trasparenti e quindi (in accordo con le teorie in voga) derivati dalla solidificazione di liquidi acquosi, egli concludeva che tali liquidi dovevano avere un tipo comune di umore al quale assegnare le caratteristiche proprietà elettriche. E' la frizione degli oggetti l'elemento che libera l'umore il quale, una volta liberato, si dispone come un'atmosfera intorno ad essi. L'effluvio di tale umore deve essere, infine, talmente tenue e sottile, che non può essere rilevato. L'esistenza di un'atmosfera di effluvi intorno ad ogni corpo elettrizzato Gilbert deve averla ricavata dal fatto che tali corpi si attraggono poiché era sua credenza che la materia non può agire dove non c'è e se un corpo ne attrae un altro qualcosa di materiale deve essere uscito da esso. Come conseguenza egli estese tale ragionamento alla Terra ed ai corpi che cadono pensando che l'atmosfera è l'effluvio della Terra che permette la caduta.

Questa teoria di Gilbert fu assunta da vari filosofi naturali del XVII secolo con qualche aggiustamento qua e là. In particolare alcuni (tra cui Descartes che vedremo tra un poco)

andarono sulla strada degli effluvi che sarebbero usciti sotto forma di vortice.

Senza una separazione tra le interpretazioni di Gilbert ed i fatti sperimentali sostenuti da misure, non sarà possibile fare passi in avanti, anche se l'ambiente va rapidamente maturando. Non bastava la negazione delle spiegazione attraverso l'autorità dei classici, nella fattispecie Aristotele. Occorreva un cambiamento radicale che doveva prevedere, tra l'altro, l'intersezione di Platone con Aristotele, dei metodi matematici applicati ai fenomeni naturali. Il mero empirismo con spiegazioni nominaliste era arrivato al suo limite, non si poteva andare oltre, ogni ulteriore operazione con i medesimi strumenti non avrebbe fatto che ripetere stancamente l'osservazione di quanto ormai era ben noto.

Come osserva Whittaker, dobbiamo a Gilbert la fondamentale scoperta del perché si orientano gli aghi magnetici o le bussole. La Terra stessa è un gigantesco magnete con i suoi poli sistemati alle massime latitudini sia Nord che Sud. Risulta così spiegato il comportamento della bussola come interazione tra poli dell'ago magnetico e della Terra (in realtà qui vi è un errore storico: non è il Nord dell'ago della bussola che si orienta verso il Polo Nord terrestre; occorrerebbe cambiare uno dei due nomi). Inoltre egli avanzò l'ipotesi che la gravità dipenda dal magnetismo terrestre e che dal magnetismo possano trovare spiegazioni i moti dei pianeti. Ed a tale proposito è opportuna un'osservazione di Gliozzi: poiché riguardo alle azioni magnetiche la differenza tra la Terra e la terrella è solo la grandezza, grande merito di Gilbert è l'aver spostato al cosmo un fenomeno studiato in laboratorio. Era la prima volta che si attaccava la concezione aristotelica del mondo separato dal cielo della Luna con le misere cose che conosciamo al di sotto di esso e con l'eternità e l'immutabilità al di sopra.

Come si può osservare vi sono molte contraddizioni ed in particolare si è ancora dentro quell'animismo che non permette grandi balzi in avanti nella spiegazione dei fatti naturali e non si è ancora riusciti a coniugare questi ultimi con la matematica. Occorrerà aspettare una generazione e passare a quella di Galileo per superare questi freni.

GALILEO GALILEI

Galileo ammirava Gilbert per la rottura con gli schemi aristotelici dell'introduzione al *De Magnete*, ed i suoi interessi per i problemi connessi al magnetismo erano concomitanti alla pubblicazione, nel 1600, del *De Magnete* di William Gilbert che esercitò subito una grande influenza. Ma il metodo di Gilbert, il suo rifiuto della matematica non lo convincevano ed ebbe così modo di dire⁽¹⁰⁾:

"quello che avrei desiderato nel Gilberti, è che fosse stato un poco maggior matematico".

In un'epoca di dotte ed inconcludenti disquisizioni si richiedeva qualcosa di più preciso di una teoria alla Gilbert. Quest'ultimo certamente aveva dei fatti (o, meglio, della analogie) da portare a testimonio, ma nessuna teoria matematica, nessun dato quantitativo (oltre ad una mole smisurata di fatti straordinari, magici e fantastici non riferibili a nessun dato dell'esperienza comune). E qui, credo, esca bene il criterio di scientificità per una teoria fisica che Galileo fornisce: l'osservazione di fatti senza un apparato formale, quantitativo, che li sostenga non può di per sé costituire una teoria fisica. Keplero, nell'*Astronomia nova*, fondò sul magnetismo la spiegazione fisica dei moti planetari. Per Keplero il Sole era un corpo magnetico e il moto dei pianeti derivava dall'azione del vortice magnetico prodotto dal moto di rotazione del Sole. E perché, allora, Kepler aderisce alla teoria di Gilbert? Ecco, appunto, qui può trovarsi una prima parziale risposta al perché Galileo si rifiutò di prendere in considerazione alcuni risultati di Kepler (ad esempio le orbite ellittiche, ma, più in particolare, la spiegazione delle maree attraverso

l'azione della Luna, una prima *'azione a distanza'* che assumeva agli occhi di Galileo un carattere metafisico riferibile a qualità occulte). Tutta l'elaborazione kepleriana è imbevuta di un tal misticismo che sembra impossibile riuscirne a distinguere il contributo positivo al pensiero scientifico. La metafisica dei solidi regolari incastonati l'uno dentro l'altro, la melodia che i pianeti van suonando (la Terra, ad esempio, suona le note *mi, fa, mi*, cosicché, osserva Kepler, non possiamo stupirci se su questo pianeta regnino la Miseria, la Fame e la Miseria), ... tutt'altra cosa rispetto alla razionale, metodica ed a volte dubbiosa discussione delle cose della natura che si può leggere in Galileo. E neanche a dire che l'adesione di Kepler alla teoria di Gilbert avesse un qualche fine all'interno del suo lavoro: essa risultava un mero accessorio.

Tuttavia, Galileo compì esperienze sugli aghi calamitati, sulla declinazione magnetica e sull'armatura delle calamite, sia durante il periodo padovano (insieme a Paolo Sarpi e a Giovanfrancesco Sagredo), sia dopo il ritorno in Toscana. Testimoniano l'interesse di Galileo per i fenomeni magnetici, le pagine che egli vi dedicò nella giornata III del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*. Alla gran ripugnanza che affermava Simplicio avere nell'ammettere i vari moti della Terra, il Salviati-Galileo argomentava diffusamente, affermando tra l'altro:

SALV. [...] ma che dirà il Sig. Simplicio se [...] aggiungeremo una mirabile virtù intrinseca del globo terrestre, di riguardar con sue determinate parti verso determinate parti del firmamento ? parlo della virtù magnetica partecipata costantissimamente da qualsivoglia pezzo di calamita. E se ogni minima particella di tal pietra ha in sé tal virtù, chi vorrà dubitare, la medesima più altamente risedere in tutto questo globo terreno, abbondante di tal materia, e che forse egli stesso, quanto alla sua interna e primaria sustanza, altro non è che un' immensa mole di calamità ?

SIMP. Adunque voi sete di quelli che aderiscono alla magnetica filosofia di Guglielmo Gilberto ?

SALV. Sono per certo, e credo d'aver per compagni tutti quelli che attentamente avranno letto il suo libro e riscontrate le sue esperienze; né sarei fuor di speranza che quello che è intervenuto a me in questo caso, potesse accadere a voi ancora, tuttavolta che una curiosità simile alla mia ed un conoscere che infinite cose restano in natura incognite a gl' intelletti umani, con liberarvi dalla schiavitù di questo o di quel particolare scrittore delle cose naturali, allentasse il freno al vostro discorso e rammorbidisse la contumacia e renitenza del vostro senso, si che ei non negasse tal ora di dare orecchio a voci non più sentite. Ma (siami permesso d' usar questo termine) la pusillanimità de gl' ingegni comuni è giunta a segno, che non solamente alla cieca fanno dono, anzi tributo, del proprio assenso a tutto quello che trovano scritto da quelli autori che nella prima infanzia de' loro studii gli furono accreditati da i lor precettori, ma recusano di ascoltare, non che di esaminare, qual si sia nuova proposizione o problema, benché non solamente non sia stato confutato, ma né pure esaminato né considerato, da i loro autori: de' quali uno è questo, di investigare qual sia la vera, propria, primaria, interna e general materia e sustanza di questo nostro globo terrestre; che, benché né ad Aristotile né ad altri, prima che al Gilberto, sia caduto in mente di pensare se possa esser calamita, non che né Aristotile né altri abbiano confutata una tale opinione, tuttavolta mi son io incontrato in molti che al primo motto di questo, quasi cavallo che adombri, si sono ritirati in dietro e sfuggito di trattarne, spacciando un tal concetto per una vana chimera, anzi per una solenne pazzia: e forse il libro del Gilberto non mi sarebbe venuto nelle mani, se un filosofo peripatetico di gran nome, credo per assicurar la sua libreria dal contagio, non me n' avesse fatto dono.

Ritroviamo qui, più argomentata, l'invettiva contro il conformismo, la piatezza, l'inerzia, la consuetudine e la piaggeria degli intelletti che usano adeguarsi a qualcuno che ha sostenuto tale cosa, invettiva che era stata di Gilbert nella prefazione al *De magnete*. L'ultima frase che vuole un filosofo aristotelico "di gran nome" che si disfà del libro di Gilbert perché poteva *contaminare* la biblioteca è tutto un programma. E Salviati proseguiva ad illustrare la *filosofia magnetica* del

Gilberti, dilungandosi in una conversazione con Simplicio⁽¹¹⁾ della quale merita distaccare un brano. Intanto Galileo mostrava qui ancora una volta di non essere disponibile a speculazioni nuove senza disporre di studi specifici. Egli diceva infatti che

Delle ragioni che concludentemente provino, de facto, questo nostro globo esser di calamita, io non ve ne ho prodotte nessuna, né questo è tempo di produrle, e massimo che con vostra comodità le potrete vedere nel Gilberto

ed aggiungeva:

SALV. Io sommamente laudo ammiro ed invidio questo autore, per essergli caduto in mente concetto tanto stupendo circa a cosa maneggiata da infiniti ingegni sublimi, né da alcuno avvertita; parmi anco degno di grandissima laude per le molte nuove e vere osservazioni fatte da lui, in vergogna di tanti autori mendaci e vani, che scrivono non sol quel che sanno, ma tutto quello che senton dire dal vulgo sciocco, senza cercare di assicurarsene con esperienza, forse per non diminuire i lor libri: quello che avrei desiderato nel Gilberti, è che fusse stato un poco maggior matematico, ed in particolare ben fondato nella geometria, la pratica della quale l' avrebbe reso men risoluto nell' accettare per concludenti dimostrazioni quelle ragioni ch' ei produce per vere cause delle vere conclusioni da sé osservate; le quali ragioni (liberamente parlando) non annodano e stringono con quella forza che indubitabilmente debbon fare quelle che di conclusioni naturali, necessarie ed eterne, si possono addurre: e io non dubito che co 'l progresso del tempo si abbia a perfezionar questa nuova scienza, con altre nuove osservazioni, e più con vere e necessarie dimostrazioni. Né per ciò deve diminuirsi la gloria del primo osservatore.

Galileo continuava ad illustrare altre proprietà magnetiche e fenomeni sostenendo, tra l'altro, che:

SALV. Nell'investigar le ragioni delle conclusioni a noi ignote, bisogna aver ventura d'indirizzar da principio il discorso verso la strada del vero; per la quale quando altri si incammina, agevolmente accade che s'incontrino altre ed altre proposizioni conosciute per vere, o per discorsi o per esperienze, dalla certezza delle quali la verità della nostra acquisti forza ed evidenza, come appunto è accaduto a me del presente problema

Alle argomentazioni di Galileo, Simplicio rispondeva:

SIMP. Parmi veramente che il Sig. Salviati con bel circuito di parole abbia sì chiaramente spiegata la causa di quest' effetto, che qualsivoglia mediocre ingegno, ancorché non scienziato, ne potrebbe restar capace: ma noi, contenendoci dentro a' termini dell' arte, riduchiamo la causa di questi e simili altri effetti naturali alla simpatia, che è certa convenienza e scambievolmente appetito che nasce tra le cose che sono tra di loro simiglianti di qualità; sì come, all'incontro, quell'odio e inimicizia per la quale altre cose naturalmente si fuggono e si hanno in orrore, noi addimandiamo antipatia.

E qui intervenne Sagredo con pesante ironia, dopo aver ascoltato parole come *simpatia* ed *antipatia* che sono bandite dal vocabolario scientifico di Salviati-Galileo:

SAGR. E così con questi due nomi si vengono a render ragioni di un numero grande di accidenti ed effetti, che noi veggiamo, non senza meraviglia, prodursi in natura. Ma questo modo di filosofare mi par che abbia gran simpatia con certa maniera di dipignere che aveva un amico mio, il quale sopra la tela scriveva con gesso : «Qui vo-glio che sia il fonte, con Diana e sue ninfe; qua, alcuni levrieri: in questo canto voglio che sia un cacciatore, con testa di

cervio; il resto, campagna, bosco e collinette»; il rimanente poi lasciava con colori figurare al pittore: e così si persuadeva d' avere egli stesso dipinto so il caso d'Atteone, non ci avendo messo di suo altro che i nomi.

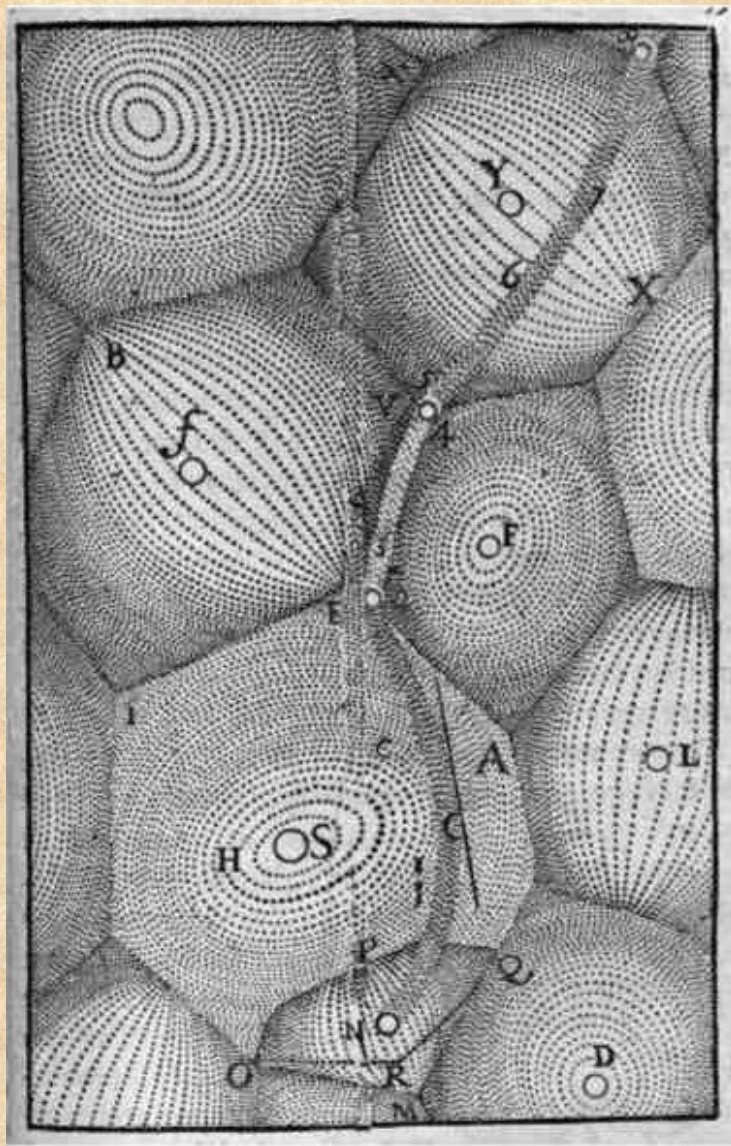
A parte altre piccole cose, che non investigò, e ad altre di chiaro sapore tecnico (quanto riesce a sollevare un magnete e come realizzare un magnete che abbia maggiore *potenza*), Galileo terminava qui. Ma il fatto che egli avesse una grande fama rese le questioni poste da Gilbert al centro delle future ricerche con il suo metodo di *sensate esperienze e dimostrazioni* supportate da matematica e geometria.

RENÉ DESCARTES

Sarà Descartes che, in nome del razionalismo, riporterà le cose in un ambito puramente descrittivo, addirittura rifacendosi ai 4 elementi di Aristotele.

Ma prima di descrivere le teorie magnetiche di Descartes è utile ripassare brevissimamente la sua concezione del mondo.

La concezione cartesiana del mondo cerca di dare una ragione più compiuta al sistema copernicano per inserirlo in una visione più generale di cui esso stesso risultasse conseguenza. Egli cominciò con il considerare un solo corpuscolo infinitesimo nel vuoto e quindi come il moto di questo primitivo corpuscolo fosse modificato da un secondo corpuscolo (nel far questo Descartes introduce la conservazione della quantità di moto, in forma non del tutto corretta poiché al pensatore francese mancava il concetto di massa, ed il principio d'inerzia, ricavato però da ragioni metafisiche; "*Dio è immutabile e, agendo sempre allo stesso modo, produce sempre lo stesso effetto*"). In modo induttivo Descartes aggiunse via via altri corpuscoli che si urtavano indefinitamente tra loro. Egli riteneva che le variazioni sensibili del nostro universo fossero originate proprio da questi urti innumerevoli; sono proprio gli scambi di quantità di moto che rendono conto delle diverse azioni meccaniche tra i corpi. Conseguenza di ciò è l'impossibilità di azione a distanza: ogni azione di un corpo su di un altro avviene per contatto. Nel nostro universo è quindi impossibile l'esistenza di vuoto (e quindi di atomi). Nell'universo cartesiano c'è il tutto pieno eternamente in moto: un primo corpuscolo ne spinge un secondo che, a sua volta, ne spinge un terzo e così via finché l'ultimo corpuscolo spinto va a spingere il primo che avevamo preso in considerazione. Ne consegue una struttura a vortici che è alla base dell'intero universo. Ed anche laddove non vi è materia sensibile vi è l'etere, elemento sottile che riempie di sé tutto lo spazio risultando intimamente mescolato con tutte le sostanze. È proprio un gigantesco vertice di etere quello che pone in circolazione i pianeti intorno al Sole.



I vortici di Descartes. Quello che al centro ha una S è il sistema solare. La linea che s'intrufola tra i vortici è la traiettoria di una cometa (da: *Il mondo. L'uomo*)

I motivi che portarono Descartes a teorizzare un tutto pieno erano molteplici, di natura filosofica e tali da coinvolgere la sua concezione di materia e spazio. Il vuoto è inammissibile principalmente perché sarebbe una contraddizione completa, un nulla esistente. Lo spazio per conseguenza non può essere un'entità distinta dalla materia che lo riempie. Spazio e materia non sono altro che la medesima cosa.

Egli inizia a darci la sua spiegazione dell'attrazione elettrica con queste parole:

Quando si strofina il vetro abbastanza forte, in modo che si riscaldi un poco, alcune particolari particelle che sono scacciate fuori dai suoi pori da quella agitazione, sono costrette ad andare verso l'aria e gli altri corpi circostanti, dove, non trovando pori adatte a riceverle, ritornano subito nel vetro e vi conducono con s i fuscilli o altri piccoli corpi, nei pori dei quali si sono incastrate.

E' d'interesse fare un minimo confronto con le teorie di Gilbert. La principale differenza è che qui dovremmo essere di fronte ad una teoria corpuscolare rispetto a quella fluidistica di Gilbert. Per il resto, il campione del razionalismo non disdegna di lasciarsi andare alle più incredibili fantasticherie non dissimili da quelle di Gilbert.

E veniamo alla concezione del magnetismo di Descartes. Riporto alcuni passi di Descartes dai suoi *Principia Philosophiae* del 1644 (Amsterdam). Al paragrafo 133 della parte IV,

Descartes iniziava con il definire un magnete e la cosa è d'interesse perché la fantasia davvero va per conto suo, costruendo mondi fantastici ritornando, come già accennato, alla teoria aristotelica dei quattro elementi, ormai completamente superata da tutti coloro che si definivano copernicani, come lo stesso Descartes)⁽¹²⁾:

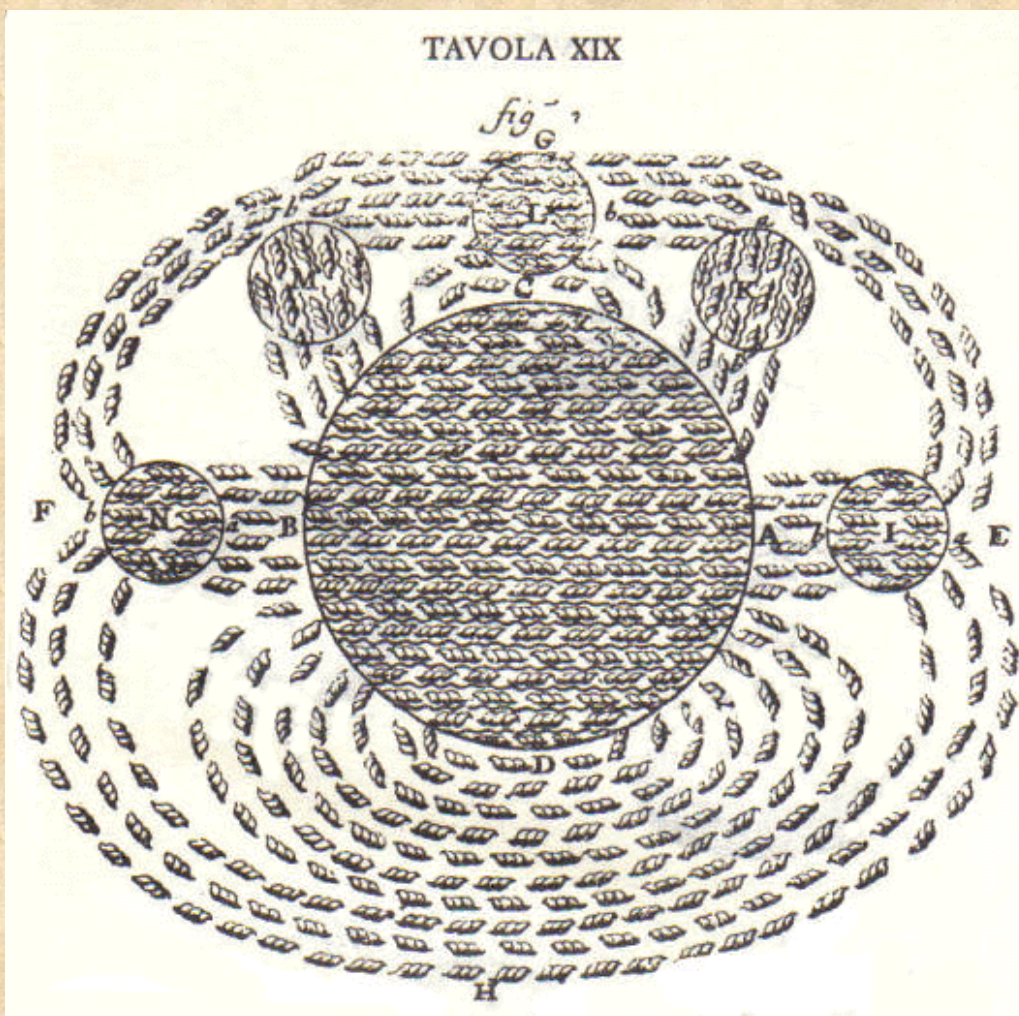
133- Spiegazione della natura del magnete

Fin qui ho cercato di spiegare la natura e tutte le principali (proprietà) dell'aria, dell'acqua, delle terre, e del fuoco, (poiché sono i corpi che si trovano più generalmente ovunque) in questa regione (sublunare) che abitiamo, e che sono chiamati i suoi quattro elementi; ma c'è ancora un altro corpo, ossia il magnete, (che si può dire abbia un'estensione maggiore di uno qualsiasi di quei quattro, poiché anche tutta la massa della Terra è un magnete, e non potremmo andare in) nessun luogo dove non se ne noti la virtù. Per questo, desiderando non dimenticare nulla di ciò che c'è di più generale in questa Terra, c'è bisogno ora che io lo spieghi.

Nella Terra, a conseguenza dei vortici con differenti velocità, vi sarebbero dei canali striati (le parti scanalate del primo elemento) in forma elicoidale (a chiocciola). Debbo osservare che questa è la semplificazione di un lunghissimo discorso in gran parte incomprensibile. Ma seguiva Descartes:

pensiamo che ci siano nella regione media [della Terra] diversi pori (o piccoli condotti) paralleli al suo asse, attraverso i quali le parti scanalate passino liberamente da un polo verso l'altro; e che quei condotti siano in tal modo incavati e adattati alla figura di quelle parti scanalate, che quelli che ricevono le parti provenienti dal polo australe, non potrebbero ricevere quelle provenienti dal polo boreale, e che, reciprocamente, i condotti che ricevono le parti provenienti dal polo settentrionale, non siano adatti a ricevere quelle provenienti dal polo australe, poiché sono girate a vite le une all'inverso delle altre. (Pensiamo anche che) quelle parti scanalate possano bene entrare per un lato nei pori (adatti a riceverle), ma che non possano ritornare dall'altro lato (degli stessi pori), poiché vi sono (dei piccoli peli o) dei rametti sottilissimi, che nelle pieghe di quei condotti sporgono in maniera tale, da non impedire per nulla il corso delle parti scanalate, quando vi vengono dal lato per cui sono solite entrare, ma che si voltano dall'altra parte e raddrizzano (un po' le loro estremità, quando quelle parti scanalate si presentano per entrarvi dall'altro lato, e) così ostruiscono loro (il passaggio...). Per questo, dopo che hanno attraversato tutta la Terra da una (metà) all'altra, seguendo linee parallele al suo asse, ce ne sono molte che ritornano, attraverso (l'aria) circostante, verso la stessa (metà) di dove erano entrate, e passando così (reciprocamente dalla terra nell'aria, e dall'aria nella terra), ci compongono una specie di vortice

Non proseguo anche se Descartes riempie di questa prosa un centinaio di pagine. Quanto riportato mi serviva per dare un'idea della concezione magnetica del nostro. Egli pensa i magneti come solcati da scanalature attraverso le quali passa un flusso di particelle sottilissime che si avvitano in esse (le particelle, in origine, sarebbero state scagliate dal Sole lungo il piano equatoriale dove la forza centrifuga è più intensa). Le particelle, fuoriuscite dal magnete ed entrate nell'aria, ritornano al magnete proprio a causa del loro moto a vortice. Quando queste particelle che fuoriescono dal magnete a forma di cavatappi incontrano un pezzo di ferro penetrano nei suoi pori come appunto dei cavatappi che lo attirano al magnete. Ma, se avete avuto la forza di leggere il brano riportato, vi sarete accorti che le scanalature nei canali possono essere sinistrorse o destrorse. Questa eventualità serve a dar conto di attrazione o repulsioni tra magneti (per medesimi



La Terra-magnete come teorizzata da Descartes. I poli sono situati in corrispondenza delle lettere A (polo australe) e B (polo boreale).

avvitamenti si ha attrazione, altrimenti repulsione). Con questo apparato, lo stesso Descartes ci fornisce il disegno del magnete-Terra che viene descritta nel paragrafo 146 (le piccole sfere I, K, L, M, disegnate intorno alla Terra, stanno per spiegare la diversa inclinazione che subiscono gli aghi magnetici sotto l'azione del magnete Terra, un qualcosa di analogo alle figure che ci aveva fornito Gilbert).

A Descartes si ispirò Padre Grimaldi (1618-1663) che nel suo *De lumine* (1665) dedicò una trentina di pagine al fenomeno magnetico. La novità rispetto a Descartes è l'ammissione di un fluido magnetico unico, in luogo dei due individuati dalla diversa rotazione dei "cavatappi", e l'assenza di ipotesi sulle presunte particelle che costituirebbero il fluido.

Newton, per parte sua, dedicherà poco spazio al magnetismo e lo farà nella *Query* n° 22 della sua *Optics* del 1704:

I pianeti, le comete e tutti i grandi corpi realizzano i loro movimenti più liberamente e con minore resistenza in tale mezzo etereo che in qualunque altro fluido che riempia per completo tutto lo spazio, senza lasciare pori e, conseguentemente, più denso del mercurio e dell'oro? Tale resistenza non sarà tanto piccola da risultare trascurabile? [...] Se qualcuno domandasse come è possibile che un mezzo sia così estremamente rarefatto, gli risponderai che l'aria negli strati superiori dell'atmosfera può essere più rarefatta dell'oro fino a 100 milioni di volte; ed anche che un corpo elettrico può emettere a seguito di frizione una esalazione tanto rarefatta e sottile che la sua emissione non causerà diminuzione sensibile nel peso del corpo anche se tale emissione si dilata in una sfera di diametro superiore a dieci piedi e, senza dubbio, agitare e spostare fogli di rame o di oro ad una distanza di più di un piede dal corpo

Una disposizione positiva rispetto ai lavori di Gilbert fu di Padre Benedetto Castelli (1577-1643), l'allievo ed amico di Galileo, che scrisse un *Discorso sulla calamita* che purtroppo rimase inedito fino al 1883. Egli prese le mosse dalla oggi nota esperienza dello spettro magnetico che si ottiene disponendo della limatura di ferro su di un foglio di carta sotto il quale è disposto un magnete. Castelli dispose, anziché limatura di ferro, limatura di un magnete. Da questa esperienza egli costruì una teoria che in pratica prevede che il magnete sia costituito da tanti magneti elementari (come diremmo oggi) che in origine sono disordinati ed in particolari condizioni si orientano tutti in un unico verso dando l'effetto magnetico (si confrontino queste ipotesi teoriche, che possano essere assimilate addirittura all'ipotesi di Ampère sul magnetismo, con le contemporanee teorie di Ewing e di Weiss che vedremo).

Gli anni seguenti, fino agli inizi dell'Ottocento, vedranno molto poco nelle discussioni sul magnetismo (Halley studiò il magnetismo terrestre arrivando, attraverso gli studi della declinazione magnetica, a stabilire nel 1683 che la Terra aveva quattro poli. Qualche anno più tardi, dopo che nel 1722 Graham aveva scoperto la variazione diurna della declinazione magnetica, Halley ammise che due poli dovevano essere superficiali e fissi e che la Terra fosse costituita da un nucleo e da un involucro solido separati da uno strato liquido; gli altri due poli si trovavano su questo nucleo che si muoveva con un periodo di circa 700 anni. Halley, nel 1701, realizzò la prima carta in cui erano riportate le linee di uguale declinazione ed avanzò l'ipotesi che le aurore boreali avessero a che vedere con il magnetismo terrestre). L'attenzione è tutta concentrata sui fenomeni elettrici e, solo per analogia ogni tanto vengono richiamati quelli magnetici. In particolare si sente la necessità di passare a qualche relazione formale, a raccontare il magnetismo in termini quantitativi.

Coulomb, sul finire del Settecento, accennerà al magnetismo, proprio nel senso ora detto.

Il primo però che tentò di dare una legge quantitativa sulla forza che agisce tra due magneti fu il geologo ed astronomo britannico John Michell (1724-1793) che realizzò una speciale bilancia (bilancia di torsione) che divenne famosa solo dopo che fu inventata di nuovo da Coulomb, per studiare le forze magnetiche ([*A Treatise of Artificial Magnets; in which is shown an easy and expeditious method of making them superior to the best natural ones*](#), 1750). In questo lavoro vi sono varie accurate osservazioni sul magnetismo ed un metodo facile e celere per realizzare magneti artificiali attraverso il meccanismo dell'induzione magnetica). Michell era un fervente newtoniano e andò a scoprire ciò che voleva scoprire, il fatto cioè che le forze agenti tra poli magnetici vanno come l'inverso del quadrato della distanza, come la legge regina di Newton, quella di gravitazione universale:

In un magnete [...] vi sono sempre due poli che sono generalmente chiamati Nord e Sud; ed il polo Nord di un magnete attrae sempre il polo Sud, e respinge il polo Nord di un altro magnete: e viceversa. Ogni polo magnetico attira o respinge esattamente a distanze uguali in ogni direzione. [...] L'attrazione e la repulsione magnetica sono esattamente uguali tra loro. [...] Attrazioni o repulsioni diminuiscono in proporzione all'aumento dei quadrati delle distanze dai rispettivi poli.

E' inutile dire che tale legge, sostenuta successivamente da Tobias Mayer e da Johann Heinrich Lambert, non ha retto a successive e rigorose verifiche sperimentali anche se ha avuto il pregio di indicare una strada per rendere la scienza elettrica e magnetica quantitativa (l'intuizione che l'attrazione tra magneti avvenisse con una legge regolata dall'inverso del quadrato della distanza risale addirittura al Cardinale Cusano che la propose nel 1450).

Altro contributo, che s'inserisce a questo punto e che avrà influenza non solo sul magnetismo, è quello fornito dal fisico tedesco Franz Aepinus (1724-1802), nel suo *Tentamen Theoriae Electricitatis et Magnetismi* pubblicato in Russia nel 1759. In questo lavoro per la prima volta si forniva una chiave che può permettere di matematizzare i fenomeni elettrici e magnetici e si elaborava un modello per comprendere il magnetismo. Aepinus ipotizzava che i poli fossero la sede di un *fluido magnetico* presente in quantità eccedente o mancante rispetto alla normale

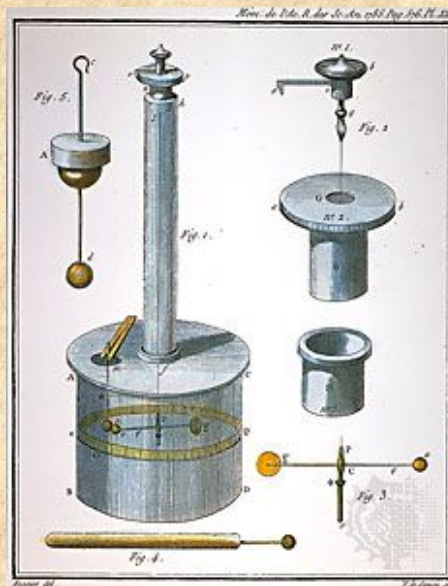
quantità. Il fluido magnetico esiste e si muove nell'aria ed ha la proprietà di attaccarsi al ferro. Tale fluido è simile a quello elettrico che aveva introdotto Franklin e che era divenuto popolare per spiegare i fenomeni elettrici. Secondo Aepinus quindi, il ferro contiene un fluido magnetico ed un magnete è un pezzo di ferro in cui il fluido magnetico è localizzato ad un estremo, con la conseguenza che l'altro estremo del ferro ha una carenza di fluido. Ciò dovrebbe spiegare la diversa natura dei due poli del magnete, uno con un eccesso e l'altro con una carenza di fluido, e perché un magnete è attratto dal ferro (la piccola quantità di fluido del ferro tenderebbe a spostarsi verso il magnete durante l'interazione). Questo modello fluidistico ad un solo fluido dovrebbe anche spiegare l'esperienza della calamita spezzata; infatti, quando la calamita viene spezzata, parte del fluido magnetico evapora dalla parte terminale di ciascuna metà lasciando un terminale di ciascuna metà con un eccesso di fluido e l'altro terminale di ciascuna metà del magnete con un deficit di fluido. Ma Aepinus non si limitò ad enunciare questa teoria. Egli tentò anche di dare ad essa una forma matematica. Restavano vari problemi tra cui il modo con il quale si muoveva il fluido nella zona tagliata della calamita, come cioè avveniva l'evaporazione del fluido magnetico.

E' a questo punto che si inseriscono i lavori di Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806) (13). Siamo ad un punto in cui: la strumentazione permette delle misure, si sono scalzati i freni alla scienza rappresentati dall'aristotelismo e dal cartesianesimo, la fenomenologia sperimentale e le elaborazioni teoriche sono consistenti, la fisica newtoniana è entrata con l'Illuminismo in tutta Europa.

Fu Coulomb a mettere ordine in tutto ciò che si sapeva di elettricità imponendo in modo definitivo il metodo della misura quantitativa alle analisi qualitative. Come abbiamo visto, già in passato si era tentato di fare qualcosa in tal senso, ma mancava sempre un qualcosa. Ora sembrava che tutto fosse a punto. Coulomb iniziò ad interessarsi di questioni magnetiche ed elettriche in una memoria del 1777, *Recherches sur la meilleure manière de fabriquer des aiguilles aimantées*, nella quale, contrariamente a quanto annunciato dal titolo, non si occupava di questioni pratiche ma della comprensione dei fenomeni che sono alla base dell'orientamento di un ago magnetico sospeso ad un filo sottile. Si pongono qui il problema della torsione del filo e della sua linearità. Nel discutere tale fenomeno Coulomb si sbarazzò dei vortici metafisici di Descartes affermando

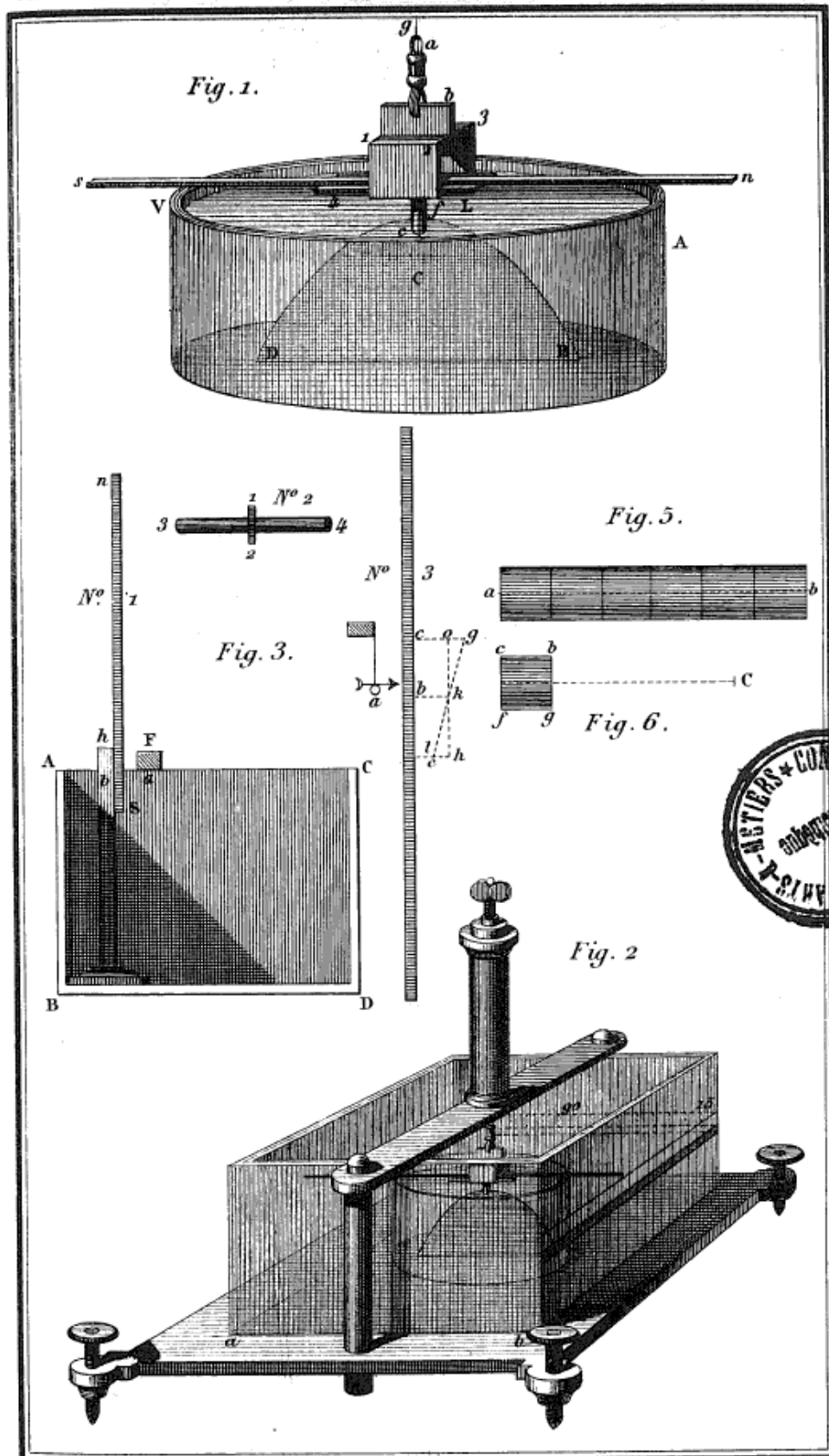
la necessità di introdurre forze attrattive e repulsive della natura di quelle di cui si è obbligati a servirsi per spiegare la pesantezza dei corpi e la fisica celeste. E' una scelta drastica che gettava via Descartes per aderire alla gravitazione universale di Newton. Su questa strada diventava importante per Coulomb trovarsi l'equazione del moto di un ago magnetico sospeso ad un filo, sotto l'azione del campo magnetico terrestre. Nasceva qui il problema delle piccole oscillazioni e di come da esse si possa risalire al *momentum* della forza magnetica. Risolta la questione Coulomb passò a studiarne il *momentum* di vari magneti attraverso la misura delle loro oscillazioni. Dalla preoccupazione di Coulomb dell'eventuale errore introdotto dallo studio della torsione, egli moltiplica gli esperimenti, sbarazzandosi dei dubbi e scoprendo che la forza di torsione di un filo dipende dalla sua natura, che è proporzionale all'angolo di torsione ed alla quarta potenza del suo diametro e che risulta inversamente proporzionale alla sua lunghezza.

In pratica Coulomb stava mettendo a punto la sua bilancia di torsione che è simile concettualmente a quella di Cavendish ma di ben più piccole dimensioni. La



Schema della bilancia di torsione di Coulomb da una memoria di Coulomb del 1785

misura dell'azione elettrica tra due sferette cariche, una mobile e una fissa, veniva eseguita misurando la torsione del filo di sospensione, di seta, al quale è sospeso il giogo della bilancia, terminante da una parte con la sferetta mobile, dall'altra con un contrappeso (l'angolo di torsione è proporzionale al momento della forza torcente). Questi studi si compiranno in una successiva memoria del 1784, *Recherches théoriques et expérimentales sur la force de torsion et sur l'élasticité des fils de métal*. Con lo strumento bilancia di torsione messo a punto e con una sensibilità che inizialmente permetteva di misurare il milionesimo di grammo-peso (sensibilità successivamente migliorata), Coulomb passò a studiare quantitativamente i fenomeni elettrici sotto la guida del pregiudizio newtoniano e, nel 1785, vide la luce la sua prima memoria (delle sette che scrisse dal 1785 al 1789) nella quale venivano studiati quantitativamente i fenomeni elettrici (le forze repulsive): *Construction et usage d'une balance électrique fondée sur la propriété qu'ont les fils de métal d'avoir une force proportionnelle à l'angle de torsion. Détermination expérimentale de la loi suivant laquelle les éléments des corps électrisés du même genre d'électricité se repoussent mutuellement*. A questa memoria ne seguì subito una seconda nella quale Coulomb precisò alcune questioni, estese alcuni risultati ed effettuò altri esperimenti (forze attrattive) delicati soprattutto per il fatto che, quando si aveva a che fare con cariche di segno opposto, vi era la tendenza all'attrazione ed all'annullarsi delle cariche medesime. E' da notare che nell'indagare le azioni tra corpi carichi Coulomb presupponeva la conservazione della carica. In queste due memorie Coulomb stabilì sperimentalmente la prima legge quantitativa tra cariche elettriche. Esse si attraggono o si respingono (a seconda dei loro segni) con una legge del tipo di quella di Newton di gravitazione universale. In particolare con la famosa legge dell'inverso del quadrato della distanza (nel nostro caso: tra le sferette cariche). A questo punto Coulomb passò a studiare l'azione che esercitano tra loro due masse magnetiche (solo nella settima memoria, *Du magnétisme* del 1789, Coulomb si



Gravure reproduisant la Planche originale VIII

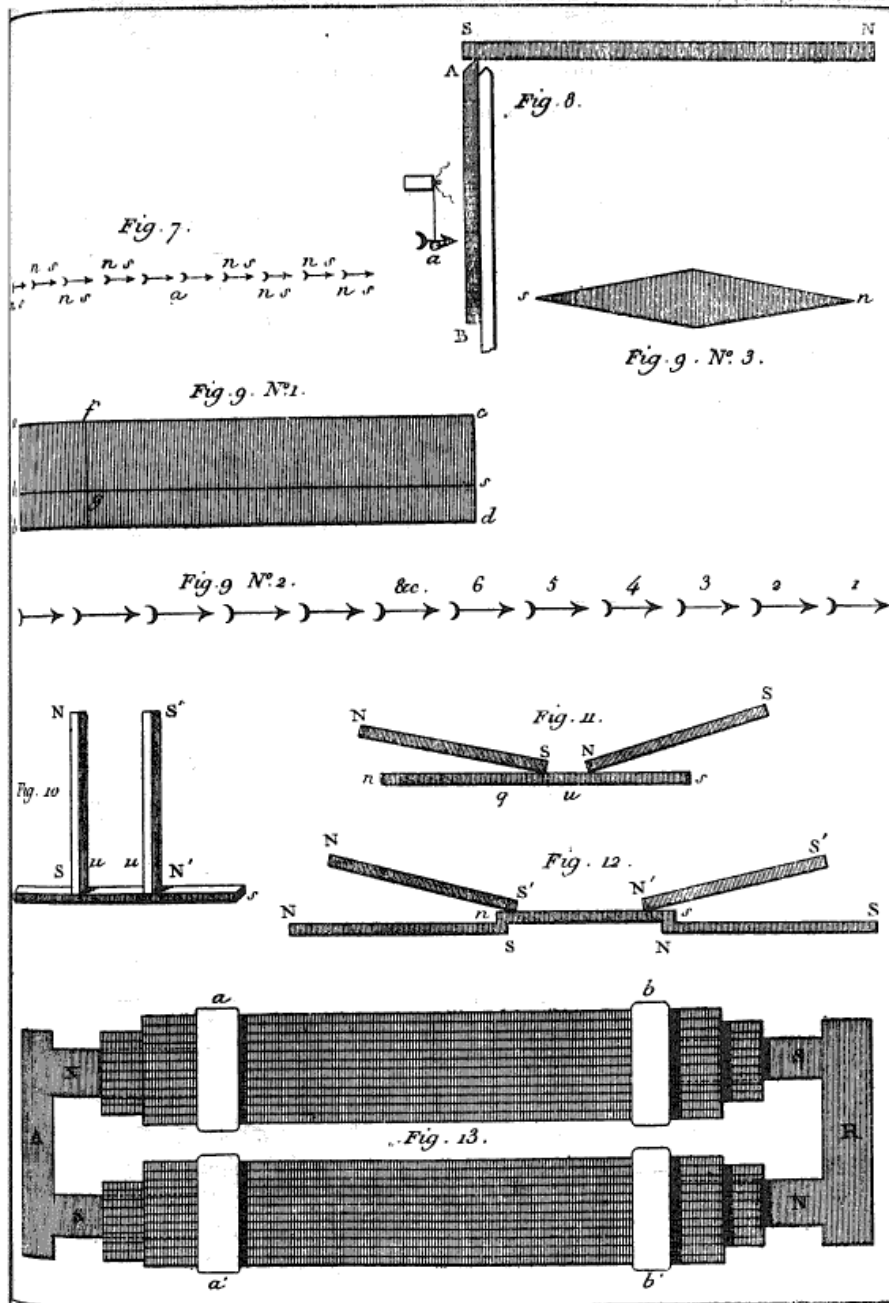
Lo strumento utilizzato da Coulomb per studiare il magnetismo: una bilancia di torsione simile a quella utilizzata per studiare l'elettricità con gli opportuni arrangiamenti. La

descrizione completa dello strumento si trova [qui](#) e nelle pagine seguenti del link fornito dove vi sono tutte le memorie di Coulomb.

occuperà esclusivamente di magnetismo) che, ad un'osservazione superficiale, agiscono allo stesso modo di due cariche elettriche e Coulomb scrisse anche, ma senza insistere troppo:

Abbiamo determinato [...] la legge di repulsione del fluido elettrico della stessa natura e quella di attrazione dei due fluidi elettrici di differente natura e abbiamo provato, con delle esperienze molto semplici e che sembrano decisive, che questa azione è esattamente in ragione inversa del quadrato della distanza; abbiamo egualmente provato, con delle esperienze dello stesso tipo, che l'azione, sia repulsiva sia attrattiva, del fluido magnetico segue la stessa legge.

La base interpretativa di Coulomb (paragrafi 25 e 29 della memoria *Du magnétisme* ed in una memoria del 1801, *Détermination thèorique et expérimentale des forces qui ramènent différentes aiguilles ...*), che come accennato rifiutava i vortici cartesiani, partiva dalle teorie fluidistiche, ed in particolare dalle teorie a due fluidi che furono sviluppate da Hollander, Anton Brugmans e da Wilcke successivamente a quella ad un fluido di Aepinus (che egli citò più volte) ma anche di Franklin e di Cavendish. La teoria dei due fluidi prevedeva un fluido positivo ed uno negativo per l'elettricità, uno *boreale* ed uno *australe* per il magnetismo. Ma Coulomb non azzardò conclusioni sull'identità tra fluidi elettrici e magnetici affermando solo che *i fluidi elettrici devono avere analogie con i fluidi magnetici in quanto agiscono secondo la medesima legge e che può darsi che tutte le affinità chimiche dipendano da due azioni, l'una repulsiva e l'altra attrattiva, analoghe a quelle dell'elettricità e del magnetismo*. Secondo il nostro i fluidi elettrici, ai quali insieme ai fluidi magnetici è assegnata da Coulomb una struttura particellare, si muovono tra le particelle della materia ponderabile allo stesso modo che l'acqua ed altri fluidi si muovono nei pori di una spugna. I due fluidi magnetici, invece, non si muovono tra particelle di materia ponderabile ma sono confinate nelle molecole di materia. Per spiegare la magnetizzazione Coulomb, nel paragrafo 30 della memoria *Du magnetisme*,



Fac-simile de la Planche originale IX.

COULOMB.

20

Illustrazione della teoria di Coulomb delle molecole orientate tutte nello stesso verso per la spiegazione del magnetismo. La figura 9/1 rappresenta un magnete. La figura 9/2 mostra invece come è costituita una sezione hgs del magnete, da una fila di magneti elementari orientati nello stesso verso.

avanzò la teoria secondo la quale una metà della molecola costituente un materiale tipo ferro conterrà una certa quantità di un dato fluido magnetico mentre l'altra metà della molecola conterrà l'altro fluido magnetico nella stessa quantità (si possono qui iniziare ad intravedere i concetti di polarizzazione magnetica o magnetizzazione). Una sostanza risulterà magnetizzata quando queste molecole dipolari risulteranno allineate in modo tale che i loro poli uguali punteranno tutti in una medesima direzione. Coulomb sospettò anche che le molecole di ciascun corpo devono avere i due fluidi magnetici che le costituiscono ma non riuscì ad evidenziare la cosa. Con varie

sistemazioni ed aggiustamenti, questa teoria resisterà per tutto il XIX secolo.

LA TEORIA MAGNETICA DI SIMÉON DENIS POISSON

In febbraio e dicembre 1824 Siméon Denis Poisson lesse all'Accademia delle Scienze di Parigi due memorie sulla natura del magnetismo. Le due memorie, alla quale se ne aggiungerà un'altra letta all'Accademia nel 1826, erano state pubblicate nella rivista dell'Accademia [*Mémoire sur la théorie du magnétisme* (*Mém. Acad. des Sciences de l'Institut de France*, 1821, **5**, pp. 247-338), *Second mémoire sur la théorie du magnétisme* (*Ibidem*, 1822, **5**, pp. 488-533) e *Mémoire sur la théorie du magnétisme en mouvement* (*Ibidem*, 1823, **6**, pp. 441-570)]. E' utile accennare a queste memorie che sono in linea con la scuola dei fisici matematici francesi e quindi con un uso preponderante di analisi matematica. L'utilità nasce nel vedere come improvvisamente sia possibile trattare il magnetismo con strumenti matematici che solo pochi anni prima sarebbero sembrati impensabili. Il risultato resterà comunque incerto nella corrispondenza delle elaborazioni teoriche con i dati dell'esperienza proprio perché il magnetismo era indietro negli studi sperimentali rispetto all'elettricità e quindi non vi erano dei riscontri sicuri ai quali riferirsi.

Poisson (1781-1840) aveva iniziato a sviluppare la teoria del potenziale a problemi elettrici a partire dalla teoria a due fluidi nella sua memoria *Mémoire sur la distribution de l'électricité à la surface des corps conducteurs* (*Mém. Classe Sci. Math. de l'Institut de France*, 1811, pp. 1-92 e 163-174). Nell'introduzione a tale memoria egli affermava:

La teoria dell'elettricità più generalmente accettata è quella che attribuisce i fenomeni a due fluidi differenti che sono contenuti in tutti i corpi materiali. Si suppone che molecole dello stesso fluido si respingono reciprocamente ed attraggono le molecole dell'altro fluido, queste forze di attrazione e repulsione obbediscono alle leggi del quadrato inverso della distanza; e alla stessa distanza il potere attrattivo è uguale al potere repulsivo, da cui segue che quando tutte le parti del corpo contengono uguali quantità dei due fluidi, questo non esercita alcuna influenza sui fluidi contenuti nei corpi circostanti e di conseguenza non sono discernibili effetti elettrici.

Poisson continuava definendo uno stato naturale come equilibrio dei due fluidi, lo stato metallico come quello in cui i fluidi possono muoversi liberamente mentre sono impediti in altri, non conduttori, come aria molto secca etc. Da queste condizioni Poisson derivava i teoremi sulla distribuzione delle cariche; se, ad esempio, un eccesso di fluido viene comunicato ad un corpo metallico, questa carica si distribuisce sulla superficie formando uno strato il cui spessore dipende dalla curvatura della superficie, e la forza risultante dovuta alla repulsione di tutte le particelle dello strato deve essere nulla in un punto qualsiasi interno del conduttore (ma non sulla superficie), per la condizione di equilibrio precedente. In una memoria del 1813 (*Bulletin de la Société Philomatique*) egli estendeva l'uso dell'equazione di Laplace al caso elettrico. L'equazione di Poisson è:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -4\pi\rho$$

dove $V(x,y,z)$, in analogia con il caso gravitazionale, rappresenta la somma di tutte le cariche del sistema esterno, divise ciascuna per la distanza da quel punto ed ognuna diversa per la sua distanza dal punto in cui la laplaciana si calcola. L'equazione non è più omogenea (cioè eguagliata a zero), come Laplace aveva trovato per il caso gravitazionale, ma dipende dalla

densità ρ della carica elettrica presente nel punto preso in considerazione. Nella stessa memoria Poisson richiamava l'attenzione sul fatto che V è una funzione utile nelle ricerche elettriche e che il suo valore sulla superficie dei conduttori deve essere costante.

Il ricondurre l'elettricità e, come vedremo, il magnetismo sotto l'ala rassicurante del calcolo, darà a queste discipline la dignità scientifica che all'epoca si richiedeva ed aprirà a speculazioni sempre più approfondite e raffinate. Sullo stesso argomento intervennero anche Gauss (1777-1855) nel 1839-1840, Green (*Essay on the Application of Mathematical Analysis to Theory of Electricity and Magnetism*) nel 1828, Mossotti (1791-1863) nel 1847.

Nella sua annunciata memoria sul magnetismo, Poisson si muoveva nel solco aperto da Coulomb e quindi accettava la teoria dei due fluidi magnetici imponderabili che egli però immaginava originati dalla decomposizione di un originario fluido neutro. I due fluidi erano pensati confinati nei loro movimenti alle singole parti costituenti il magnete, non essendo in grado di passare da un elemento a quello *vicino*.

Supponiamo ora che una quantità m del fluido magnetico boreale sia situata nel punto di coordinate (x,y,z) ; le componenti dell'*intensità magnetica* o forza esercitata sull'unità magnetica di un polo, al punto di coordinate (ξ,η,ζ) saranno date da:

$$-m \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{1}{r} \right) \quad -m \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{1}{r} \right) \quad -m \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{1}{r} \right)$$

dove r vale:

$$r = \sqrt{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + (\zeta - z)^2}$$

Se consideriamo ora come *vicino* un elemento di magnete in cui uguali quantità dei due fluidi magnetici sono situate e l'una parallelamente all'altra rispetto all'asse x , le componenti dell'intensità magnetica nel punto (ξ,η,ζ) saranno le derivate negative rispetto a ξ,η e ζ della funzione:

$$A \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{r} \right)$$

dove la quantità A che è indipendente da (ξ,η,ζ) può essere chiamata *momento magnetico* dell'elemento. La grandezza A può essere misurata tramite la coppia di forze richiesta per mantenere l'elemento in equilibrio ad una definita distanza angolare dal meridiano magnetico.

Se lo spostamento dei due fluidi da una parte all'altra nell'elemento non è parallelo all'asse x , si può facilmente trovare che l'espressione corrispondente all'ultima è:

$$A \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{r} \right) + B \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{r} \right) + C \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{r} \right)$$

dove il vettore di componenti (A_x, B_y, C_z) denota il momento magnetico dell'elemento.

In definitiva l'intensità magnetica dovuta ad un magnete in un punto esterno ad esso (ξ,η,ζ) ha per componenti:

$$\left(-\frac{\partial V}{\partial \xi}, -\frac{\partial V}{\partial \eta}, -\frac{\partial V}{\partial \zeta} \right)$$

dove:

$$V = \iiint \left(A \frac{\partial}{\partial x} + B \frac{\partial}{\partial y} + C \frac{\partial}{\partial z} \right) \left(\frac{1}{r} \right) dx dy dz$$

con l'integrale esteso all'intero magnete e dove il vettore $\mathbf{I} = (A_x, B_y, C_z)$ rappresenta il momento magnetico per unità di volume o, come è usualmente chiamato, la *magnetizzazione*. Per parte sua la funzione V era stata chiamata da Green *potenziale magnetico*.

Integrando per parti la precedente espressione del potenziale magnetico Poisson riuscì a scriverlo nella forma:

$$V = \iint \frac{1}{r} (\mathbf{I} \cdot d\mathbf{S}) - \iiint \frac{1}{r} \operatorname{div} \mathbf{I} dx dy dz,$$

dove $(\mathbf{I} \times d\mathbf{S})$ che compare sotto l'integrale doppio è la carica superficiale del magnete data dal prodotto scalare tra i due vettori \mathbf{I} e $d\mathbf{S}$ (elemento orientato di superficie) e dove l'espressione $\operatorname{div} \mathbf{I}$ che compare sotto l'integrale triplo è la *divergenza* del vettore \mathbf{I} , di componenti (A_x, B_y, C_z) , che può anche essere scritta:

$$\operatorname{div} \vec{I} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$$

Nell'espressione precedente che ci fornisce il potenziale V l'integrale doppio è calcolato sulla superficie S del magnete e l'integrale triplo sul suo volume. La relazione trovata per V mostra che l'intensità magnetica prodotta dal corpo nello spazio esterno è la stessa che si avrebbe mediante una fittizia distribuzione di fluido magnetico, costituito da uno strato situato sulla sua superficie, con una carica superficiale $(\mathbf{I} \times d\mathbf{S})$ per elemento dS di superficie, insieme ad una distribuzione volumetrica di densità $-\operatorname{div} \mathbf{I}$ su tutta l'intera sostanza. Queste magnetizzazioni fittizie sono in genere note come *distribuzione equivalente di magnetismo superficiale e volumetrica*.

Poisson si rese comunque conto che in un punto interno ad una piccolissima cavità scavata nel corpo del magnete, il potenziale magnetico ha un piccolo valore indipendente dalla forma e dalle dimensioni della cavità anche se questa tende a zero; ma che questo non è vero per l'intensità magnetica che, anche all'interno di una piccola cavità, dipende dalla forma di essa. Supponendo sferica la piccola cavità egli mostrò che l'intensità magnetica al suo interno è data da:

$$\operatorname{grad} V + \frac{4}{3} \pi i$$

essendo $\operatorname{grad} V$ il vettore che ha come componenti

$$-\frac{\partial V}{\partial x} \quad -\frac{\partial V}{\partial y} \quad -\frac{\partial V}{\partial z}$$

e con \mathbf{I} che indica la magnetizzazione all'interno della cavità.

La memoria di Poisson contiene anche una discussione sul magnetismo temporaneamente indotto nel ferro dolce o in altri metalli magnetizzabili mediante l'avvicinamento di un magnete permanente. Poisson descrisse le proprietà dei magneti temporanei assumendo che essi contenessero in essi nascoste una grande quantità di piccole sfere che sono perfette conduttrici di fluidi magnetici; in tal modo l'intensità magnetica risultante all'interno di ognuna di tali piccole sfere doveva essere zero. Egli mostrò che una tale sfera, sistemata in un campo di intensità magnetica \mathbf{F} , deve acquistare un momento magnetico corrispondente a $(3/4\pi) \cdot \mathbf{F}$ moltiplicato per il volume della sfera, al fine di neutralizzare con la sfera la forza \mathbf{F} . Così che, se k_p denota il volume totale di queste sfere contenuto in un volume del magnete temporaneo, la

magnetizzazione sarà \mathbf{I} , dove:

$$\frac{4}{3} \pi \bar{I} = k_p \cdot F$$

con \mathbf{F} che denota l'intensità magnetica all'interno di una cavità sferica scavata nel magnete. Poiché vi sono sostanze che rispetto alla magnetizzazione temporanea hanno comportamenti diversi, Poisson suppose che k_p doveva variare da sostanza a sostanza. E questa è nota come la

legge di Poisson del magnetismo indotto, legge che sarà ripresa completamente da Maxwell che la riporterà nel suo *Trattato di elettricità e magnetismo* (§ 430, Prima edizione del 1873) con una critica alla definizione del k_p di Poisson, che Maxwell chiamerà *coefficiente magnetico*, e che presentava difficoltà. Al k_p di Poisson, Maxwell preferì un'altra grandezza, successivamente definita da Neumann, che egli chiamerà *coefficiente di magnetizzazione per induzione*.

La terza memoria di Poisson è ancora più complessa con una matematica più avanzata utilizzante le funzioni di Legendre. In tale memoria Poisson riprendeva l'equazione del potenziale da lui stesso ricavata (e che ho fornito precedentemente nel caso elettrico) applicandola a punti interni al magnete e trasformandola con $-2\pi\rho$ per punti sulla superficie del magnete.

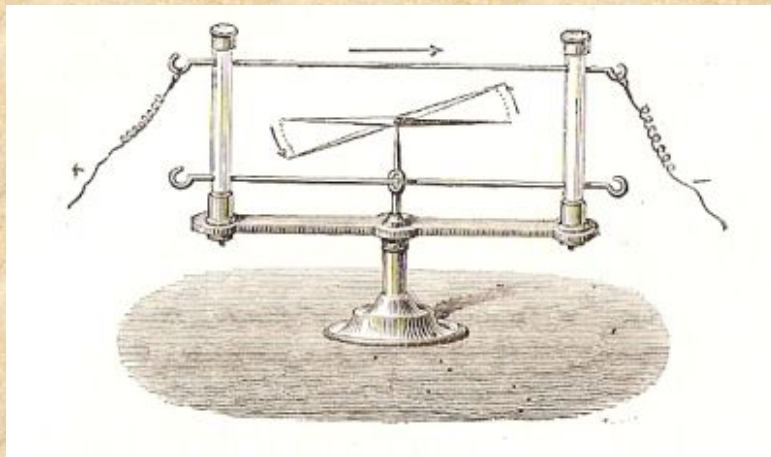
Una breve osservazione è necessaria. La moderna distinzione tra \mathbf{B} (induzione magnetica) ed \mathbf{H} (intensità magnetica), grandezze scritte con simbolismo moderno, discende dai lavori di Poisson che di fatto credeva che il magnetismo fosse, in analogia con il caso elettrico, originato da cariche magnetiche. E queste cariche magnetiche, che da tempo sappiamo non esistere, producono un campo \mathbf{H} in analogia con il campo elettrico \mathbf{E} . Le elaborazioni di Poisson sono comunque corrette nel predire le forze che agiscono tra magneti ed \mathbf{H} e \mathbf{B} risultano dipendenti tra loro [$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$] dove \mathbf{M} è la *magnetizzazione*.

I lavori di Poisson furono generalizzati ed estesi da George Green che basò la sua trattazione sulle proprietà della funzione potenziale, diversamente elaborata da Laplace, Lagrange e Poisson e che Green rappresentò come somma di tutte le cariche elettriche e magnetiche presenti nel campo, divise per la loro distanza da un dato punto.

PRIME INTERPRETAZIONI MICROSCOPICHE: LA MOLECOLA ELETTRODINAMICA DI AMPÈRE

Il magnetismo ritornò in auge per sparire come fenomeno a sé a partire dai lavori di Oersted del 1820. Oersted aveva mostrato una stretta relazione tra fenomeni elettrici e magnetici che avevano spinto Ampère ad indagare la teoria del magnetismo. Mi soffermerò ora solo su come Ampère pensava fosse costituito un magnete, rimandando per la storia dell'intera vicenda, che porterà alla creazione dell'elettromagnetismo ed ai lavori di Faraday, Maxwell, Hetz, Lorentz fino ad Einstein, al [lavoro](#) in cui l'ho trattata diffusamente.

In breve, il rivolgimento del quadro interpretativo newtoniano parte da alcuni lavori realizzati da Oersted. Nel 1820 una esperienza apparentemente innocua realizzata dal fisico danese (il quale vi lavorò per ben 9 anni, guidato dal pregiudizio del 'conflitto di forze' della *Naturphilosophie*) aveva portato un grande scompiglio nella fisica. Per la prima volta, dopo più di 130 anni di rassicuranti azioni 'rettilinee a distanza', veniva evidenziata una azione totalmente differente: un filo conduttore, se disposto parallelamente ad un ago magnetico, vede l'ago ruotare di 90° e disporsi perpendicolarmente al filo, quando in esso viene fatta circolare corrente.



Esperienza di Oersted: l'azione di una corrente elettrica su di un ago magnetico.

Questo tipo di azione si svolge su di un piano perpendicolare alla congiungente filo - ago e consiste in una rotazione dell'ago medesimo risultando, come dice Oersted, 'circolare'. Oersted, nel condurre l'esperienza, muove l'ago nello spazio circostante il filo e si accorge che, se la rotazione avviene in un senso con l'ago disposto sotto il filo, essa avviene in senso opposto se si dispone l'ago sopra il filo. Per Oersted quindi, le forze magnetiche sono distribuite nello spazio che circonda il filo e, data la simmetria degli spostamenti dell'ago, conclude che le forze magnetiche sono costituite da cerchi "poiché è nella natura dei cerchi che movimenti da parti opposte debbano avere opposte direzioni" (oggi diremmo che le linee di forza del campo magnetico intorno ad un filo rettilineo percorso da corrente, sezionando il filo con un piano ad esso perpendicolare, hanno la forma di circonferenze concentriche al filo).

Subito partirono, soprattutto dalla Francia di Ampère, Biot, Savart, ..., studi e ricerche che tentarono di ricondurre quella stessa azione circolare alla Oersted nell'ambito di quelle rettilinee alla Newton. Su questa strada, in tempi brevissimi, si conseguirono risultati di notevole importanza. Arago osservò che un disco di rame in rotazione ha effetti su un ago magnetico; Biot e Savart dimostrarono sperimentalmente che in prossimità di un conduttore rettilineo la 'forza' varia in ragione inversa alla distanza; Arago scoprì che un conduttore avvolto ad elica (solenoid) agisce come un magnete; Arago (e Davy) osservarono la magnetizzazione di limatura di ferro mediante il passaggio di corrente attraverso un conduttore posto nelle vicinanze; Ampère scoprì l'azione elettrodinamica tra correnti, ricavandone una legge elementare dipendente dagli angoli che tali correnti formano tra loro (egli era cosciente del fatto che la legge da lui trovata era discutibile proprio per quella sua dipendenza da angoli e prima di morire lasciò uno scritto in cui sosteneva che il suo scopo di completa riduzione dell'esperienza di Oersted ad azioni di tipo newtoniano sarebbe stato raggiunto quando si fosse trovata una qualche legge elementare tra 'molecole' elettriche dipendente dalla loro velocità; la cosa fu successivamente realizzata da Weber in Germania - e la dipendenza era anche dalle accelerazioni delle molecole - ma tutto questo allontanava sempre di più da un quadro interpretativo newtoniano); sempre Ampère scoprì che una spira percorsa da corrente si comporta come un magnete elementare ed inoltre realizzò svariatissime esperienze con un apparato che ancora oggi porta il suo nome (banco di Ampère); ancora Ampère fornì una teoria del magnetismo riducendo il fenomeno a correnti elementari che costituirebbero le 'molecole' di materia; ...

L'ipotesi riduzionista con cui Ampère iniziò ad avvicinarsi al problema, nella sua prima nota (14) del 18 settembre all'Académie des Sciences di Parigi, quella che vuole il magnetismo come una manifestazione di fenomeni elettrici (*è così che si arriva a questo risultato inatteso, che i fenomeni magnetici sono unicamente prodotti dalla elettricità ...*), non può però prescindere da una «teoria» che vada ad interpretare il magnetismo come, appunto, originato da particolari correnti. Ed allora un magnete, ed in particolare un ago magnetico, viene concepito come circondato da correnti che si avvolgono attorno al suo asse risultando perpendicolari a quest'ultimo. Ecco allora su quali ipotesi Ampère trova la legge di forza tra correnti: il magnete è

pensato come un insieme di correnti elettriche nei piani perpendicolari alla linea che unisce i poli. Questa ipotesi è necessaria ad Ampère, e non accessoria come sembra dalla lettura di qualche testo od articolo, per ricavare l'azione ponderomotrice tra correnti, per rendere conto dell'esperienza di Ørsted e, infine, per ricondurre le «forze in conflitto» all'ordine newtoniano.

In verità questa prima spiegazione che Ampère dà della costituzione elettrica dei magneti sarà rivista criticamente un paio di mesi dopo dallo stesso Ampère. Nella seduta dell'Académie del 15 gennaio 1821 Ampère lesse una memoria⁽¹⁵⁾ in cui compare per la prima volta, a fianco delle correnti macroscopiche che si muovono perpendicolarmente su linee chiuse intorno all'asse del magnete, l'ipotesi delle correnti particellari. Ecco quello che Ampère testualmente sostenne:

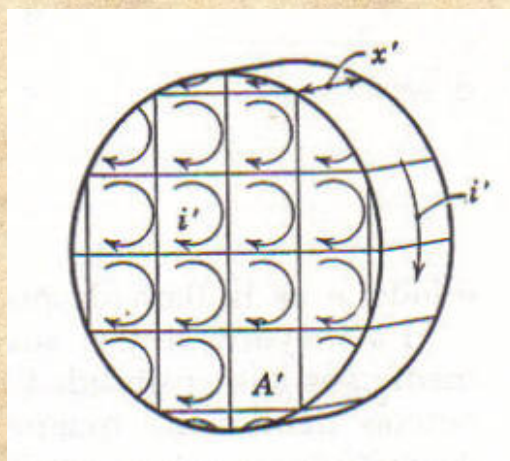
... Si tratta di sapere se le curve chiuse secondo le quali hanno luogo le correnti elettriche che forniscono all'acciaio magnetizzato le proprietà che lo caratterizzano, sono situate concentricamente intorno alla linea che unisce i due poli del magnete, o se queste correnti sono ripartite in tutta la sua massa intorno a ciascuna delle sue particelle, sempre nei piani perpendicolari a questa linea... .

C'era dunque da decidere quale di queste due ipotesi fosse quella corretta. Lo stesso Ampère disse che per fare ciò occorreva attendere *finché dei nuovi calcoli e delle nuove esperienze abbiano fornito tutti i dati necessari alla sua soluzione.*

A questo punto intervenne Agustin Fresnel (1788-1827) con due lettere private ad Ampère per suggerire la soluzione al problema. Fresnel nella prima lettera confrontava, su base sperimentale, le due ipotesi di correnti intorno all'asse del magnete e di correnti intorno a ciascuna molecola ed arrivava alla conclusione che è più verosimile quest'ultima ipotesi. Nella seconda lettera precisava ulteriormente questo concetto sostenendo:

... è facile vedere che, supponendo le correnti di uguale intensità intorno a tutte le particelle che si trovano lungo una barra magnetizzata, l'azione dovrà emanare solo dalla superficie che delimita la barra a ciascuna delle sue estremità, perché le azioni laterali di tutte le particelle costituenti la barra si neutralizzeranno dappertutto tranne che nei lati esterni delle particelle che si trovano alla estremità... .

Riporto, in figura, una sezione di un magnete cilindrico inteso costituito da molecole di Ampère:



L'ipotesi del magnetismo di Ampère

E' da notare che Ampère sviluppò anche una teoria sul magnetismo terrestre basata sul fatto che dovevano esservi delle correnti circolanti da Est ad Ovest sulla Terra.

Da questo punto in poi Ampère userà sempre l'ipotesi di molecola circondata da una corrente

elettrica. Questa molecola elettrodinamica di Ampère è d'importanza fondamentale: è la prima volta che si passa dalla concezione di correnti infinitesime, senza realtà fisica, che servono solo per ricavare relazioni matematiche, a correnti reali, anche se ipotetiche, che circondano le molecole costituenti il magnete. Questa concezione riduzionista di Ampère è in linea con i tempi e risulterà di estrema importanza per gli sviluppi futuri delle teorie sulla costituzione degli atomi e dei magneti.

LA CRITICA DI FARADAY E LA CRISI DEL MECCANICISMO

Ampère ritornerà spesso a difendere la sua teoria della molecola elettrodinamica da contestazioni che gli venivano mosse da più parti. Ogni volta discuteva risultati di nuove esperienze o ideate da lui stesso o da altri. Nel settembre 1821 Michael Faraday (1791 - 1867) in una sua nota⁽¹⁶⁾, negò l'esistenza delle correnti molecolari⁽¹⁷⁾ considerandole alla stregua delle ipotesi «ad hoc»:

« ... M. Ampère non ha una opinione definita sulla grandezza delle correnti elettriche che egli suppone esistere nei magneti perpendicolarmente ai loro assi. In un passaggio della sua Memoria, egli le considera, mi sembra, come aventi i loro centri sull'asse stesso del magnete; ma ciò non può non aver luogo in un magnete cilindrico cavo, a meno che uno non supponga due direzioni opposte (per le correnti), una sulla superficie interna, l'altra sulla superficie esterna. Egli in altra parte avanza (l'ipotesi), io credo, che queste correnti siano infinitamente piccole; sarebbe probabilmente possibile spiegare il caso del più irregolare magnete dando a ciascuna di queste piccole correnti la direzione richiesta dalla teoria...».

A queste obiezioni di Faraday Ampère rispondeva indirettamente in una lettera al Sig. Van Beck⁽¹⁸⁾ riaffermando la sua teoria della molecola elettrodinamica ed arricchendola di interessanti considerazioni teoriche. In questa lettera Ampère sosteneva:

« ... Ho trovato... molte altre prove della disposizione delle correnti elettriche intorno a tutte le particelle dei magneti; diverse circostanze si spiegano meglio quando si considerino le cose in questo modo e si ammetta che le correnti esistono nei metalli suscettibili di magnetismo prima della magnetizzazione, e forse in tutti gli altri corpi, ma che esse non possono esercitare azione, se non ricevono una direzione determinata sia da un altro magnete, sia da una corrente voltaica...».

Nel febbraio del 1822 Faraday, in una lettera ad Ampère⁽¹⁹⁾ scriveva:

« ... Mi dispiace che la mia carenza nella conoscenza matematica mi renda tardo nel comprendere queste argomentazioni⁽²⁰⁾. Sono per natura scettico in materia di teorie e quindi lei non deve essere adirato con me perché io non ammetto quella che lei ha avanzato immediatamente con la sua ingegnosità e le cui applicazioni sono stupefacenti ed esatte, ma non riesco a comprendere come le correnti si producano e particolarmente se si suppone che esse esistano intorno a ciascun atomo o particella ed attendo ulteriori prove della loro esistenza prima di ammetterle definitivamente... ».

La corrispondenza Faraday-Ampère andrà avanti ancora per una decina di anni: anni cruciali che vedranno nascere ed affermarsi, ad opera di Faraday, la teoria di campo.

Siamo arrivati ad un punto che in qualche modo rappresenta una transizione tra il mondo newtoniano ed un modo diverso di studiare e comprendere il mondo circostante. Si apre qui un ventaglio di possibili ricerche che avranno esiti imprevedibili. Resterà comunque di grande interesse la comprensione della struttura dei materiali con comportamenti magnetici che via via mostreranno una grande complessità interpretativa. Tutto questo lo discuterò nel prossimo articolo.

SEGUE

NOTE

(1) La trascrizione delle parole greche risulterà in gran parte priva di accenti e spiriti perché il computer non mi permette queste opzioni. Osservo che la questione del nome *magnete* è raccontata in modo fantastico da Plinio il Vecchio (23-79 d.C.) nelle sue "*Naturalis Historiae*". Egli narra che il nome Magnete proviene dal pastore cretese di nome "*Magnes*" il quale adoperando il suo bastone con la punta di ferro, scoprì la proprietà di attrazione e repulsione di alcune pietre che furono chiamate magnetiche. Addirittura, passando con il suo gregge su di una collina con tali proprietà, gli si sfilarono i chiodi che tenevano insieme le sue scarpe ed il terminale in ferro del suo bastone che restarono attaccati al suolo. Plinio arriva a distinguere tra magneti maschi e magneti femmine sembrando evidente il riferimento alle proprietà dei poli di attrarsi o respingersi. Varie altre sono le storie che si raccontano senza però il sostegno documentale che si richiede da chi cerca di fare storia. Tra queste leggende vi sarebbe anche Archimede che cercò di utilizzare le proprietà di induzione magnetica, magnetizzando le spade dei soldati di Siracusa per disarmare più facilmente i soldati di Roma.

(2) Si sa per certo che i cinesi, nel VII secolo, abbiano viaggiato da Canton all'Eufrate, viaggio che appare impossibile senza l'uso della bussola. Verso il 1190 Guyot de Provins descrive una bussola (di quelle a galleggiamento dell'ago magnetico) usata dai cinesi nel 1111.

(3) Il fatto che quella di Flavio Gioia fosse una leggenda fu stabilito in un Congresso di Storia che si tenne a Roma nel 1903.

Si noti che non fu data in Italia soverchia importanza alla bussola almeno fino al XV secolo per il fatto straordinario che essa era ritenuta uno strumento della magia nera.

Per parte sua il cardinale di Cusa (Niccolò Cusano) assegnava a questa "azione a distanza" proprietà mistiche che diventavano teologiche. Marsilio Ficino, alla pari di Talete, assegnava un'anima al magnete. Fracastoro individuava una simpatia tra affini. Cardano la rivelazione della vita nell'inerte mondo minerale. Gli occultisti, come Agrippa, individuavano nel magnetismo la presenza di potenze misteriose, di spiriti, ...

(4) Anche Brunetto Latini, nel suo *Tesoro* del 1260/1266, parla della bussola. Osservo che una sospensione alla Cardano era già nota tra i meccanici alessandrini, particolarmente in Filone.

(5) Altri autori che scrissero sulla bussola all'epoca furono: Vincenzo di Beauvais e Alberto Magno. Dall'osservazione che i due scrissero sotto l'influenza di Gherardo da Cremona che era stato uno dei massimi traduttori di scritti dall'arabo tra cui il Libro del tesoro dei mercanti sopra la conoscenza delle pietre (di Baylak al-Qabagaqi del 1292) nel quale vi è la prima descrizione nota della bussola per navigazione (un sughero galleggiante con infilzato un ago di ferro magnetizzato per induzione).

(6) Lucera dei Pagani, in provincia di Foggia.

(7) Tra il secolo XV ed il XVII vi furono molti perfezionamenti legati alla navigazione e particolarmente agli strumenti della navigazione, con particolare riferimento alla bussola.

Già nel viaggio verso le Indie Colombo di rese conto di un fenomeno già osservato in terra da costruttori di meridiani solari (e certamente noto ai marinai che erano molto più interessati alla cosa), la *declinazione magnetica* (l'angolo formato dal meridiano magnetico con quello geografico nel luogo d'osservazione, angolo che varia proprio da luogo a luogo e rende complessa l'individuazione del Nord). Il fenomeno era certamente noto perché verso la metà del XV sec. a Norimberga venivano fabbricati dei quadranti solari portatili, che si orientavano mediante l'uso di una bussola e sui quali erano segnate le correzioni dovute alla declinazione. Colombo ebbe modo di notare queste variazioni ed addirittura l'inversione delle correzioni che si conoscevano, poiché nella sua rotta aveva attraversato l'Equatore. Gliozzi osserva che la vicenda delle declinazione non fu osservata dall'ottimo sperimentatore Pierre de Maricourt solo perché all'epoca non doveva esistere in Italia. Infatti, e la cosa fu scoperta dopo lunghe osservazioni in un medesimo luogo da Henry Gellibrand nel 1634, la declinazione magnetica varia anche nel tempo in un medesimo luogo. Ignorando quest'ultimo fatto i navigatori credettero fino a tutto il XVIII secolo di aver risolto con la conoscenza della declinazione magnetica in ogni luogo il problema della determinazione della longitudine di quel luogo. Da questa credenza totalmente errata fu elaborata la prima carta magnetica da parte del missionario gesuita Cristoforo Borri e pubblicata nell'opera perduta *De arte navigandi*. Noi conosciamo tale carta perché riportata da A. Kircher nella sua *Magnes sive de Arte Magnetica* del 1643. La prima carta magnetica in originale che conosciamo è quella redatta dal famoso astronomo inglese Edmund Halley nel 1701.

Come già detto nel testo, G. Hartmann (1544) e poi, più correttamente, R. Normand (*The New Attractive*, 1576), scoprirono l'inclinazione magnetica, sospendendo un ago magnetico a un asse orizzontale passante per il suo centro di gravità, si accorsero che l'ago punta, con vari angoli, a seconda del luogo, verso il suolo. Inventarono quindi la bussola a inclinazione. Norman, in particolare, descrisse le caratteristiche della magnetite e dimostrò che il polo nord magnetico non è un punto; arrivò a verificare tale ipotesi prendendo un ago magnetico e lasciandolo sospeso sulla superficie di un liquido, libero di muoversi; poiché si orientava dovevano esserci due forze a farlo ruotare e ciò voleva dire che dovevano esservi due poli. È doveroso notare che questa scoperta richiede osservazioni molto accurate poiché la piccola inclinazione che subisce l'ago in una normale bussola può essere facilmente attribuita ad una dissimmetria della sospensione dell'ago sul suo asse. Per osservare con precisione il fenomeno occorre avere un ago non magnetizzato e sospenderlo sull'asse orizzontale in modo che risulti perfettamente in equilibrio. A questo punto si magnetizza e si osserva l'angolo di inclinazione che è comunque piccolo (intorno ai 10°).

(8) Il sunto dell'opera di Garzoni è tratto da [Wikipedia](#).

(9) Mary B. Hesse ricorda molte delle analogie cui fa espressamente riferimento Gilbert in apertura del suo lavoro. Non si pensi però di trovare le analogie della fisica ottocentesca. Riporto il brano di Hesse che riporta le analogie di Gilbert:

Gilbert inizia compendiando le opinioni degli antichi e dei suoi predecessori immediati, gli autori del Rinascimento, a proposito delle qualità attrattive dei corpi elettrici e della magnetite. Egli cita varie similitudini per l'attrazione: negli inni orfici si dice che "il ferro è attratto dalla magnetite come dalle braccia dello sposo è attratta la sposa"; Aristotele pensava che la calamita fosse animata; tra gli autori del Rinascimento, Marsilio Ficino, Paracelso e altri attribuiscono il magnetismo al potere delle stelle e in particolare le proprietà della bussola alle stelle che sono in prossimità del polo celeste, "nello stesso modo in cui talune piante seguono il sole, come fa l'eliotropio"; Cornelio Gemma ritiene che la magnetite attragga per mezzo di raggi insensibili, "alla quale opinione egli aggiunge una storia di un pesce

succhiatore e un'altra su un'antilope"; Giambattista Porta parla di una lotta, nella magnetite, tra il ferro e la pietra: "il ferro, che potrebbe non essere soggiogato dalla pietra, desidera la forza e la compagnia del ferro, che non essendo in grado di resistere da solo, può riuscire a difendersi se riceve un aiuto maggiore"; così la magnetite attrae il ferro o un altro pezzo di magnetite a causa del suo ferro, mentre non attrae le pietre prive di ferro. Cardano spiega l'attrazione dell'ambra come quella di una sostanza secca imbevuta di un umore untuoso, ma Gilbert gli obietta che non c'è un accrescimento nell'ambra né una diminuzione nel corpo attratto. Altri autori parlano semplicemente di un'attrazione derivante dalla "natura essenziale" della magnetite, affermando che essa muove il ferro verso la sua "perfezione" come i corpi si muovono verso la terra, e asserendo che "il ferro è trasportato da una brama miracolosa ... a unirsi col proprio principio." Gilbert ha qualche rispetto per l'opinione di Tommaso d'Aquino, il quale suggerisce che la magnetite dia una certa qualità al ferro. "Col suo divino e chiaro intelletto," dice Gilbert, "egli ci avrebbe insegnato molto di più se avesse avuto pratica di esperimenti magnetici" [davanti alla fede si perde la ragione, ndr].

Gilbert oppone alla teoria tradizionale dell'attrazione del simile per il simile le obiezioni ovvie. Non è vero che il simile attragga il simile, "come la pietra la pietra, la carne la carne né qualsiasi altra cosa al di fuori della classe del magnetismo e dell'elettricità." D'altra parte, tutti i tipi di corpi sono attratti dall'ambra. È vero che la magnetite attrae la magnetite e che il ferro eccitato attrae il ferro, ma è erroneo ricorrere a questi fenomeni, come fanno alcuni medici, per dimostrare la validità della teoria di Galeno secondo cui i purganti e i medicinali usati per tirare fuori i veleni agiscono in virtù della somiglianza tra sostanze. L'azione dei farmaci è del tutto diversa da quella dei corpi magnetici.

Gilbert dedica però la massima attenzione alle spiegazioni meccanicistiche dei Greci. Egli è in disaccordo nei loro confronti ma ritiene che siano degni di una confutazione esplicita, talvolta per mezzo di esperimenti progettati con accuratezza. Egli cita la teoria degli ippocratici secondo cui l'attrazione avrebbe luogo a opera del calore e dimostra sperimentalmente che non ha alcun fondamento. Se ci si limita a riscaldare l'ambra col fuoco, o se addirittura le si fa prender fuoco, essa non attrae pagliuzze, ma le attrae soltanto se viene strofinata. Molti altri corpi non attraggono affatto, né quando vengano riscaldati dal fuoco né quando siano strofinati, benché una fiaccola accesa o un ferro o un carbone incandescenti attraggano e consumino aria. L'attrazione delle coppette mediche non è dovuta al calore ma alla rarefazione dell'aria all'interno di esse. Né il sole attrae umori dalla terra, limitandosi invece a rarefarli e a convertirli in aria, la quale si solleva al di sopra dell'aria circostante, più densa. Inoltre varie teorie atomistiche implicano che le attrazioni elettriche e magnetiche abbiano luogo mediante il moto dell'aria e l'aspirazione che ne risulta. Nel caso del magnetismo, Gilbert rifiuta questa spiegazione dimostrando che nulla di corporeo passa tra il magnete e il ferro; e nel caso dell'attrazione elettrica la confuta ricorrendo a un esperimento con una fiamma di candela, la quale non è disturbata dalla presenza di un pezzo d'ambra dotato di un forte potere attrattivo, come avverrebbe invece se l'ambra producesse una forte corrente d'aria. Plutarco e altri avevano suggerito che l'ambra emette un sottile effluvio che rarefa l'atmosfera nelle sue vicinanze, cosicché altri corpi sono spinti verso di essa dall'aria più densa. Gilbert obietta però che in questo caso ci si dovrebbe attendere il trascorrere di un po' di tempo prima dell'inizio del moto, e che questo dovrebbe rallentare al diminuire della distanza tra i corpi, che un corpo non sarebbe attratto verso l'alto da questa forza e che il potere di attrarre scomparirebbe ben presto dopo lo strofinamento. Nessuno di questi effetti è stato osservato: il moto comincia subito, è più rapido quanto più i corpi sono reciprocamente vicini e un corpo elettrizzato conserva per molto tempo dopo essere stato strofinato il potere di attrarre corpi leggeri. Infine, egli dice, "lasciamo ai tarli e ai vermi" le opinioni degli aristotelici che attribuiscono il magnetismo "ai quattro elementi e alle qualità prime."

L'esposizione che Gilbert fa delle teorie dei suoi predecessori indica la varietà di

argomentazioni che era corrente all'inizio del secolo, e i suoi propri commenti in proposito sono buoni esempi del metodo di ipotesi e sperimentazione che si sarebbe imposto ben presto. Le teorie da lui suggerite attestano la stessa accurata attenzione all'esperimento e dimostrano ugualmente che non era ancora giunto il tempo di mutamenti radicali nel tipo di ipotesi; egli continua infatti a spiegare l'attrazione elettrica in termini di effluvi e di una tendenza naturale di tutte le cose a unirsi, e il magnetismo in categorie animistiche ancora più antiche.

Dimostrato che l'attrazione elettrica non è dovuta al moto dell'aria, Gilbert asserisce che qualcosa deve nondimeno passare tra i corpi, e parla in proposito di un "respiro" emanante dal corpo che esercita l'attrazione; questo respiro raggiunge un corpo che si [trovi all'interno del raggio d'azione degli effluvi e unisce i due. La tendenza naturale di tutte le cose a unirsi è un principio da lui attribuito a Pitagora, e pare che secondo lui sia questa una spiegazione sufficiente della coesione tra corpi e del moto verso un corpo dotato del potere di attrarre, una volta che i suoi effluvi [vengono percepiti. Ma tra gli effluvi dev'esserci un contatto reale: "Poiché, dal momento che nessuna azione può aver luogo per mezzo di materia se non attraverso un contatto, se questi corpi elettrici non si toccano, è inevitabile che qualcosa passi dall'uno l'altro, qualcosa che possa esercitare uno stretto contatto ed essere l'inizio di tale eccitazione.

(10) E' solo un mio sospetto ma lo riporto lo stesso. Probabilmente influì in Galileo la conoscenza e l'ammirazione per Bruno che aveva Gilbert. Non occorre dimenticare che Galileo lavorava vicino allo Stato della Chiesa in una Italia che viveva già sotto il terrore della repressione dell'Inquisizione.

(11) Si veda l'Edizione Nazionale delle opere di Galileo, pagg. 426-441.

(12) Non farò un discorso lungo, anche se la cosa lo meriterebbe, ma devo almeno accennare allo sciovinismo degli storici francesi che assegnano a Descartes ogni merito nella rivoluzione scientifica dell'età barocca (in proposito rimando ad un mio articolo che si può trovare nel sito: [Alcuni elementi di giudizio su Galileo](#)). E' davvero insopportabile leggere queste cose e vedersi spacciare Descartes come il padre del razionalismo. Io non concordo in alcun modo. A parte il suo essere un bigotto conservatore, Descartes orecchia qua e là (senne) e non ne azzecca una nell'ambito della Filosofia della natura. Si cerchino divagazioni fantasiose come quelle che propongo nel testo in Galileo, si cerchi ad esempio una qualche influenza divina nei fatti naturali. Non si troverà nulla! Ciò che dispiace è che i filosofi che seguirono, in nome di Galileo, tradirono di molto il suo spirito. Solo in Huygens si ritroverà un vero galileiano, lo stesso Newton (anch'egli mago, bigotto ed alchimista) metterà Dio all'interno del mondo a regolare il moto dei pianeti con *spintarelle* adeguate quando qualcuno di essi ne avesse avuto bisogno.

(13) Le prime due memorie di Coulomb sull'elettricità e magnetismo sono pubblicate in italiano all'indirizzo: <http://www.fisicamente.net/FISICA/index-1096.htm>. Tutte le memorie di Coulomb si possono trovare in francese al link <http://cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?8CA121-1/1/100/416/79/316>

(14) *Annales de Chimie et de Physique* (2), t. XV, p. 71; 1820.

(15) In una memoria letta all'Académie des Sciences l'8 ed il 15 gennaio 1821 ed inedita. Un resoconto di quanto Ampère aveva letto all'Académie, in questa seduta ed in altre precedenti, fu pubblicato in un articolo inserito negli *Annales des Mines*, t. V, p. 535-558 e riprodotto nella *Recueil d'Observations électrodynamiques*, p. 69-70.

(16) *Memoria sui moti elettromagnetici e la teoria del magnetismo in Quarterly Journal of Science*, etc t. XII, Londra, 1822. p. 76 (la nota porta la data dell'11 settembre 1821).

(17) In base a considerazioni su esperienze che dimostravano alcune differenze tra un magnete ed un solenoide percorso da corrente (nel magnete i poli non sono esattamente alle estremità come nel solenoide; il polo di un magnete attira il polo opposto di un ago magnetico in tutte le posizioni e direzioni mentre per un solenoide ed un ago vi sono delle deviazioni essendovi repulsione per una particolare posizione relativa di solenoide ed ago nella quale il polo dell'ago sarebbe invece attratto da un magnete; i poli dello stesso tipo di un magnete, pur respingendosi a distanza, si attirano quando sono a contatto fatto questo che non si verifica per i solenoidi in cui c'è sempre repulsione tra poli dello stesso tipo).

(18) *Réponse a la lettre de M. Von Beck, sur une nouvelle expérience électromagnétique*, in *Journal de Physique*, t. XCIII, p. 447 - Ottobre 1821.

(19) Vedi: *The Selected Correspondence of Michael Faraday*, Volume 1: 1812-1848, pag. 130.

(20) Di carattere matematico e relative alla spiegazione teorica che Ampère dava dell'esperimento della rotazione del magnete in sostegno alla sua teoria della molecola elettrodinamica.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Pierre Weiss, Gabriel Foex - *Le magnétisme* - Libraire Armand Colin, Paris 1926
- 2) Francis Bitter - *Vita coi magneti* - Einaudi 1960
- 3) U. Eco, G. B. Zorzoli (a cura di) - *Storia figurata delle invenzioni* - Bompiani 1961
- 4) E. Whittaker - *A History of the Theories of Aether and Electricity* - Thomas Nelson & Sons 1951/1953
- 5) Maurice Daumas (a cura di) - *Storia della scienza: le scienze del mondo fisico* - Laterza 1976
- 6) Mario Gliozzi, Michele Giua - *Storia delle scienze (Vol. II)* - UTET 1965
- 7) Antonio Favaro (a cura di) - *Edizione Nazionale delle Opere di Galileo Galilei (20 voll.)*, Giunti Barbera, 1890-1909; ristampa 1968
- 8) E. J. Dijksterhuis - *Il meccanicismo e l'immagine del mondo* - Feltrinelli 1971
- 9) U. Forti - *Storia della scienza* - Dall'Oglio 1968
- 10) R. Pitoni - *Storia della fisica* - Società Tipografico Editrice Nazionale 1913
- 11) Juan Vernet - *Lo que Europa debe al Islam de España* - El Acantilado, Barcelona 1999.
- 12) Gilbert, Galileo, Hervey - *Opere* - Emcyclopaedia Britannica, 1952
- 13) *The Selected Correspondence of Michael Faraday* a cura di Percy Williams - 1971 - Cambridge University Press

[Torna alla pagina principale](#)

