

C. Olivotto, *Misure di elettricità e campo magnetico a bordo di palloni aerostatici (1803-1875)*, Atti del XXV Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia, Milano, 10-12 novembre 2005, (Milano: SISFA, 2008): C29.1-C29.6.

MISURE DI ELETTRICITÀ E CAMPO MAGNETICO A BORDO DI PALLONI AEROSTATICI (1803-1875)

CRISTINA OLIVOTTO
*Istituto di Fisica Generale Applicata
Università degli Studi di Milano*

1. I PALLONI AEROSTATICI COME STRUMENTO DI INDAGINE SCIENTIFICA

Forse che le onde dell'oceano aereo, con le loro spiagge senza nome, non contengono migliaia di scoperte, da sviluppare da chimici, meteorologi, fisici? Non è oramai più necessario giustificare il tentativo di far diventare il pallone uno strumento scientifico! Non più solo oggetto da esibire... (James Glaisher, Voyages aeriens, 1871)

Dalla prima storica impresa del 5 giugno 1783 a opera dei fratelli Montgolfier, le ascensioni in pallone aerostatico divennero già dai primi anni del XIX secolo parte della vita quotidiana dei cittadini europei. Già da molto tempo gli scienziati che si occupavano di meteorologia utilizzavano sistematicamente barometri, igrometri e termometri per misurare le variabili atmosferiche, ma tali misurazioni avevano un'ovvia limitazione: erano effettuate a terra. Nonostante le ardimentose imprese di alcuni scienziati che scalarono alte vette per compiere esperimenti in quota, cresceva la necessità di studiare le variabili atmosferiche e alcuni fenomeni fisici da un punto d'osservazione nuovo, lo spazio aereo. L'avvento dei palloni aerostatici fu la risposta all'esigenza degli scienziati di esplorare un mondo in cui la terza dimensione, l'altezza, non fosse loro preclusa. Per tutto il XIX secolo gli esperimenti condotti su palloni riguardarono lo studio di variabili atmosferiche quali pressione, temperatura, umidità dell'aria; l'analisi chimica di campioni d'aria, l'osservazione di spettri solari, gli effetti sull'organismo umano e animale della rarefazione dell'aria, lo studio del campo magnetico terrestre e dello stato elettrico dell'atmosfera, su cui il nostro lavoro è focalizzato. Gli aeronauti che nel periodo preso in esame si dedicarono alla misure di campo magnetico e/o elettrico furono, in ordine cronologico: Etienne Gaspard Robertson (1763-1837), Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) e Jean Baptiste Biot (1774-1862), James Glaisher (1809-1903), Gaston Tissandier (1843-1899).

2. IL CONTESTO SCIENTIFICO

La nascita della fisica-chimica, gli studi sull'elettricità e sul magnetismo furono oggetto

di grande interesse da parte della scuola francese capeggiata da Laplace nei primi due decenni del XIX secolo che accolse con favore l'utilizzo dei palloni come strumento di indagine scientifica. In Inghilterra bisognò aspettare la metà del XIX secolo affinché l'uso dei palloni riuscisse a collocarsi in un contesto scientifico capace di sfruttarne le potenzialità, vincendo i pregiudizi delle *élites* scientifiche britanniche su uno strumento che i ciarlatani avevano fatto proprio fin dagli esordi. Secondo M. Fulgence, autore di un libro sugli aerostati, l'Inghilterra fu la nazione in cui la conquista dei cieli fu principalmente motivata dalla ricaduta pratica e scientifica che essa avrebbe avuto, aldilà del suo lato spettacolare che anzi ne era un aspetto negativo. Nel luglio del 1852, la commissione del *Kew Observatory* decise di finanziare una serie di voli in pallone a scopi prevalentemente meteorologici e la risoluzione fu approvata dalla *British Association for the Advancement of Science*; il protagonista dell'epopea inglese fu James Glaisher. Successivamente alla morte di Glaisher la Francia tornò a essere la protagonista della scienza aerea, motivata invero da intenti più avventurieri che scientifici rispetto al periodo laplaciano. In altre nazioni dove si organizzarono voli a scopi scientifici, come la Russia e l'Italia, essi non furono supportati da programmi di ricerca altrettanto strutturati. In Italia, per esempio, Carlo Brioschi e Pasquale Andreoli furono considerati i primi aeronauti scientifici italiani ma gli obiettivi che si proposero erano invero di basso profilo (misure termometriche e barometriche) rispetto ai colleghi d'Oltralpe. In generale l'esplorazione degli spazi aerei e gli studi riguardanti l'atmosfera terrestre, il campo geomagnetico, le maree, i venti e il clima si svilupparono a partire dal XVIII secolo in concomitanza con l'esplorazione sempre più massiccia di terre sconosciute: i tempi erano maturi per una conoscenza globale del globo terrestre e dei suoi fenomeni. I palloni aerostatici si inserirono in questo progetto globale di esplorazione e in particolare di esplorazione magnetica e meteorologica.

3. LE MISURE MAGNETICHE

Le variabili del campo magnetico di cui studiare l'eventuale variazione in funzione della quota erano la declinazione magnetica, l'inclinazione magnetica e l'intensità della componente orizzontale. La strumentazione per compiere tali osservazioni era piuttosto semplice: con un orologio bisognava misurare il tempo impiegato da un ago libero per compiere un'oscillazione nel piano del meridiano magnetico. Poiché l'intensità del campo magnetico è inversamente proporzionale alla radice quadrata del periodo di oscillazione, era possibile confrontare i valori relativi del campo magnetico a quota nulla rispetto a quelli su pallone. Nel rendiconto che E. G. Robertson fece del suo primo viaggio in pallone, lo scienziato riportò le misure relative alle oscillazioni di un ago d'inclinazione nel piano del meridiano magnetico. All'aumentare dell'altezza egli misurò un aumento sensibile del periodo di oscillazione intorno alla posizione di equilibrio di 42° , cioè una diminuzione dell'intensità del campo. Nel secondo viaggio E. Robertson con M. Sacharof (gennaio 1804), gli esperimenti non furono condotti in modo sistematico e i risultati maggiori consistettero nella raccolta di campioni di atmosfera e osservazioni sull'elettricità atmosferica. In seguito al danneggiamento dell'ago magnetico i risultati non furono ritenuti affidabili. Il viaggio di J. B. Biot e J. L. Gay-Lussac si propose di verificare le misure magnetiche fatte da E. G. Robertson ritenute dubbie da Laplace. Nei due accurati rendiconti fatti dai due scienziati appare chiaro come il contesto scientifico e gli obiettivi dell'impresa dei due discepoli di Laplace siano estremamente più seri rispetto ai voli effettuati da Robertson. Lo strumento utilizzato fu un ago magnetico sospeso ad un filo di seta, che, se distolto dalla posizione d'equilibrio,

oscillava. Durante il primo viaggio, la misura magnetica fu inizialmente ostacolata dai movimenti rotatori del pallone, benchè si potè comunque verificare che le proprietà magnetiche dell'ago non si erano annullate. Successivamente, all'altezza di circa 4 km con 10 misurazioni i due scienziati riuscirono a stabilire che il periodo di oscillazione del magnete era il medesimo che a terra, cioè l'intensità della componente orizzontale del campo magnetico era inalterata. Riguardo alla misura dell'intensità della componente verticale, essi ritennero di non potere dire nulla di certo sulla sua variazione a causa della difficoltà della misura, ma credettero che essa non fosse alterata, così come quella orizzontale non lo era. Anche la misura della declinazione magnetica era tra gli obiettivi del viaggio, ma il poco tempo a disposizione non permise a Biot e Gay-Lussac di effettuare alcun tipo di misura. Durante il secondo viaggio, giunto a un'altezza di 3032 m, Gay-Lussac cominciò a far oscillare l'ago magnetico riuscendo a ottenere fino a 40 oscillazioni. In oltre dieci misure giunse alla conclusione che il campo magnetico non subiva variazioni dovute all'altezza perché, al più, le misure mostravano che il campo magnetico si rafforzava leggermente crescendo con l'altezza, cosa non ritenuta possibile. Per quando riguarda la misura dell'inclinazione magnetica, a 3863 m, Gay-Lussac misurò, calcolando la media su più oscillazioni, un valore esattamente pari a quello di terra. Pur ammettendo che non fu in grado di ripetere la misura a causa di una brezza fastidiosa, Gay-Lussac affermò di poter fare sufficiente affidamento anche su questa singola misura. I disturbi causati dal vento gli impedirono di fare misure di declinazione, come invece aveva previsto. Nella sua relazione, Gay-Lussac notò come la componente orizzontale della forza magnetica dipendesse dall'intensità e dalla direzione del vettore campo magnetico, essendo proporzionale al coseno dell'angolo d'inclinazione. Stabilito che la componente orizzontale non varia si può assumere che non cambi nemmeno l'intensità e la direzione del campo magnetico, a meno che essa vari esattamente nella componente verticale, cosa poco probabile. Cinquant'anni dopo il volo di Gay-Lussac, i cui risultati furono ritenuti assai affidabili rispetto a quelli di Robertson, J. Glaisher compì nuovamente misure dell'intensità del campo magnetico a bordo di un pallone. In quattro dei suoi numerosi voli, compì misure prima a terra e poi su pallone a medie altezze da cui dedusse che il magnete oscillava più lentamente rispetto alla terra ma, considerato l'esiguo numero di esperimenti, non giunse a nessuna conclusione certa. La difficoltà di compiere osservazioni magnetiche a bordo di palloni poco stabili fu la causa principale che spinse ad abbandonare misure di questo tipo. L'autorevolezza dei risultati ottenuti da Gay-Lussac e Bio contribuì a ritenere inutili ulteriori indagini. In effetti, poiché il campo magnetico terrestre corrisponde approssimativamente al campo generato da un dipolo magnetico, il valore del campo magnetico radiale e trasversale è inversamente proporzionale al cubo del raggio. Il rapporto tra il valore del campo a un'altezza A rispetto a quello a terra, cioè $r = R = 6000$ km, risulta essere R^3/A^3 , cioè, considerando $A = R + h$ con $h/R \ll 1$, pari a $1 - 3h/R = 1 - h/2000$, che per le altezze raggiunte dagli aeronauti ottocenteschi (al più una decina di chilometri) risulta in una diminuzione di meno di una parte su cento, cioè tale da poter ritenere il campo magnetico terrestre costante in altezza.

4. LE MISURE ELETTRICHE

A partire dal XVIII secolo le misure della carica elettrica atmosferica suscitarono grande interesse tanto da potere parlare nell'Ottocento di un vero e proprio settore della meteorologia, la meteorologia elettrica. La gran parte delle misure erano compiute a terra con strumenti sempre più sofisticati alla ricerca di una correlazione tra i valori

misurati e l'umidità dell'aria, il periodo della giornata e dell'anno, le condizioni meteorologiche. La possibilità di utilizzare aerostati per conoscere la dipendenza della carica elettrica dall'altitudine fu esplorata dalla maggior parte degli aeronauti tanto da poter affermare che l'elettroscopio era uno degli strumenti portati in voli frequentemente quanto un igrometro. Il vetro, la ceralacca e lo zolfo che Robertson aveva portato a bordo, dopo essere stati sfregati, non erano in grado di trasferire alcuna carica all'elettrometro. Come giustamente intuì Robertson, il motivo era da addursi al fatto che il pallone era un sistema isolato senza una messa a terra. Per riuscire a compiere delle misure Robertson fissò all'elettrometro a foglie d'oro di Volta un filo d'oro di circa 120 m, sospeso alla navicella. L'intero apparato era in grado di fornire un'indicazione dello stato elettrico dell'atmosfera ma anche della sua natura vetrosa o resinosa, appoggiando ad esso una bacchetta di ceralacca elettrizzata per strofinio. Le foglie dell'elettrometro iniziarono a divergere, cioè a segnalare la presenza di carica elettrica, quando il pallone scese a circa 3 km d'altezza (la spiegazione sta presumibilmente nel fatto che il filo di metallo si pone a potenziali diversi e il sistema pallone assume il potenziale di riferimento. Nel caso invece in cui tutto il sistema (filo e pallone) rimane in quota è allo stesso potenziale e nessuna carica si può accumulare). All'aumentare dell'altezza le foglioline d'oro dell'elettroscopio divergevano sempre più e confrontando con i valori a terra, Robertson stabilì che la carica atmosferica era circa 3 volte maggiore di quella a terra ed era di tipo vetroso (cioè carica positiva). Robertson portò con sé anche una pila voltaica, costituita da 60 dischi di argento e zinco. A terra essa faceva subire una deviazione di un grado all'elettrometro; a grandi altitudini, la variazione si riduceva a solo a un quinto di grado, con grande sorpresa dello stesso Robertson. Durante il viaggio con Sacharof l'unica osservazione fatta fu quella di osservare che la ceralacca si elettrizzava notevolmente se strofinata con un panno. Anche Biot e Gay-Lussac si cimentarono nella misura della differenza di potenziale ("differenza d'elettricità") tra i diversi strati dell'atmosfera. A questo scopo, furono portati sul pallone fili metallici di lunghezza da 20 cm a 1 m sospesi alla navicella e collegati a un piccolo elettroforo caricato molto debolmente prima della partenza. Il risultato ottenuto fu che l'aria sembrava essere caricata più negativamente al crescere dell'altezza. Il funzionamento della pila di Volta costruita con 20 dischi di rame e altrettanti di zinco non mostrò un comportamento differente rispetto a terra. Altrettanto insoddisfacenti furono le misure di Glaisher che durante un volo (luglio 1862), utilizzò un elettrometro con cui misurò cariche positive nell'atmosfera che diminuivano al crescere dell'altitudine (tra i 4 e i 7 km). Glaisher però ritenne insufficienti queste misure per trarne alcuna conclusione, nonostante confidasse nella loro correttezza. Anche Tissandier insieme a Sivel e Croce-Spinelli cercò di fare misure di carica elettrica correlate al momento della giornata ma senza alcun risultato significativo. Perfino nella limitata esperienza italiana, durante la Quinta Riunione degli Scienziati Italiani riunitasi a Lucca nel 1844, all'aeronauta Orlandi venne richiesto di utilizzare un elettroscopio durante un volo in pallone da svolgersi in una nube temporalesca per determinarne la carica. Per tutto il XIX secolo la causa dello stato elettrico dell'atmosfera rimase un mistero e le uniche informazioni che si trassero dalle misure dello stato elettrico dell'atmosfera in pallone furono l'esistenza di una differenza di potenziale tra la terra e gli stati alti dell'atmosfera.

CONCLUSIONI

La scienza aerostatica nel periodo compreso tra il 1783 e il volo fatale di Sivel e Croce-Spinelli (che chiuse l'epoca pionieristica dei voli in pallone) non era giunta a un punto tale di sofisticazione da permettere di compiere delle misure del campo magnetico terrestre e dello stato elettrico dell'aria affidabili. Per quanto riguarda lo studio del campo magnetico, le misure furono presto abbandonate, benchè perfettamente inserite in un programma di ricerca condiviso dai più importanti fisici dell'epoca e pur avendo dato qualche risultato significativo. Le misure effettuate con l'utilizzo di elettroscopi su palloni furono altrettanto insoddisfacenti ma furono perseguite con costanza sia a terra che in volo perché legate a una importante area di ricerca della fisica atmosferica che sfociò all'inizio del XX secolo con la nascita della fisica dei raggi cosmici, segnata dal volo del 1912 di Victor Hess. Proprio alla luce di questo fatto l'intera storia dell'esplorazione elettrica dell'atmosfera in pallone rappresenta una storia di continuità che, passo dopo passo, pose le basi di una epoca gloriosa della fisica del XX secolo, quella dei raggi cosmici.

BIBLIOGRAFIA

(1884). "Necrologie" *La Nature* 1884: 233.

(1841). *Atti della seconda riunione degli scienziati italiani* (Torino: 1841).

(1844). *Atti della quinta unione degli scienziati italiani* (Lucca: 1844).

(1824). Nota estratta dai commentari 1824/1826 della Regia Specola di Napoli per Carlo Brioschi, 145.

Andreoli, Pasquale; Brioschi, Carlo (1808). "Relazione del viaggio aerostatico", *Il telegrafo del Brenta* 1808, 1: 4.

Barral; Bixio (1850). "Journal du voyage aéronautique fait le 27 juillet 1850 par MM Barral et Bixio" *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Science* 1850: 126-135.

Boffito, Giuseppe (1921). *Il volo in Italia: storia documentata e aneddotica dell'aeronautica e dell'aviazione in Italia* (Firenze: Barbera, 1921).

Connaughton, Michael E. (1984). "Ballomania", the American Philosophical society and Eighteenth Century Science" *Journal of American Culture* 1984, 7: 71-74.

Coxwell, Henry (1887). *My Life and Balloon Experiences, with a supplementary chapter on military ballooning* (London: W. H. Allen & Co., 1887).

Crouch, Tom D. (1983). *The eagle aloft* (Smithsonian Institution, 1983).

Fulgence, Marion (1870). *Wonderful balloon ascents; or, the conquest of the skies. A history of balloons and balloon voyages* (1870).

Gillespie, Richard (1984). "Ballooning in France and Britain, 1783-1786: aerostation and adventurism" *Isis* 1984, 75(2): 248-268.

Glaisher, James (1866). "An account of meteorological and phisical observations in 8 balloon ascents, made, under the auspices of the committee of the British Association for the Advancement at Manchester" *British Association Reports 1862-1866* 1866: 376-502.

Glaisher, James; Flammarion, Camille; De Fonvielle, Wilfrid; Tissandier, Gaston (1869). *Voyages aériens* (Parigi: Hachette, 1869).

Guy-Lussac, Joseph (1894). "Relation d'un voyage aérostatique" *Journal de phisique, de chimie et d'histoire naturelle* 1804, 59: 454.

Guy-Lussac, Joseph; Biot, Jean Baptiste (1804). "Extrait de la relation d'un voyage aèrostatique" *Journal de phisique, de chimie et d'histoire naturelle* 1804, 59: 314.

Sacharof (1805). "An account of the aerial voyage undertaken at Petersburg on the 30th of January 1804" *Philosophical Magazine* 1805, 83 (21): 193.

Tissandier, Gaston (1887). *Histoire des ballons et des aéronautes célèbres, 1783-1800*. (Paris: 1887).

Tucker, Jennifer (1996). "Voyages of discovery on oceans of air" *Osiris* 1996, 11: 144-176.

Welsh, John (1853). "An account of meteorological observations in four balloon ascents"
Philosophical Transactions 1853: 311-346.