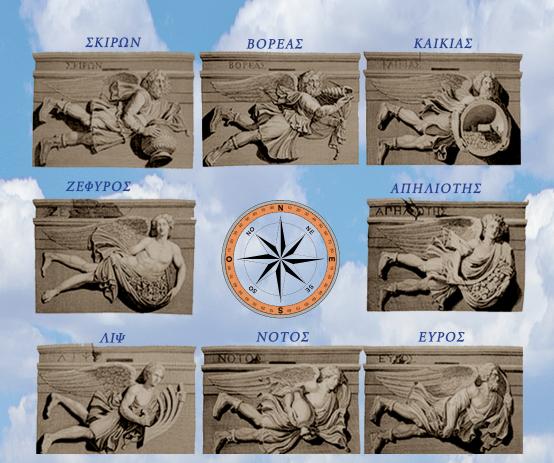


STORIA DELLA STRUMENTAZIONE METEOROLOGICA, NELLA CULTURA OCCIDENTALE



Fabrizio Benincasa - Matteo De Vincenzi - Gianni Fasano

Istituto di Biometeorologia

STORIA DELLA STRUMENTAZIONE METEOROLOGICA NELLA CULTURA OCCIDENTALE

Fabrizio Benincasa Matteo De Vincenzi Gianni Fasano

Postfazione di Paolo Sottocorona

2019

CNR – Istituto di Biometeorologia

Responsabile di redazione Matteo De Vincenzi

Studio delle immagini e dei grafici, elaborazione grafica e fotografica, copertina Gianni Fasano

ISBN: 978 88 8080 326 3 (edizione digitale)

© Cnr Edizioni, 2019 Piazzale Aldo Moro 7 00185 Roma

CNR – Istituto di Biometeorologia Via Madonna del Piano, 10 50019 Sesto Fiorentino (FI)

Per quanto concerne le immagini gli autori restano a disposizione degli aventi diritto con i quali non è stato possibile comunicare o per le eventuali involontarie omissioni.

In copertina: gli Anemoi, personificazione dei venti, riportati sulla sommità del perimetro esterno della Torre dei Venti di Atene. Nel testo a pagine 10 e 11, e in nota 10.

INDICE

PREFAZIONE		3		
CAPITOLO PRIMO Dalle origini al XVI seco soglia della meteorologia		5		
CAPITOLO SECONDO				
Dalle Accademie scientifi agli Osservatori meteoro	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
Appendice Prima: Appendice Seconda:	Evaporazione Spettro della Radiazione elettromagnetica	51 54		
CAPITOLO TERZO		55		
Dalla Prima Conferenza alla Organizzazione Mete	Meteorologica (1853) eorologica Mondiale (1951)			
Appendice Prima: Appendice Seconda:	Cronologia degli eventi dal 1853 al 1951 Meteorologia e geomagnetismo Due scienziati a confronto Alcuni strumenti geomagnetici dell'epoca di Secchi Meteorologia e geomagnetismo dopo Moscati-Secchi Magnetismo e medicina	68 69 69 74 76 79		
CAPITOLO QUARTO		81		
Dall'OMM (1951) ai gio	rni nostri			
Appendice Prima: Appendice Seconda:	Multipli e sottomultipli nelle Unità del Sistema Internazionale I gas serra	102 104		
CAPITOLO QUINTO		105		
Nel prossimo futuro				
POSTFAZIONE di Paolo S	'ottocorona	111		
NOTE INDICE DELLE GRANDEZZ INDICE DEI NOMI BIBLIOGRAFIA SITOGRAFIA	ZE E DEGLI STRUMENTI	113 150 152 154 159		



PREFAZIONE

In questo breve percorso di storia degli strumenti per la meteorologia nel senso moderno, che possiamo fare iniziare alla fine della prima metà del XVII secolo con la scoperta della pressione atmosferica, ci siamo imposti due vincoli: parlare solamente dell'Occidente e parlare solamente di una ben precisa categoria di strumenti.

Ovviamente strumenti per la meteorologia sono stati sviluppati da tutte le società umane a ogni latitudine e longitudine ma, a nostro avviso, nessuna è stata così prolifica e dinamica come quella occidentale.

È a causa di questa "abbondanza" che ci siamo posti il secondo vincolo; ovvero fra le innumerevoli soluzioni tecniche per la misura dei vari parametri, prendere in considerazione solamente gli strumenti che nella loro continua evoluzione hanno percorso una strada che, sia pure in forme diverse, li ha fatti giungere fino a noi.

Ciò premesso e consapevoli che la storia non si può fare se non si conoscono le persone che la determinano, vogliamo iniziare col parlare di Aristotele ovvero di colui che per primo ha osservato, con organicità, i fenomeni meteorologici.

Dal IV secolo a. C. la meteorologia aristotelica ha condizionato per circa duemila anni l'interpretazione scientifica dei fenomeni atmosferici, avendo assunto Aristotele, nelle scienze, una autorità indiscutibile: ipse dixit.

Si deve giungere al XVII secolo per iniziare una nuova era, nella quale il metodo galileiano afferma il primato delle misure sperimentali sulle deduzioni apodittiche, ma è con Evangelista Torricelli che, con la scoperta sperimentale della pressione atmosferica (1644), si pongono le basi della meteorologia moderna.

Fino alla seconda metà del XVIII secolo gli strumenti meteorologici consentivano solamente letture dirette. Ben presto si passò da strumenti indicatori a strumenti registratori; questi permisero di rilevare ininterrottamente l'andamento temporale delle principali grandezze atmosferiche, consentendo così studi secondo la moderna meteorologia e dando inizio alla climatologia.

Dal XIX secolo lo studio degli strumenti meteorologici subì una accelerazione, grazie alla possibilità di realizzare la registrazione elettrica dei dati rilevati. Sul finire di detto secolo i diversi Osservatori Meteorologici iniziarono a sentire l'esigenza di usare apparecchiature e metodologie di rilevamento standardizzate: a tale scopo nel 1879 fu fondata l'Organizzazione Meteorologica Internazionale (OMI).

Nel XX secolo l'ONU sostituì l'OMI con l'OMM, Organizzazione Meteorologica Mondiale (Ginevra, 1951); scopi di questa nuova istituzione erano, e sono: promuovere un sistema mondiale di osservazioni meteorologiche, favorire lo scambio di informazioni standard, sostenere la progettazione e la realizzazione di nuovi strumenti di misura e di monitoraggio dei parametri meteorologici. In questo secolo, negli anni settanta, si ebbe un ulteriore drastico cambiamento della struttura degli strumenti: si passò da quelli elettromeccanici, con registrazione analogica dei dati, a quelli elettronici con registrazione digitale.

Oggi, grazie alla "rivoluzione elettronica", con gli strumenti per misurare le grandezze meteorologiche tradizionali, sono disponibili anche quelli che, per il nuovo rapporto uomo-ambiente, consentono di misurare e monitorare l'atmosfera, il suolo e le acque, in relazione alle attività antropiche.

Concludiamo con alcune notazioni tipografiche.

Di termini tecnici di uso non comune se ne parla più o meno ampiamente nelle note a fine volume, dove si trova anche un'ampia biografia dei protagonisti di questa storia.

Per meglio distinguere le didascalie delle figure dal testo, le prime sono scritte in blu.

Per rendere più agevole la lettura del libro le varie appendici sono riportate alla fine dei capitoli di pertinenza.

Le definizioni delle grandezze fisiche considerate sono indicate nel testo in corsivo. A questo proposito si ricorda che la Fisica attribuisce ai termini un senso "molto più stretto" di quello attribuito loro dal linguaggio comune, ad esempio potenza ed energia che comunemente sono considerate sinonimi, o quasi, in Fisica sono cose assolutamente diverse.

Gli Autori

CAPITOLO PRIMO

DALLE ORIGINI AL XVI SECOLO SOGLIA DELLA METEOROLOGIA PREVISIONALE

Aurora partorì i venti gagliardi ad Astrèo, Zefiro serenatore, veloce nei tramiti Bora, e Noto: con un Dio si fuse ella, Diva fulgente. E dopo loro, un astro, Eòsforo, a luce essa diede, e le lucenti Stelle, che sono corona del cielo.

(Esiodo VIII-VII secolo a.C., Teogonia vv. 378-382)



CAPITOLO PRIMO

Fino ad Aristotele¹ (384 a.C. - 322 a.C.), Figura 1, la parola μετέωρα (meteora² \rightarrow meteorologico) si riferisce genericamente a *ciò che è in alto*, Figura 2, senza distinzione fra atmosfera e spazio celeste. È con Aristotele che la parola meteorologia viene applicata ai soli fenomeni che si svolgono nello spazio *sublunare* ([19], libro I, cap. IX e seg.) [18] mentre si utilizza il termine astrologia (ἀστρολογία: studio degli astri) per i fenomeni che si svolgono nei cieli oltre la Luna (Figura 3).

Empedocle, filosofo e scienziato greco vissuto fra il 490 e il 430 a.C., formulò la dottrina dei quattro elementi o radici di tutte le cose: terra, acqua, aria e fuoco³, sottoposti a due forze contrarie, amore e odio. I quattro elementi e le due forze sono originari e immutabili e spiegano anche la conoscenza; le cose sensibili mutano, sottoposte alle due forze antitetiche. Ognuno degli elementi ha la tendenza a rimanere o a tornare nel proprio luogo naturale: *il basso* per la terra e l'acqua, *l'alto* per l'aria e il fuoco; pertanto *la pioggia deve cadere verso il basso* e *la fiamma deve salire verso l'alto*.

Nella visione aristotelica, come tutto ciò che riguarda la Terra, anche i fenomeni meteorologici possono essere spiegati tramite l'antica teoria empedoclea ([19], libro I, cap. III, 339a-339b), Figura 3. Dei fenomeni meteorologici Aristotele fornisce un fondamento teorico: la loro *causa efficiente* è il Sole, mentre le *cause materiali* sono gli *elementi*. I raggi solari, sulla superficie della Terra, danno origine a due esalazioni: se cadono sulla terra secca, si genera un'esalazione calda e asciutta, molto infiammabile, formata



soprattutto di parti di fuoco e di terra, questa è il *fumo*; se colpiscono l'acqua, si produce un'esalazione umida e fredda, formata di parti di acqua che si trasformano in aria, essa è il *vapore*.

Figura 1 - LA SCUOLA DI ATENE (particolare), Raffaello Sanzio (1483 – 1520) [1001].

A sinistra Platone, a destra Aristotele. Affresco del 1509 nella Stanza della Segnatura, Palazzi Apostolici - Musei Vaticani.



Figura 2 - METEORE [1002]. Al bordo nord-occidentale della Tessaglia (nord della Grecia) furono chiamate meteore le formazioni monolitiche di arenaria a "torre", alte fino a 400 m con pareti ripide e cime tronche e pianeggianti. Prima rifugio di eremiti poi, dall'XI secolo, vi furono costruiti monasteri in cui si continuava la tradizione ascetica: azione rivolta alla perfezione spirituale e alla ascensione verso Dio, distaccandosi gradualmente dal mondo; in ciò aiutati dall'isolamento e dalla "vicinanza" al Cielo.



Figura 3 - LE SFERE CELESTI DI ARISTOTELE nella descrizione di Tolomeo⁴. Rielaborazione da [1003]. Il principale trattato cosmologico di Aristotele, dal titolo "Intorno al firmamento" (in greco: *Peri Oúranós*; nel senso di: a proposito del firmamento oppure in merito al firmamento), fu scritto nel 350 a.C. [18]. Questa sua visione cosmologica, a sfere concentriche, ha dominato sia la cultura antica sia quella medievale (cristiana e islamica) per quasi due millenni⁵.

La parte superiore dell'atmosfera contiene solo l'esalazione secca, la parte inferiore, le contiene entrambe ([19], libro I 344a 5-10). Affermazioni di fatti che chiunque poteva verificare senza la necessità di strumenti di misura, dato che i Greci consideravano "poco nobili" le misure al punto tale che il dio di queste era Ermes (Mercurio per i Latini): messaggero degli dèi, protettore degli atleti ecc. ma anche dio del commercio, dell'astuzia e protettore di ladri e bugiardi [28].

La fisica aristotelica, e con essa la meteorologia, ha condizionato per circa duemila anni l'interpretazione scientifica dei fenomeni atmosferici, avendo assunto Aristotele (e non solo in questo specifico campo) una autorità indiscutibile: *ipse dixit* ⁶.

Ovviamente non tutti i filosofi erano "soggiogati" dal pensiero aristotelico, ad esempio gli scolastici rifiutavano l'ipervalutato *ipse dixit*; Alberto Magno (Lauingen 1193/1206 - Colonia 1280; vescovo cattolico, scrittore e filosofo tedesco appartenente all'ordine domenicano), nelle sue opere spesso scriveva «*esperimentai e provai*» e se i risultati contrastavano con le affermazioni di qualche Maestro dell'Antichità non esitava a sottolineare la sua opposizione [3].

Ma la vera opposizione alla fisica aristotelica si ebbe nel XIV secolo quando numerosi filosofi cominciarono a sviluppare le teorie del filosofo bizantino Giovanni Filòpono (490? - 570?; vissuto ad Alessandria d'Egitto) che contestava le teorie del moto espresse da Aristotele il quale affermava che al moto dei corpi l'aria non solo non si opponeva ma, richiudendosi dietro di essi, che muovendosi avrebbero lasciato dietro di loro il vuoto (inesistente per Aristotele), li sospingeva ([20], libro IV 215a).

Giovanni Buridano (Béthune, Artois 1295/1300 - 1360?; Maestro della Facoltà delle Arti di Parigi e Rettore dell'Università) rifacendosi a Filòpono propose la teoria secondo la quale la causa del moto è un *Impeto* che il mobile (ad esempio una freccia) acquista dal corpo che lo proietta (arco) e che va esaurendosi per cause esterne (resistenza dell'aria) fino al suo arresto [3]. Teoria ripresa e sviluppata da molti altri filosofi che confutavano la teoria aristotelica del lancio del proietto affermando che nel caso di una mola posta in rotazione non esisteva lo spostamento d'aria addotto dagli aristotelici e quindi non era sospinta dall'aria ma doveva il suo moto all'impeto impresso dalla manovella, e quando l'applicazione di questo cessava continuava a ruotare sempre più lentamente fino a fermarsi poiché l'attrito sull'asse di rotazione "corrompeva" l'impeto di partenza.

Va osservato che tutte le contestazioni alla fisica aristotelica avevano, anche nell'enunciare gli esperimenti, carattere filosofico. Non poteva essere diversamente poiché mancava sempre un "terzo soggetto" in grado di provare o confutare l'ipotesi espressa dall'uno o dall'altro: mancava cioè lo *strumento di misura*.

Anche la meteorologia aveva subito il fascino aristotelico e i fenomeni atmosferici, tutti "personificati", per quanto detto non venivano misurati dai Greci anche perché non avendo per essi una applicazione pratica, ad esclusione della pioggia che si limitavano a "descrivere", e del vento⁸ di cui rilevavano la direzione di provenienza e "descrivevano" l'intensità. Il motivo di questa eccezione è evidente: pioggia e vento condizionavano la navigazione, le altre grandezze avevano scarse applicazioni pratiche.

Il problema della misura del vento, *cioè dello spostamento delle masse d'aria*, fu studiato fin dall'antichità. È celebre la *Torre dei Venti*, Figura 4 A-B costruita ad Atene fra il 100 e il 50 a.C. da Andronico di Cirro (Siria) ([113], libro I, pag.19-20 e Tav. II, fig. I e II), [55], [101]. La Torre è a base ottagonale (diametro di circa 8 m, altezza circa 12 m) e

aveva sul culmine del tetto una banderuola a forma di Tritone (Figura 4 A [101]) che indicava sia la direzione di provenienza del vento sia il suo nome, suggerito dalle personificazioni mitologiche dei venti (ánemoi in greco) rappresentate sulla sommità del perimetro esterno della Torre¹⁰ Figura 4 B. Poiché la banderuola originale è andata distrutta, nella figura è stata da noi aggiunta riprendendola da un libro del 1762 ([101] Cap. III, fig. III). Al di sotto del fregio erano visibili otto solaria¹¹ verticali, di cui quattro regolari (N, S, E, O), per l'indicazione dell'ora

in ogni stagione. Un orologio idraulico al suo interno era alimentato dall'acqua proveniente dalla sorgente *Clepsydra* situata sulle pendici nord della Acropoli [107].

Figura 4 A - TORRE DEI VENTI di Atene [1011].

La banderuola indicava la direzione di provenienza del vento e il suo nome, suggerito dagli *ánemoi* rappresentati sulla sommità del perimetro esterno. Al di sotto del fregio otto *solaria* verticali indicavano l'ora del giorno in ogni stagione. Un orologio idraulico al suo interno era alimentato dall'acqua proveniente dalla sorgente *Clepsydra* situata sulle pendici nord della Acropoli [107].

Boreas SEPTENTRI

Apeliotes



Della Torre dei Venti ne parla anche Marco Vitruvio Pollione¹² (80 a.C. circa - 15 a.C. circa) nel *De Architectura* ([113], libro I Capitolo VI).

«[...] Hanno voluto alcuni che i venti non fossero, che quattro: dall'Oriente Equinoziale, il Levante; dal Mezzogiorno, l'Ostro; dall'Occidente Equinoziale, il Ponente; e dal Settentrione, la Tramontana. I più esatti ne danno otto: fra questi specialmente Andronico Cireste, il quale eziandio ne eresse in Atene per esemplare una torre di marmo di otto facce, in ciascheduna delle quali fece scolpire l'immagine di ciascun vento dirimpetto alla sua propria direzione; terminava la torre in un lanternino di marmo, sopra del quale situò un tritone di bronzo, che stendea colla destra una verga, accomodato in modo, che dal vento era girato e fermato di rimpetto al soffio rimanendo colla verga sopra l'immagine di quel vento che soffiava. I venti dunque sono fra Levante ed Ostro, dall'Oriente Jemale, lo Scirocco: fra Ostro e Ponente, verso il Ponente Jemale, il Libeccio: fra Ponente e Settentrione, Maestro: fra Settentrione e Levante, Greco; ed in questo modo parmi di aver espresso il numero, i nomi, ed i luoghi onde spira ciascun vento. [...]». L'autore continua indicando come fare «[...] per ritrovare gli aspetti e le direzioni loro [...]» e conclude il paragrafo: «[...] Ma o che sia giusta, o no, non lascia di essere giusta la distribuzione che abbiamo descritta della direzione de'venti; come anche è vero, che non ogni vento ha la stessa, ma chi maggiore, e chi minore violenza. [...]».

Per un tentativo di quantificazione della "violenza" (intensità) del vento si deve arrivare al 1450 con la proposta di Leon Battista Alberti¹³ (1404 - 1472) ripresa poi da Leonardo da Vinci¹⁴ (1452 - 1519), Figura 5 A-B, il quale aveva ben chiaro il concetto di valore istantaneo e valore medio della velocità. Infatti leggendo specularmente lo scritto nel disegno abbiamo: «Qui bisogna un orilogio che mostri lora punti e minuti a misurare quanta via si vada per ora col corso del vento.» [11]

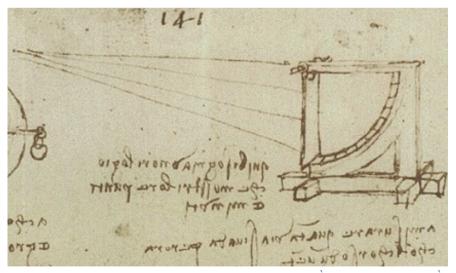


Figura 5 A - MISURATORE A PALETTA DELL'INTENSITÀ DELLA VELOCITÀ DEL VENTO nella versione modificata da Leonardo da Vinci. Disegno originale di Leonardo da Vinci [1013], databile tra il 1483 e il 1486, tratto dal *Codice Atlantico*, conservato nella Veneranda Biblioteca Ambrosiana di Milano.

Figura 5 B - MISURATORE A PALETTA DELL'INTENSITÀ DELLA VELOCITÀ DEL VENTO.

Un modello, di recente realizzazione, in legno a cui è associato un anemoscopio a banderuola per indicare la direzione di provenienza del vento [1012]. Lo strumento, progettato da Leonardo da Vinci, era munito di una tavoletta, paletta, ruotabile intorno ad un asse orizzontale. La spinta del vento, in relazione alla sua velocità, allontanava più o meno dalla verticale la paletta in modo che, sull'arco graduato, si poteva leggere un numero, rappresentante la velocità del vento.



ANEMOGRAPHIA M. EGNATII DANTIS Mathematicarum Artium in Almo Bononiensi Gymnasio Professoria In Anemoscopium Verticale instrumentum ostensorem Ventorum, His accessir ipsius instrumenti constructio, vr nihilin hac materia amplitus desideretur. AD AMPLISSIMVM D. Io. PETRVM GHISLERIVM Vir. Sig. S. D. N. Referenslavium, Remandiole, Estarcassif, Raumae Profision. INDICO Andronica Turris mar. BONONIAE, Apud Ioannem Rossium mdlxxviii. Curia Epife. G. S. Impussa. cancessin.

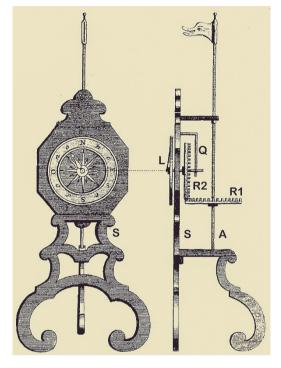
Per una anemometria "moderna" si deve arrivare al 1578 anno di pubblicazione di *Anemographia* di Ignazio Danti¹⁵ (1536 – 1586) dove viene descritto un anemoscopio capace di azionare una lancetta indicante la direzione di provenienza del vento posta su un quadrante verticale, Figura 6 A. Una realizzazione del XVIII secolo di questo anemoscopio è riportata in Figura 6 B; mentre per una misura più attendibile dell'intensità del vento si deve arrivare al XVII secolo con gli anemometri a elica di Robert Hooke⁸⁵ e di altri strumentisti.

Figura 6 A - TESTO LATINO DI ANEMOGRAPHIA di Ignazio Danti (1578), [51]. Frontespizio dello studio realizzativo di un "Anemoscopio verticale, instrumento mostratore de'venti", costruito sul modello dell'antica Torre dei Venti [50].

Figura 6 B - ANEMOSCOPIO A BANDERUOLA realizzato nel XVIII secolo, secondo le indicazioni del testo di Ignazio Danti, vedi figura 6 A. Rielaborazione da [47], *Tav. XII, fig.1*.

Il sostegno di legno, S, sul quale è montato l'anemoscopio, ha un auadrante ottagonale con disegnata una rosa dei venti. Dietro al quadrante Q è imperniata verticalmente un'asta. A. recante superiormente banderuola una inferiormente una ruota dentata a corona. R1, che gira sul piano orizzontale. Quest'ultima aziona una seconda ruota dentata, R2, che gira sul piano verticale, al quale è fissata una lancetta, L, imperniata al centro del quadrante.

La rotazione della banderuola è così riprodotta dalla lancetta L sulla rosa dei venti dove si può leggere la direzione di provenienza del vento.



Altra grandezza meteorologica studiata da Leonardo da Vinci fu l'umidità dell'aria, ovvero la quantità di vapore acqueo presente nell'atmosfera. Prendendo spunto da una intuizione di Niccolò Cusano¹⁶ (1401 - 1464), che nel 1430 propose di rilevare l'umidità dell'aria mediante la variazione di peso di una balla di lana [12], Leonardo, nel 1500, costruì un igroscopio a bilancia col quale si confrontava il peso di un materiale non igroscopico (per esempio cera) con quello di uno igroscopico (per esempio bambagia) di ugual peso in condizioni di aria anidra, ma di peso diverso in condizioni di aria umida [112] (Figura 7).

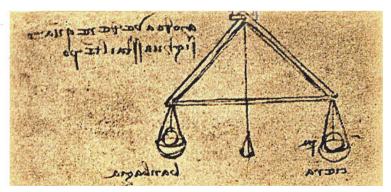


Figura 7 - IGROSCOPIO A BILANCIA [1046]. Disegno originale di Leonardo da Vinci, tratto dal Codice Atlantico, conservato nella Veneranda Biblioteca Ambrosiana di Milano. Guardando specularmente l'immagine, in alto si legge *modo a vedere quando si guasta il tempo*; in basso si legge a sinistra *bambagia*, a destra *cera*.

Anche per quanto riguarda la stima dell'umidità dell'aria si deve arrivare al XVII secolo, con Francesco Folli e l'Accademia del Cimento, per trovare i primi strumenti capaci di aprire la strada all'igrometria moderna sia teorica sia sperimentale con la produzione di apparecchiature più significative.

Oltre alle proprietà fisiche dell'aria anche i fenomeni meteorologici interessarono moltissimo Leonardo da Vinci che scrive *de' tre accidenti, vento, pioggia e grandine;* ma, ad eccezione del vento, non propone metodi per misurarli.

Nel *Libro di Pittura* redatto da Francesco Melzi (Milano 1491 - Vaprio d'Adda 1570), allievo di Leonardo, basandosi su annotazioni del maestro, nella *Parte Septima* alle pagine 175-176 si legge:

«Le nuvole sono nebbie tirate in alto dal caldo del sole [...]. Li nuvoli sono creati da humidità infusa per l'aria, in quale si congrega mediante il freddo che con diversi venti è trasportato dall'aria [...]».

Nell *Codice Atlantico* al *folio 292*, Leonardo riporta considerazioni sulla pioggia e sulla grandine.

In relazione alla pioggia egli dice:

«Compongonsi le goccioline nell'aria mediante le nebbie o nugoli di vari moti che si scontrano insieme, e si condensano e si congiungono nel moto di un medesimo nugolo [...] e di molte gocciole piccole se ne fa una grossa, la quale acquista peso e cade, e se le gocciole non si compongono di molta grossezza, esse si consumano nella confregazione che esse fanno con l'aria, quando la penetrano.» [Cod. Atl. f 292 r.a.]

Relativamente alla grandine egli afferma:

«[...] [nell'] umido estremo di tale nugolo le particole dell'umido si addiacciano al continuo con varie globulenze, che per la eccellente freddura non si possono spiegare, e con veloce moto concorre al sito che genera sfericità della gocciola, e però la grandine è composta di molte globulenze [...]» [Cod. Atl. f 292 r.a.].

Vogliamo far notare che quelli citati sono solo esempi delle molte realizzazioni strumentali del Rinascimento tutte accumunate dal fatto che non si tratta di strumenti nell'accezione moderna del termine poiché non forniscono un valore assoluto della grandezza, valore ottenibile dalla calibrazione dello strumento in base a valori di riferimento convenzionali o certi¹⁷. In ogni caso anche questi strumenti hanno avuto una loro utilità: con essi si poteva dire se una grandezza era, e di quanto, variata nel tempo in un determinato ambiente, o se una grandezza in un ambiente era, e di quanto, diversa dalla stessa grandezza in un altro ambiente.

Ai primordi gli strumenti, non essendo in grado di indicare un "valore", avevano nel nome il suffisso *scopio* (dal greco *skópion*, osservare); ad esempio l'igroscopio si limitava a mostrare le variazioni di umidità senza quantificarle, come farà invece l'igrometro. Analogamente si avevano il termoscopio, l'anemoscopio ecc. che poi, nel tempo, evolvono in termometro, anemometro ecc. In altre parole il suffisso metro (dal greco *métron*, misura) viene riservato agli strumenti che quantificano la grandezza indicandone la misura.

CAPITOLO SECONDO

DALLE ACCADEMIE SCIENTIFICHE (XVI SECOLO) AGLI OSSERVATORI METEOROLOGICI (XVIII SECOLO)

Quando puoi misurare ciò di cui stai parlando, ed esprimerlo in numeri, tu conosci qualcosa di esso; ma quando non puoi misurarlo, quando non puoi esprimerlo in numeri, la tua conoscenza è scarsa e insoddisfacente. Può essere l'inizio della conoscenza, ma, nei tuoi pensieri, sei avanzato poco sulla via della scienza.

(William Thompson, Lord Kelvin, in *Electrical Units of Measurement*, 1883, vol. I, pag. 73)



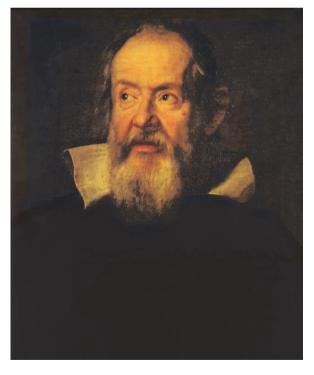
CAPITOLO SECONDO

Si deve giungere al diciassettesimo secolo per iniziare una nuova era scientifica, nella quale il metodo galileiano afferma il primato della sperimentazione sulle deduzioni apodittiche.

Il metodo sperimentale (poi detto scientifico) è dato dall'insieme delle norme guida della ricerca tali da garantire la riproducibilità e la verificabilità dei risultati ottenuti. Secondo Galileo Galilei¹⁸ (1564 - 1642), Figura 8, questi obiettivi sono raggiungibili solamente se i fenomeni vengono analizzati con *sensate esperienze* facendo corrispondere ad essi e alle grandezze naturali dei *numeri*, introducendo così i concetti di *misura* e di *elaborazione matematica* dei dati [105]; si veda la nota 39. Alla luce del metodo proposto da G. Galilei le diverse affermazioni ritenute valide perché enunciate da Aristotele vengono smontate sistematicamente dalle evidenze sperimentali, una per tutte (che forse, nel nostro caso, è la più significativa) la negazione del vuoto *la cui esistenza* (secondo Aristotele) *impedirebbe il moto* ([20], libro IV, 6-9; [38], pag. 161); da qui il motto *natura abhoret vacuum*. Questo assunto supera indenne il Medioevo, il Rinascimento e giunge fino a G. Galilei che non lo confuta ([11] pag. 32), ma viene rigettato da Evangelista Torricelli¹⁹ (1608 - 1647), Figura 9, grande fisico e matematico che con la scoperta sperimentale della pressione atmosferica [36] pone le basi della meteorologia scientifica (Figura 10).

Figura 8 - GALILEO GALILEI Galleria degli Uffizi, Firenze, olio su tela (66 x 56 cm), Justus Sustermans, 1636 [1004].

La teoria aristotelica dell'horror vacui rimase in auge fino al XVII secolo. Molte osservazioni dell'esperienza quotidiana sembravano confermare la teoria, ma ad alcuni fenomeni la teoria non era in grado di dare risposta. Uno di questi era un fatto, noto sin dall'antichità: l'impossibilità di estrarre l'acqua da pozzi molto profondi per mezzo di pompe aspiranti. Tali pompe consistevano di un cilindro, all'interno del quale, mosso da una leva, era



libero di scorrere uno stantuffo aderente alle pareti. Abbassando la leva, lo stantuffo veniva tirato verso l'alto lasciando uno spazio vuoto nella parte superiore del cilindro. Se la natura

avesse avuto orrore del vuoto, come sosteneva Aristotele, immergendo il tubo in un pozzo pieno d'acqua, quest'ultima avrebbe dovuto risalire lungo il tubo nel cilindro. L'esperienza mostrava che, effettivamente, l'acqua si sollevava fino a riempire il vuoto creato dallo stantuffo, ma solo se il dislivello fra l'acqua nel pozzo e la sommità del tubo era inferiore a 10 metri. Se il dislivello era maggiore, l'acqua non riusciva a superarlo e nello stantuffo rimaneva il vuoto.

La questione venne risolta dal Torricelli il quale capì che l'acqua sale all'interno del tubo dal quale viene aspirata l'aria, non per colmare il vuoto "temuto" dalla natura, ma perché spinta dal peso della colonna di aria sovrastante la superficie del pozzo; Torricelli comprese inoltre che il peso della colonna d'aria non era sufficiente a spingere oltre i 10 m la colonna d'acqua che pertanto si arrestava a quella quota lasciando sopra di sé il vuoto.

In Figura 10 la pressione dell'aria alla base della colonna di mercurio bilancia il peso della colonna stessa che, in alto, avendo il vuoto, non è gravata dall'aria. Torneremo su questo concetto, che sta alla base della meteorologia, parlando dell'"esperienza di Torricelli".



Figura 9 - EVANGELISTA
TORRICELLI.

Galleria Silvano Lodi & Due, Milano,
olio su tela (47,7 × 36 cm),
Lorenzo Lippi, 1647 circa [1005].

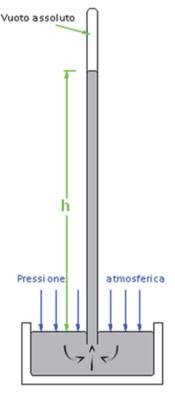


Figura 10 - PRESSIONE: è per definizione la forza che agisce sull'unità di superficie, nel caso particolare dell'atmosfera diventa allora il peso della colonna d'aria che grava sull'unità di superficie.

Per comprendere il grande movimento suscitato dall'esperienza torricelliana è necessario ricordare che alla fine del XV secolo aveva avuto inizio il grandioso fenomeno della *socializzazione del sapere*, determinato da un vivo desiderio di cooperazione e sollecitato dall'esempio delle Accademie Letterarie [98].

Già nel 1560 Giovanni Battista Della Porta²⁰ (1535 - 1615) aveva creato una associazione chiamata *Academia Secretorum Naturae* e nel 1603 era sorta a Roma per iniziativa del principe Federico Cesi²¹ (1586 - 1630), Figura 11, fautore del progresso delle scienze fisiche matematiche e naturali, la prima vera società scientifica che prese il nome di *Accademia dei Lincei* [11].

Mentre la prima svolgeva attività piuttosto misteriose, tanto da essere sospettata di volere alimentare le allora diffusissime pratiche di stregoneria, l'altra riuniva un gruppo di uomini illustri, che si proponevano di scrutare la natura con occhio più acuto di quello della lince, [11], [98].



Figura 11 - FEDERICO ANGELO CESI Palazzo Corsini, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, Pietro Fachetti (1535/9 - 1613) [1006].



A Firenze il Granduca Ferdinando II de' Medici²² (1610 - 1670), Figura 12, spinto dal suo interesse per la nascente scienza sperimentale fonda, nel 1642, la *Sperimentale Accademia Medicea* e fa realizzare nel giro di pochi anni gli strumenti fondamentali per la meteorologia.

Figura 12 - FERDINANDO II DE' MEDICI Casa d'aste Bassenge, olio su tela (90 x 74 cm), di anonimo nello stile Justus Sustermans (1597 - 1681) [1008].



Fra le grandezze meteorologiche più "precocemente" misurate, in tutto il mondo, c'è sicuramente la precipitazione piovosa che è misurata dallo spessore della lama d'acqua che precipita al suolo in un determinato intervallo di tempo.

Sono documentate realizzazioni di pluviometri [100] in India (IV secolo a. C.), Palestina (II secolo a. C.), Cina (XIII secolo), Corea (XV secolo). In Figura 13 il pluviometro coreano [1007]: il cui uso fu probabilmente un ausilio nella coltivazione del riso. A partire dal 1441, in Corea, durante il regno di re Sejong, fu realizzata una rete di pluviometri che fu usata senza cambiamenti fino al 1907, [100].

Figura 13 - PLUVIOMETRO COREANO [1007], in uso dal XV secolo al 1907.

In Europa, lo studio scientifico delle piogge inizia nel Seicento a opera di Padre Benedetto Castelli²³ [12] (1578 - 1643), che ebbe da Papa Urbano VIII l'incarico di studiare le oscillazioni di livello del lago Trasimeno²⁴ che con le sue piene provocava danni ingenti nei territori circostanti. Padre Castelli concepì allora l'idea di un dispositivo per la misura della quantità di precipitato durante un evento di pioggia che lui stesso, scherzosamente, chiamò *orinale*. È così che nel 1639 vide la luce il *pluviometro* nell'accezione moderna. Si trattava di un semplice contenitore graduato con cui si misurava il volume d'acqua raccolto; questo diviso per la superficie della bocca dell'orinale forniva lo spessore della lama d'acqua precipitata nell'intervallo di tempo considerato, Figura 14. La sperimentazione del pluviometro fu oggetto di un intenso scambio di opinioni con Galileo Galilei. In una lettera²⁵ del 18 giugno 1639, Padre Benedetto Castelli (allora residente a Roma) racconta, a Galileo Galilei (nella sua residenza di Arcetri – Firenze), quando e come gli è venuta l'idea del pluviometro. La lettera si conclude con una considerazione sul Diluvio Universale alquanto "spericolata" [58], [100], [108].

Nella sua versione più elaborata il contenitore utilizzato era un cilindro di vetro con la base e l'imboccatura metalliche; l'altezza era di circa un palmo (24 cm) e il diametro di circa mezzo palmo, Figura 14.

Strumenti di questo tipo ma con la "bocca" a imbuto sono tutt'oggi utilizzati [36].

Questi strumenti sono obiettivamente banali, ma il pluviometro, come vedremo, alla fine del XX secolo avrà subìto, col radar meteorologico, una evoluzione che per complessità lo renderà secondo solo ai satelliti meteorologici.

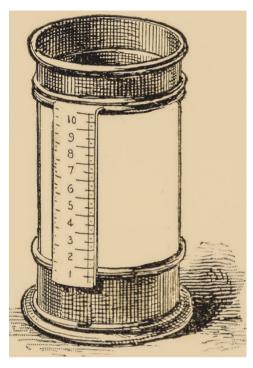


Figura 14 - Schema del PLUVIOMETRO TOTALIZZATORE di Benedetto Castelli (1639); nella versione del 1725 fatta da Giovanni Poleni²⁶ (immagine rielaborata da [1009]).

Poco tempo dopo Castelli pensò di adoperare lo stesso strumento per la misura della quantità d'acqua evaporata, dal lago, in un determinato intervallo di tempo (vedi Appendice Prima), ideando così l'evaporimetro ²⁷. Il 20 agosto 1639 scrive al Galilei: « [...] l'inclusa scrittura fatta da me in proposito della difficoltà che intravviene di macinare nei molini che sono sopra il fosso dell'emissario del lago di Perugia; nella quale scrittura ho ancora promosso l'orinale a contemplare l'abbassamento del lago, cagionato dalla sublimazione che fa il calore del Sole, massima in tempi estivi, intorno al quale mi si è scoperto un largo campo di filosofare. [...]» [11] [1047].

Altra grandezza ampiamente studiata fra la fine del XVI e l'inizio del XVII secolo è la temperatura²⁸ la cui definizione è cambiata nel tempo in relazione ai progressi della termodinamica. Una definizione, in qualche modo atemporale, è la seguente: *la temperatura* è la grandezza fisica che consente di quantificare la sensazione di caldo e di freddo. Riscaldare o raffreddare un corpo significa elevarne o abbassarne la temperatura.

Fra gli strumenti scientifici che in questo periodo trasformano le indagini qualitative in quantitative c'è il termometro. Con il suo impiego le indagini fisiche acquistano un nuovo significato: la meteorologia ha un mezzo oggettivo per riconoscere lo stato termico dell'atmosfera, la medicina ha la possibilità di controllare l'andamento di vari fenomeni vitali.

Fra i primi strumenti per la misura della temperatura ci furono quelli di Galileo Galilei del 1597 (Figura 15) e di Santorre Santorio²⁹ (1561 - 1636) del 1611. Quest'ultimo adattò lo strumento ai suoi fini di medico "abbozzando" su di esso una scala che iniziava con il livello del liquido termometrico (acqua colorata) alla temperatura dell'uomo "sano" e poi saliva ai diversi livelli di "febbricità". Non essendo questi riferimenti standardizzabili lo strumento era comunque da ritenersi un termoscopio [7], [40], [41].

Galileo-Santorio è un primo incontro ad "alto livello", a cavallo fra il XVI e il XVII secolo, fra un fisico e un medico, fra i tanti incontri che vi saranno successivamente ne citeremo ampiamente un altro, più scontro che incontro, a cavallo del XVIII e XIX secolo in cui un medico, Pietro Moscati, e un fisico, Angelo Secchi, realizzeranno, ciascuno, un attrezzatissimo osservatorio meteorologico e geomagnetico. I due scienziati concorderanno su molti punti della meteorologia ma avranno opinioni affatto discordi sull'influenza del magnetismo terrestre sugli eventi meteorologici.

Nella Figura 15 il termoscopio di Galileo Galileo Galileo e una palla di vetro con un lungo collo (tubo di vetro con calibro capillare) immerso in un vaso pieno d'acqua. Riscaldando la palla, l'aria in essa contenuta si dilata e, in parte, "bollendo" fuoriesce dal

vaso. Quando la palla si raffredda l'aria in essa contenuta si contrae creando una depressione che fa risalire acqua nel tubo, tanto più quanto più grande è la differenza di temperatura a cui è stata sottoposta la palla.



Figura 15 - TERMOSCOPIO. Strumento ideato da Galileo Galilei (ciò è attestato da B. Castelli in una lettera del settembre 1638) [76].

Riproduzione su concessione del *Museo Galileo, Firenze – Archivio Fotografico*.

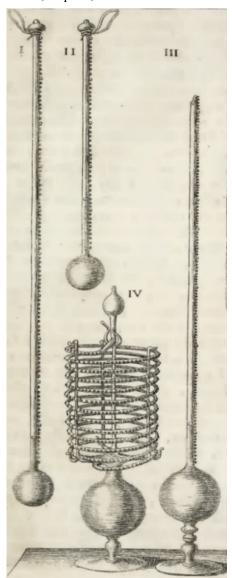


Figura 16 - TERMOMETRI FIORENTINI AD ALCOL; da [10], pag. III e VI. Il primo e il secondo sono da sospendere e hanno nell'ordine, 100 e 50 divisioni. Il terzo e il quarto sono da appoggiare, la scala del terzo è di 300 divisioni, quella del quarto non è indicata [42], [68], [114].

Nel 1641 con la messa a punto del termometro ad acquarzente (alcol di vino), con canna e bulbo chiusi, si concludono alcuni decenni di esperienze con i termoscopi.

Nel 1646 lo strumento per la misura della temperatura assunse la forma definitiva, dando luogo a un tipo di termometro riprodotto per almeno un secolo in numerosissimi esemplari, quasi tutti a scala *cinquantigrada*, che si diffusero nell'intera Europa, conservando a lungo il nome di termometri fiorentini [7], Figura 16.

Posto che le scale termometriche del XVII secolo non hanno nessuna corrispondenza con le scale termometriche attuali³⁰; [42], [68], [114], la taratura dei termometri fiorentini *cinquantigradi* (cinquanta divisioni) si faceva assegnando 13,5 gradi alla neve fondente e 40 gradi all'aria nei giorni più caldi e, nell'ordine 20 gradi e 80 gradi nei termometri fiorentini *centigradi* (cento divisioni). Il termometro fiorentino evidenzia l'arbitrarietà, nella scelta dei valori da attribuire ai punti fissi nella scala termometrica, che nel tempo ha portato a differenti definizioni di unità di misura della temperatura. Comparando la scala fiorentina (°FI) del termometro cinquantigrado con la scala attualmente in uso in Europa, la scala Celsius (°C), vediamo che [42]:

- neve fondente 13.5 °FI = 0 °C;
- giorno più caldo circa 40 °FI, valore che in gradi Celsius è compreso tra 36,96 °C e 38,16 °C. Con questi valori lo 0 °FI va posto fra -18,83 °C e -19,44 °C.

Nel 1652 veniva fondata a Schweinfurt (oggi nel *land* della Baviera) da Johan Bausch³¹ (1605 - 1665) e da altri studiosi, l'*Academia Naturae Curiosorum* ³², [1028].

Nel 1654 il Granduca Ferdinando, proprio per coordinare tutti questi studi e tutte queste realizzazioni, inaugura il primo Servizio Meteorologico al mondo [111] con la collaborazione del gesuita Luigi Antinori³³ (1599 - 1679) [12] [46] il quale fu incaricato di organizzare il Servizio che rimase attivo per circa dieci anni ma, in alcune stazioni di misura, i rilevamenti continuarono ancora per qualche anno. A ogni gestore corrispondente furono consegnati: due termometri fiorentini, a scala cinquantigrada, in modo tale che tutti utilizzassero strumenti dello stesso tipo, tutti tarati in modo che se circondati dallo stesso ambiente camminassero sempre del pari ([10], pag. 49), delle tabelle e un diario osservativo in modo tale che la rilevazione dei dati fosse la più omogenea possibile. I siti da cui la corte granducale riceveva i dati meteorologici, finalizzati a rilevare a quanti gradi ascenda il massimo caldo e il massimo freddo dell'aria in diverse regioni ([68], pag. 49), erano: Firenze nel Convento di Santa Maria degli Angeli ([93], [94]), Vallombrosa (Firenze), Cutigliano (Pistoia), Milano, Bologna, Parma, Pisa, Parigi, Varsavia, Innsbruck [16] ([68], pag. 49-50).

Nel 1657 a Firenze, Leopoldo di Toscana³⁴ (1617 - 1675), Figura 17, fratello di Ferdinando II de' Medici, costituiva una nuova società scientifica con il nome di *Accademia Fiorentina del Cimento* che con il suo simbolo, Figura 18, formato da un *fornello con tre crogiuoli*, e con il suo motto *provando e riprovando*, voleva sottolineare che il suo scopo primario era lo sviluppo e la diffusione, nel campo delle scienze naturali [11], della metodologia sperimentale galileiana. Una delle maggiori opere prodotte dal Cimento fu il volume *Saggi di Naturali Esperienze*³⁵ (1667); oggetto di questa straordinaria attività di ricerca sperimentale fu l'aria atmosferica e gli strumenti maggiormente utilizzati, studiati e descritti, furono quelli meteorologici³⁶ [10].

I Saggi proponevano una scelta delle esperienze accademiche per conoscere le alterazioni dell'aria derivanti dal caldo e dal freddo, sulla natural pressione dell'aria e sul vuoto, sugli artificiali agghiacciamenti, sulla incomprimibilità dei liquidi, sulle calamite e

sulle *virtù* elettriche dell'ambra, sulla propagazione del suono e della luce, oltre a un'ampia serie di altri fenomeni naturali. Il volume ospitava solo una piccolissima porzione delle ricerche del Cimento, rispetto alle molte centinaia di esperienze registrate nei *Diari* manoscritti dell'Accademia.

Per timore di suscitare le reazioni delle autorità ecclesiastiche, dai *Saggi* furono escluse le riflessioni sulla vera configurazione di Saturno, un tema delicato perché gravido di implicazioni copernicane [68].

Figura 17 - LEOPOLDO DE' MEDICI [10], che, dopo la morte del cardinale Carlo de' Medici, nel 1667 fu creato cardinale da papa Clemente X.



SAGGI
DINATVRALI
ESPERIENZE
FATTENELL' ACCADEMIA
DEL CIMENTO
SOTTO LA PROTEZIONE
DEL SERENISSIMO PRINCIPE
LEOPOLDO DI TOSCANA

E DESCRITTE DAL SEGRETARIO DI ESSA ACCADEMIA.

PROTEZIONE
IN FIRENZE
PET Giufeppe Cocchini all' Infegna della Stella. MDCLXVII.
CON LICENZA DE' SVEEZION. COMPANYIONE

La pubblicazione di questo elegante volume sontuosamente illustrato, segnò la fine dell'attività dell'Accademia del Cimento³⁷ (5 marzo 1667) per varie cause: acri discordie interne, partenza da Firenze di alcuni dei soci più attivi e autorevoli, assenza del suo capo e guida, il Principe Leopoldo che in quello stesso anno fu eletto Cardinale ([104] pag. 461 - 469 e 526). Tra le varie funzioni che il Cardinale assunse in curia ci fu quella di membro della Congregazione dell'Indice ed egli avocò a sé la gestione degli affari ecclesiastici del Granducato, anche in materia di Inquisizione con una condotta più severa che nel periodo precedente.

Figura 18 - Frontespizio dei SAGGI DI NATURALI ESPERIENZE, stampa del 1667, [10]. Per chiarimenti sulla data di pubblicazione dei Saggi si veda la nota 37.

Nel 1663 veniva fondata in Inghilterra, da un gruppo di scienziati, a somiglianza del Cimento, su impulso iniziale di Robert Boyle³⁸ (1627 - 1691) la *The Royal Society of London for Improving Natural Knowledge*. L'Accademia si poneva il fine di promuovere la scienza matematico-sperimentale seguendo l'insegnamento di Francesco Bacone³⁹ (1561 - 1626). L'istituzione è ancora attiva a Londra [68], [1029].

Nel 1666 Jean-Baptiste Colbert⁴⁰ (1619 - 1683) fondava, a Parigi, l'*Académie des sciences*, per sviluppare sia la ricerca teorica sia l'avanzamento delle arti e dei mestieri. A differenza della *Royal Society* l'*Académie*, per i finanziamenti e per l'organizzazione, dipendeva dalla Corona. L'istituzione è ancora attiva a Parigi [68], [1030].

Per risolvere alcuni problemi dei termometri ad alcol di vino, evidenziati dagli accademici, nel 1688 l'astronomo Edmond Halley⁴¹ (1656 - 1742) per primo utilizzò il mercurio come liquido termometrico. Questo metallo, liquido alle temperature ambientali, si dilata più facilmente dell'alcol e si raffredda più rapidamente, inoltre difficilmente solidifica anche se posto a temperature ambientali molto basse [40], [84]. A proposito dei termometri Halley ribadisce quanto già espresso trentaquattro anni prima da L. Antinori: non c'è modo per rendere confrontabili i termometri se non sono prodotti dallo stesso costruttore e calibrati con le stesse procedure [73]. Concetto estendibile a tutte le grandezze fisiche che diventerà un caposaldo della metrologia⁴² moderna. Questo non fu l'unico argomento di meteorologia di cui si occupò Halley, l'anno precedente si era dedicato a studi sull'evaporazione finalizzati alla stima della quantità d'acqua che annualmente evapora dagli oceani [65].

Lunga e complessa è anche la storia degli strumenti misuratori della quantità di vapore acqueo presente nell'atmosfera. Come abbiamo già visto i primi realizzati sfruttavano le proprietà di sostanze igroscopiche che assorbono e rilasciano l'acqua presente nell'aria con alterazioni delle loro dimensioni e del loro peso (si ricordino i già citati strumenti proposti da N. Cusano e L. da Vinci). Su questo principio è basato lo strumento indicatore di umidità realizzato nel 1664 da Francesco Folli⁴³ (1624 - 1685) Figura 19. Un'asta di legno reca alle estremità due piccoli rulli sui quali si avvolgono i capi di un nastro di carta che funge da sostanza igroscopica. Al centro dell'asta, su un supporto, è fissato un disco di ottone decorato e munito di scala graduata. Al centro di questo quadrante è imperniata una lancetta, che, con un semplice sistema meccanico, indica le variazioni di lunghezza della carta provocate dalle variazioni dell'umidità atmosferica.



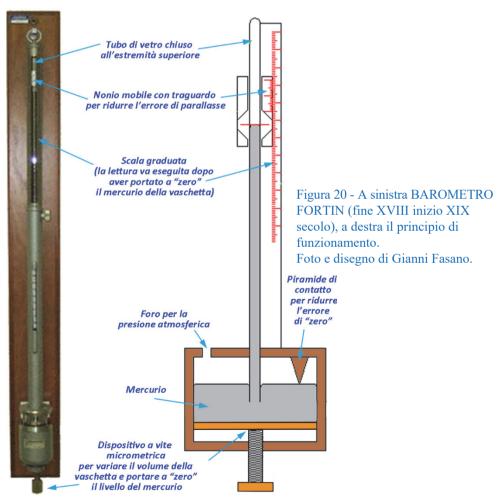
Figura 19 - IGROSCOPIO di Francesco Folli (1664).

Lo strumento (dimensioni 71 cm x 24 cm) è attualmente esposto nella sala IX del Museo Galileo, Firenze. Riproduzione su concessione del *Museo Galileo, Firenze - Archivio Fotografico*.

Negli anni centrali del Seicento, in piena Rivoluzione Scientifica, il dibattito sul vuoto e sulla pressione atmosferica rappresentò un punto fondamentale sulla costituzione della materia e sulla natura dell'Universo. Si cimentarono su questi concetti molti studiosi, da Galileo Galilei a Isaac Newton⁴⁴ (1642 - 1727).

L'analisi e la verifica sperimentale del vuoto impegnarono fortemente gli studiosi delle varie accademie che, oltre a replicare in vari modo l'esperienza torricelliana, analizzarono il comportamento di vari oggetti e animali vivi⁴⁵ "sotto vuoto".

Evangelista Torricelli chiarì, per primo, che i fenomeni ascrivibili all'*horror vacui* della natura erano da attribuire *al peso della colonna d'aria agente sull'unità di superficie*, ovvero alla sua *pressione*. Per dimostrare ciò propose all'allievo e amico Vincenzo Viviani⁴⁶ (1622 - 1703) di eseguire un esperimento (1644) con il quale si dimostrava che: quando la colonna di mercurio, contenuta in un tubo di vetro di circa 100 cm e chiuso a una estremità, veniva capovolta in una vaschetta contenente mercurio non scendeva completamente nella vaschetta, ma rimaneva, dall'estremità aperta, a una altezza di circa 76 cm, lasciando sopra di sé un ambiente privo di aria e quindi "vuoto" Figura 10 e Figura 20. Torricelli attribuiva



correttamente il fenomeno agli effetti della pressione atmosferica che agiva sul mercurio della vaschetta ma non su quello della colonna sulla quale era presente il vuoto. In altre parole la pressione dell'aria, agente sulla vaschetta, si propagava alla base della colonna di mercurio, nel tubo, bilanciandone il peso.

Gli esperimenti compiuti successivamente in tutta Europa permisero di stabilire che il livello della colonna di mercurio variava in relazione alle modificazioni della pressione atmosferica conseguente alle variazioni altimetriche. Ma anche rimanendo a una stessa quota la pressione, durante il giorno, variava sia pure in modo minore (Otto von Guericke⁴⁷, 1602 - 1686). Ci si accorse inoltre che i rapidi abbassamenti di pressione precedevano l'arrivo di "tempo brutto"; ciò indusse a mettere a punto un nuovo strumento, il barometro⁴⁸, che fu presto impiegato, insieme ad altri strumenti, per le previsioni meteorologiche. Il barometro subì, nel tempo, numerose correzioni che ne migliorarono la sensibilità, ne agevolarono la lettura, e lo resero facilmente trasportabile. Una interessante modifica si ebbe, fra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo, a opera dell'ingegnere francese Jean Nicolas Fortin⁴⁹ (1750 - 1831), il quale per ovviare alle imprecisioni nelle letture barometriche, a causa delle variazioni di livello del mercurio nella vaschetta al variare della altezza nella canna di vetro, rese regolabile la vaschetta stessa applicandovi un dispositivo a vite che consentiva di variarne il volume per portare il livello del mercurio a sfiorare il punto di riferimento di "zero" Figura 20, [11], [15].

Nel 1700 su progetto di Gottfried Wilhelm Leibniz⁵⁰ (1646 - 1716), nacque a Berlino la *Kurfürstlich-Brandenburgische Akadamie der Wissenschaften*, sostenuta dal principe elettore Federico III di Brandeburgo. Non appena Federico fu incoronato re di Prussia, nel 1701 con il nome di Federico I⁵¹ (1657 - 1713), l'Accademia cambiò nome in *Königlich Preußische Akadamie der Wissenschaften*.

Nel 1740 salì al trono di Federico II⁵² (1712 - 1786) che nel 1746 chiamò a dirigere l'Accademia Pierre-Louis Moreau de Maupertuis⁵³ (1698 - 1759) e l'Accademia prese il nome di Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften; oggi Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften [68], [1031].

Abbiamo già fatto notare come da Galilei a Newton, solo per citare i principali, gli astronomi si occupassero anche di meteorologia e di conseguenza degli strumenti di misura ad essa relativi. Questo interesse degli astronomi era funzionale alle osservazioni dei corpi celesti poiché i fenomeni dell'atmosfera, in particolare la rifrazione⁵⁴ atmosferica, interferivano con i loro rilievi astronomici. Non era raro, pertanto, che un Osservatorio Astronomico fosse anche Osservatorio Meteorologico. Uno di questi Osservatori "bivalenti" fu fondato a Firenze nel 1756, con il *placet* dei Lorena⁵⁵, dal gesuita padre Leonardo Ximenes⁵⁶ (1716 - 1786) che per i suoi studi di idrologia si occupò di meteorologia e mise a punto un barometro per misure altimetriche. In una raccolta di suoi lavori, dedicata a Pietro Leopoldo Granduca di Toscana [121], lo Ximenes parla di rilevamenti altimetrici eseguiti da Jean-André Deluc⁵⁷ (1727 - 1817) che stabilì: « [...] Ginevra è elevata di piedi 1176 sopra il mare di Genova e la città di Turino è elevata in rapporto allo stesso mare di piedi 734. Lo stesso autore parla de' barometri, co' quali conviene fare tali Osservazioni. Mi sia lecito proporre in questo luogo un mio Barometro, che dirò "Barometro a peso", il quale tra' portatili è il più sicuro [...] » (Figura 21). ([121], pag. 264).

In riferimento figura 21 Ximenes scriveva: «[...] Sia ABC un Sifone doppio ripiegato in B, di lunghezza di circa pollici 32, abbia i due Orifici A, C quasi capillari, e tali Orifici sieno rivoltati in fuori quasi a col piano squadra ABC. Inclinando tal Barometro quasi orizzontalmente, esso per uno de' suoi Orificj si và riempiendo di Mercurio coll'ajuto di un embuto di vetro, e riempiesi talmente, che per l'appunto il Mercurio arrivi all'Orificio dall'una parte, e dall'altra. Indi, elevando dolcemente il Barometro. si stacca Mercurio in B, e và scorrendo in un vaso ben pulito, nel quale si riceve. Quando il Mercurio è disceso al punto dell'equilibrio DE, finisce di scorrere.

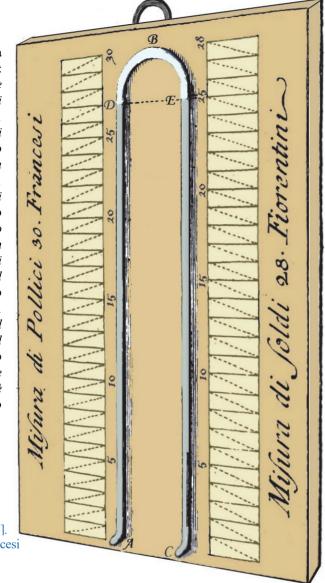


Figura 21 - BAROMETRO A PESO, PORTATILE

di L. Ximenes (1750 circa) [121]. I piede francese = 12 pollici francesi 1 pollice francese = 27,07 mm 1 soldo fiorentino = 29,18 mm

L'elaborazione tridimensionale del disegno originale è di Gianni Fasano.

E gli Orifici capillari impediscono, che il Barometro si voti. Pesando il Mercurio uscito dal Barometro, abbiamo la quantità DBE. Indi pesando il resto, avremo le due colonne Barometriche AD, CE. Se il tubo sarà ben Cilindrico, come conviene che sia, dal peso, e dalla misura dell'altezza CE, AD, otterremo il peso del Mercurio per ciascuna linea di altezza Barometrica. Onde, quando il grado Barometrico sarà maggiore, o minore del grado della prima Osservazione, sapremo esattamente in centesime di linea l'altezza del Barometro.

Con questo metodo del peso si sfuggono molti inconvenienti, che si ritrovano negli altri Barometri. Primieramente la dilatazion del Mercurio, originata dal calore viene a rendersi indifferente. Poichè pesandosi il Mercurio, la sua dilatazione non nuoce. In secondo luogo la curvità della superficie del Mercurio, che spesso inganna di una mezza linea, non ci porta alcun divario, giacchè nel peso si ottiene il vero equilibrio, e si calcola la colonna ben rettificata del Mercurio. In terzo luogo, portandosi vuoto il Barometro nelle stazioni, dove si dee riempire, non vi è alcun pericolo di frattura o di danno [...].» ([121], pag. 264-265)

Per dargli maggior prestigio, l'Osservatorio fu ubicato nel convento di San Giovannino, tra le Cappelle Medicee e la Cupola del Brunelleschi. Nel 1773 Papa Clemente XIV con la soppressione, in Italia, Francia e Spagna, della Compagnia di Gesù impose la liquidazione dei beni e la secolarizzazione dei membri. In conseguenza di ciò l'Osservatorio di L. Ximenes passò agli Scolopi⁵⁸ e ci rimase anche con la ricostituzione della Compagnia, nel 1814, a opera di Papa Pio VII. Nell'Ottocento questo Osservatorio, detto anche di San Giovannino, come molti altri divenne "trivalente" dovendosi occupare anche di geologia e geomagnetismo. Ma approfondiremo questo ultimo aspetto nel Capitolo Terzo.

L'Osservatorio è ancora attivo nell'ambito della meteorologia e della sismologia, e ne fa parte ancora l'antica Torre dei Rondinelli, alla cui sommità era stata situata la cupoletta per le osservazioni astronomiche. Di notevole pregio è la collezione della preziosa strumentazione e la ricca biblioteca storico-scientifica, in un affascinante percorso dove la storia della sismologia, della cartografia, dell'astronomia, della meteorologia e della radiotecnica si intrecciano alla storia della città di Firenze e della Toscana. L'Osservatorio è stato diretto dai Padri Scolopi fino al 2004, quando il meteorologo padre Dino Bravieri (Paretola di Licciana Nardi, Massa 1923 - Firenze, 2008) lasciò l'incarico per motivi di salute, e l'istituzione fu trasformata nell'onlus Fondazione Osservatorio Ximeniano di Firenze con compiti museali e didattici.

L'Osservatorio Ximeniano seguiva di soli tre anni la fondazione a Firenze, 4 giugno 1753, dell'Accademia dei Georgofili per iniziativa di Ubaldo Montelatici⁵⁹ (1692 - 1770), canonico lateranense. Il gruppo era formato da diciotto studiosi incaricati di "far continue e ben regolate sperienze, ed osservazioni, per condurre a perfezione l'Arte tanto giovevole della toscana coltivazione". Fra questi studiosi citiamo Giovanni Targioni Tozzetti⁵⁹ (1712-1783) naturalista e storico della scienza in Toscana [104]. Fu questo in Europa il primo esempio di "associazione di ingegni intesi al perfezionamento dell'agricoltura" [9], nella visione sperimentale sostenuta circa 150 anni prima da F. Bacone (vedi nota 39).

Fra i principali incarichi dati, fra il 1759 e il 1791, dal governo granducale lorenense agli accademici, fra i quali nel ruolo di idrologo e meteorologo vi era L. Ximenes, vi furono le bonifiche della Val di Chiana e della Maremma.

Fra alterne vicende e con compiti sempre più specifici l'Accademia dei Georgofili opera ancora ai giorni d'oggi a Firenze [1049].

Gli strumenti di misura progettati e realizzati fino alla seconda metà del Settecento erano idonei per letture dirette e misure estemporanee. Ben presto però si fece strada l'idea di trasformare i dispositivi per misure meteorologiche da semplici strumenti indicatori in strumenti registratori, ovvero in apparati capaci di memorizzare almeno alcuni valori misurati. Fra i primi strumenti registratori ricordiamo i termometri di massima e di minima ideati e realizzati dal chimico e fisico inglese Lord Charles Cavendish (1704 - 1783), perfezionati dal suo più celebre figlio Henry⁶⁰ (1731 - 1810), Figura 22 [48], e proposti alla *Royal Society of London* nel 1757.

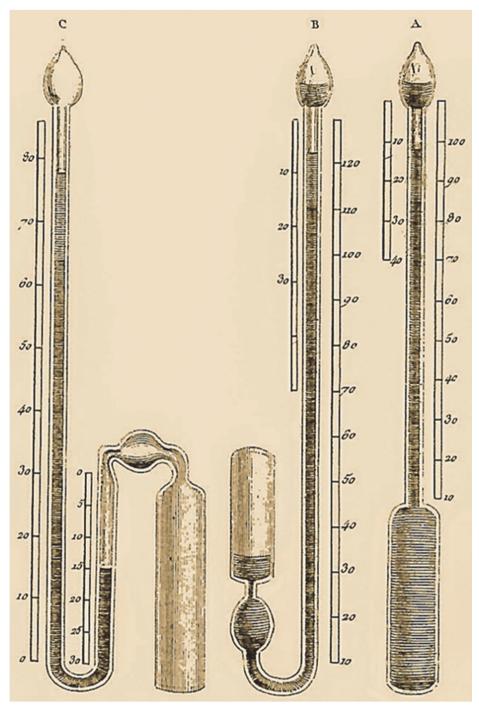


Figura 22 - TERMOMETRI REGISTRATORI di Cavendish (1757), [48], [109].

Il primo termometro realizzato da Cavendish, indicato con **A** in Figura 22, subì nel tempo alcune modifiche ed evoluzioni indicate in figura con **B** e **C**.

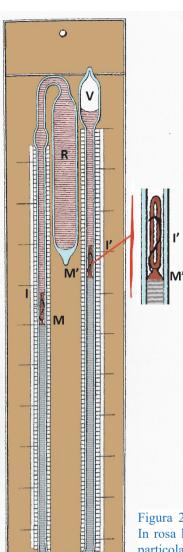
In A è raffigurato un termometro di massima a mercurio (in figura la zona scura).

La parte superiore del tubo verticale terminava, con una "strozzatura", dentro una bolla contenente del mercurio sopra il quale galleggiava un po' di alcol (in figura la zona chiara). Quando il mercurio saliva lungo il tubo per effetto di un aumento della temperatura, una parte dell'alcol veniva spinta dentro la bolla sopra al mercurio, in essa contenuto, che ne impediva il ritorno nel tubo. Due scale graduate erano poste accanto al tubo: la prima per tutta la sua lunghezza su cui il menisco del mercurio indicava la temperatura del momento; una seconda era limitata alla zona del tubo in cui si trovava l'alcol. Dopo aver raggiunto una temperatura massima, col ritirarsi del mercurio la colonna di alcol presente sul suo menisco era ridotta della quantità di alcol rimasto dentro la bolla. In qualsiasi momento, l'altezza del mercurio, misurata sulla prima scala, più l'altezza della colonna di alcol rimasto, misurata sulla seconda, indicava la massima temperatura raggiunta. Il termometro veniva ripristinato inclinandolo per far tornare tutto l'alcol dalla bolla nel tubo.

In **B** una modifica dello strumento resa necessaria per alleggerire il precedente termometro, che richiedeva molto mercurio. A tal fine una gran parte del mercurio fu sostituita da alcol a cui veniva impedito di risalire sul mercurio con una piegatura a U del tubo e "strozzando" il capillare. Vari studiosi dell'epoca contestarono l'uso di due materiali come liquido termometrico poiché ciò, a loro dire, riduceva la precisione dello strumento.

In C è riportato un termometro di minima, il liquido termometrico era costituito da alcol contenuto in un cilindro di vetro (in figura la zona chiara). Questo serbatoio dopo un ingrossamento e una successiva strozzatura proseguiva con una piegatura ad U nella quale per un certo tratto era inserito del mercurio; il tubo terminava con una bolla. Due scale graduate erano poste accanto al tubo: la prima per tutta la sua lunghezza su cui il menisco del mercurio indicava la temperatura del momento; una seconda era limitata alla zona del tubo in cui si trovava l'alcol. A causa della contrazione dell'alcol il mercurio scendeva lungo il tubo e, attraverso la strozzatura, entrava nella parte inferiore del rigonfiamento rimanendovi anche quando il mercurio risaliva entro il tubo per effetto della dilatazione dell'alcol. La seconda scala indicava la quantità di mercurio rimasto nella bolla, ovvero la temperatura minima alla quale era stato sottoposto lo strumento. Il termometro veniva ripristinato inclinandolo per far tornare tutto il mercurio dal rigonfiamento nel tubo.

Nel 1782 in Inghilterra venne realizzato un *termometrografo* ad opera di James Six⁶¹ (1731- 1793). Lo strumento era un termometro ad alcol, con un serbatoio cilindrico R al quale era saldato un tubo con la caratteristica forma ad U mostrato nella Figura 23A. Nella parte inferiore del tubo, a contatto con l'alcol (color rosa in figura), era posta una colonna di mercurio (in grigio), qui usato solo per agire meccanicamente sugli indicatori termometrici I-I'. Il tubo terminava con un piccolo vaso di espansione V. Nei tratti verticali del tubo a destra e a sinistra sopra i menischi del mercurio, M-M', venivano posti i due indicatori cilindrici di ferro bronzato, I-I', leggerissimi la cui parte inferiore, a contatto col mercurio, era allargata. Questi indicatori venivano spostati dal mercurio nel suo movimento dovuto alla dilatazione o contrazione dell'alcol causato dalle variazioni di temperatura. A ciascun



cilindro era incollato un capello in modo che il suo attrito sulle pareti interne del tubo impedisse loro di essere trascinati via dal mercurio quando questo discendeva. Così essi rimanevano nei punti in cui il mercurio gli aveva spinti: l'indice di destra, I', indicava la massima temperatura ambiente e quello di sinistra, I, la minima. Le scale retrostanti ciascun indice venivano sperimentalmente per confronto con un termometro a mercurio. L'azzeramento dello strumento veniva fatto dall'esterno, spostando i due indicatori, con una calamita riportandoli cioè a contatto con il mercurio. Successivamente il termometrografo di Six fu modificato dal canonico italiano Angelo Bellani⁶² (1776 - 1852). Il vaso di espansione V nella parte superiore del tubo ad U fu sigillato ermeticamente e il serbatoio cilindrico R fu diminuito di lunghezza. Per il resto lo strumento conservò la forma ideata da Six. Tuttavia queste modifiche lo resero più preciso e i suoi dati più affidabili; per tale motivo lo strumento viene ancora oggi utilizzato ed è noto con il nome di termometro di massima e minima di Six-Bellani [40].

Sono del 1790 il termometro a massima e quello a minima che Daniel Rutherford⁶³ (1749 - 1819) presentò alla *Royal Society of Edinburgh*, la cui struttura e il cui funzionamento erano simili a quelli dei termometri analoghi realizzati dall'Accademia del Cimento [1057].

Una versione migliorata di questi strumenti fu realizzata da J. N. Fortin⁴⁹ per l'Osservatorio Reale di Parigi [40].

Figura 23A - TERMOMETROGRAFO di Six-Bellani. In rosa l'alcol, grigio il mercurio, celeste il vetro. Nel particolare, ingrandito, l'indicatore cilindrico I' che poggia sul menisco M', in nero si è evidenziato il capello "frenante". Vedi testo. Rielaborazione da [40].

Nel 1798 il fisico scozzese Alexander Keith⁶⁴ (1737 - 1819) realizzò un altro tipo di termometro che in un primo momento era in grado di registrare, come quello di Six-Bellani, soltanto i due valori estremi, Figura 23B [5], [70], [109]; solo in seguito si poté ottenere la registrazione di un tracciato ininterrotto il cui andamento temporale rappresentava l'andamento temporale della temperatura. Successivamente a questo strumento Keith ideò anche un barometro registratore dei valori di pressione minima e massima.

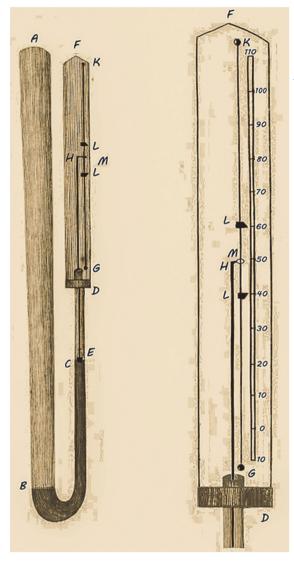


Figura 23 B - TERMOMETRO DI MASSIMO E MINIMO di Alexander Keith (1798). Vedi testo. Rielaborazione da [5], [109].

Analogamente al termometro di Six-Bellani anche questo strumento utilizza come fluido termometrico l'alcol mentre il mercurio (più scuro nella figura) serve a spingere due ancorine metalliche che indicano i livelli di temperatura raggiunti. A sinistra lo strumento completo, a destra il particolare, ingrandito, della scala termometrica. Il tratto A B è un tubo di vetro chiuso alla sommità e collegato, sotto, a un tubo, B D, aperto in alto, dove è vincolato un supporto metallico D che sostiene la scala termometrica (in avorio). Da A a B il tubo è riempito con alcol, da B a C con mercurio. In C è posizionato un cono di avorio, o di vetro, galleggiante sulla superficie del mercurio supportante il filo rigido E H piegato ad angolo retto in H. dove termina con un occhiolo M. che circonda il sottile filo d'oro G K, preposto a muovere i due indici di seta nera, oliata, L L che possono scorrere

lungo G K. Per predisporre lo strumento a una nuova misurazione è necessario sfilare il tubo in vetro F D di protezione della scala termometrica e posizionare i due indici L L a contatto con M e riposizionare la protezione F D. All'aumentare della temperatura, con la dilatazione dell'alcol, il mercurio spingerà verso l'alto il galleggiante E e, tramite il filo E H, l'occhiolo M spingerà verso l'alto l'indice L superiore. Se la temperatura si abbassa L superiore rimarrà nella posizione raggiunta, mentre con la contrazione dell'alcol, il mercurio si ritrarrà abbassando E e con esso il filo EH che tramite M spingerà verso il basso l'indice L inferiore. In qualsiasi momento nell'intervallo di tempo considerato, si potrà leggere la temperatura in quel momento indicata da M e le temperature massime e minime raggiunte nell'intervallo indicate da L e L.

L'importanza di questi strumenti meteorologici registratori fu formidabile poiché, con il loro funzionamento meccanico, permisero di rilevare ininterrottamente l'andamento giornaliero delle principali grandezze atmosferiche, consentendo così studi secondo la moderna meteorologia e dando inizio alla climatologia.

Con l'inizio della registrazione dei dati la nomenclatura degli strumenti cambiò nuovamente: quelli a lettura diretta mantennero il suffisso *metro* (ad esempio termometro), quelli che registravano i dati in forma di grafico presero il suffisso *grafo* (dal verbo greco *gráphein*, scrivere; ad esempio termografo). Da allora, per indicare uno strumento meteorologico scrivente senza precisare le grandezze rilevate, si cominciò a usare il termine *meteorografo*, in particolare se le grandezze registrate dallo strumento erano più di una.

La registrazione in cui l'andamento del grafico si evolve sul supporto di scrittura in analogia all'andamento nel tempo della grandezza rilevata, alla fine del secolo scorso, ha preso il nome di registrazione analogica a cui si contrappone la registrazione numerica, o digitale, dei moderni strumenti elettronici.

È celebre un *barometrografo*, che registrava con continuità i valori della pressione, realizzato, fra molti altri strumenti, da Felice Fontana⁶⁵ (1730 - 1805) Figura 24.

Lo strumento è costituito da un tubo barometrico a sifone in ferro e vetro, montato su una base di marmo. Un galleggiante che penetra nel braccio più corto del sifone è collegato a un bilanciere di ottone munito di contrappesi e montato su ruote antifrizione. Sul bilanciere, che reca la scala barometrica in pollici francesi, è tesa una striscia di carta. Un orologio, fissato mediante un supporto alla base di marmo, è collocato sopra il bilanciere. Il meccanismo a orologeria, a intervalli di tempi regolari, provoca la fuoriuscita di una punta metallica che fora il nastro di carta. Il movimento trasversale con il quale è mossa la punta, impedisce che essa perfori lo stesso punto, anche in assenza di cambiamenti di pressione. La serie delle perforazioni fornisce così la registrazione delle variazioni di pressione nel tempo.

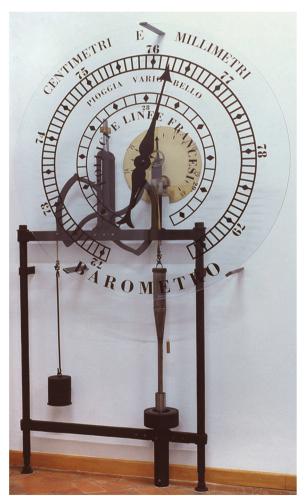
Figura 24 - BAROMETROGRAFO di Felice Fontana (fine XVIII secolo).

Lo strumento (dimensioni 31 cm x 23 cm x 104 cm) è attualmente esposto nella sala X del Museo Galileo, Firenze. Riproduzione su concessione del *Museo Galileo, Firenze – Archivio Fotografico*.



A F. Fontana si deve anche uno strumento meteorologico multiparametrico che raggruppava: un piccolo barometro, due termometri, un igrometro e una *bussola dei venti* ad ago magnetico [11]. Fra le molteplici attività di F. Fontana c'è stata anche quella di direttore del Museo di Fisica e Storia Naturale voluto dal Granduca Pietro Leopoldo e fondato nel 1775 a Firenze [76].

È del 1860 il barometro a bilancia realizzato da padre Filippo Cecchi⁶⁶ (1822 - 1887), Figura 25, che fu direttore dell'Osservatorio Ximeniano, di Firenze, dal 1872 al 1887. Lo strumento, un grande barometro pubblico, fu progettato in collaborazione con Giovanni Antonelli e costruito a Firenze nel 1860 dal meccanico Niccolò Masini. Per volontà del Ministro nazionale dell'educazione, Cosimo Ridolfi, il barometro, con un termometro, fu collocato nella Loggia dei Lanzi in Piazza della Signoria⁶⁷ a Firenze. Lo strumento è del tipo a bilancia ovvero non viene rilevato il livello del mercurio, ma il suo "peso". Infatti il tubo barometrico con un manicotto è appeso ad un bilanciere munito di contrappeso. Le variazioni di pressione influiscono sul livello del mercurio nel tubo e le conseguenti variazioni di peso modificano la posizione del bilanciere che è collegato meccanicamente a una lancetta indicatrice. Lo strumento cessò di funzionare come barometro pubblico intorno al 1930. Il vano che conserva il meccanismo fu



murato. Esso fu casualmente ritrovato nel 1993. Il quadrante in vetro è un rifacimento moderno.

Il barometro era accompagnato da un grande termometro metallico (che è andato disperso), in cui la parte sensibile era costituita da un filo di ottone, teso orizzontalmente, lungo 21 m con diametro di 9 mm. Il filo subiva allungamenti e accorciamenti, in relazione alle variazioni di temperatura, che venivano trasmessi, da un meccanismo a pulegge, a una lancetta indicatrice su una scala centigrada⁶⁸ e su una Reamur [40].

Figura 25 - GRANDE BAROMETRO PUBBLICO di Filippo Cecchi (1860). Lo strumento (dimensioni 117 cm x 232 cm) è attualmente esposto nella sala XI del Museo Galileo, Firenze.

Riproduzione su concessione del *Museo Galileo, Firenze – Archivio Fotografico*.

A partire dal XIX secolo il barometro divenne comunissimo, sia nelle case borghesi sia nelle pubbliche piazze, per "prevedere" il tempo.

Intorno al 1850 si imposero su scala internazionale i barometri aneroidi (dal greco a- senza néros liquido), compatti, solidi e facilmente trasportabili. In questi strumenti la parte sensibile alla pressione è una capsula metallica cilindrica con le basi ondulate per aumentarne l'ampiezza di deformazione. Dalla capsula viene tolta tutta l'aria, in modo che sotto l'azione della pressione atmosferica si schiaccerebbe se una molla antagonista, o l'elasticità stessa delle pareti, non imponesse un equilibrio. La capsula si dilata o si contrae in conseguenza dei cambiamenti della pressione esterna. I movimenti della capsula sono trasmessi meccanicamente o a una lancetta, che indica su una scala la pressione, o a un dispositivo scrivente che ne traccia l'andamento temporale. Impilando più capsule si posso amplificare gli spostamenti [90]. In Figura 26: a sinistra, un barometro a capsula aneroide (visibile al centro), collegata a una lancetta. A destra un barografo del 1930 in cui sono ben evidenziati il dispositivo aneroide, formato da più capsule impilate, e il sistema di trasmissione dei movimenti. A questo è collegato un pennino scrivente su un foglio, di carta diagrammale, avvolto intorno a un tamburo ruotante che, a seconda dell'ingranaggio usato, può compiere un giro in un giorno, o in una settimana, o in due settimane. In figura, nella parte alta del tamburo, è parzialmente visibile la chiavetta per caricare la molla che aziona il tamburo⁶⁹. I due strumenti sono ancora in uso.

Barometri di questo tipo erano già stati proposti nel Settecento, ma il barometro aneroide, nella forma ancora oggi utilizzata, fu messo a punto dal francese Lucien Vidi⁷⁰ (1805 - 1866) negli anni quaranta dell'Ottocento [57].





Figura 26 - BAROMETRI ANEROIDI. A sinistra un moderno barometro a lancetta, a destra un barografo del 1930. Vedi testo. Foto Gianni Fasano.

Anche se i barometri sono stati utilizzati fin dal 1670, è solo dal 1860 circa che, grazie al famoso ammiraglio inglese Robert Fitzroy⁷¹ (1805 - 1865) ex comandante della nave Beagle utilizzata per le esplorazioni di Darwin, abbiamo previsioni del tempo dettagliate sulla base di informazioni barometriche. Fitzroy è da considerarsi come colui che per primo ha diffuso in tutto il mondo le previsioni meteorologiche, su piccola scala e a breve termine, spiegando in dettaglio quale significato attribuire alle variazioni di pressione dell'aria ([11], pag. 239 e seg.; [8], pag. 449).

Nel XVIII secolo fu ripresa in considerazione l'umidità dell'aria e furono realizzati alcuni igrometri che sviluppavano e miglioravano i già citati igrometri studiati da N. Cusano, L. da Vinci, F. Folli che sfruttavano le proprietà dei materiali igroscopici. Si ricorda, in particolare, quello che Horace Bénédict de Saussure⁷² (1740 - 1799) costruì nel 1780 ovvero l'igrometro a capello, Figura 27. Lo strumento è formato da un telaio di ottone sul quale è



teso un fascio di capelli⁷³ (in origine avrebbe dovuto essere uno solo), trattenuto da una piccola ganascia e passante su una puleggia munita di lancetta. Un contrappeso, collegato alla puleggia, mantiene il fascio in tensione. I capelli, che fungono da sostanza igroscopica, variano di lunghezza a seconda dello stato igrometrico dell'aria. Le variazioni possono essere lette su una scala argentata semicircolare posta in corrispondenza della lancetta. Lo strumento, sia pure in forme diverse, è ancora utilizzato.

Saussure fornì originali contributi nel campo della meteorologia, realizzando numerosi strumenti scientifici, oltre agli igrometri a capello, anemometri, elettrometri (strumenti per misurare l'elettricità atmosferica. Si veda anche la nota 120), eudiometri (strumenti per misurare la bontà e la respirabilità dell'aria, il nome deriva dal greco éudios: chiaro, sereno, puro, in riferimento all'aria, col suffisso metro. Si veda anche la nota 119).

Figura 27 - IGROMETRO di Horace-Bénédict de Saussure (1780). Lo strumento (dimensioni 32,5 cm x 10 cm), la cui realizzazione è attribuibile a Jacques Paul⁷⁴ (1733 - 1796), è attualmente esposto nella sala XIV del Museo Galileo, Firenze. Riproduzione su concessione del *Museo Galileo, Firenze – Archivio Fotografico*.

Nell'Ottocento ebbero larga fortuna gli igrometri a condensazione che funzionavano sulla base della relazione tra la temperatura di rugiada⁷⁵ e l'umidità atmosferica [10]. Il primo dispositivo di questo tipo, di fatto un igroscopio (più un "complemento di arredo" che uno strumento di misura) fu ideato dal Granduca Ferdinando II de' Medici a metà del Seicento, Figura 28 A-B.



Figura 28 A - IGROSCOPIO A RUGIADA, XVII secolo. Strumento ideato dal Granduca Ferdinando de' Medici. Rielaborazione da [10], pag. XIII.

tratta quindi di un igroscopio.

Egli è vn tronco di cono formato di sughero, per di dentro voto, e impeciato, e per di fuora soppannato di latta. Dalla parte piu stretta va inserito in vna come lampada di cristallo, prodotta ancor' essa a soggia di cono, con punta affai aguzza, e ferrata. Preparato in questa forma lo strumento, e collocato sul suo sostegno, s'incomincia ad empiere per di sopra di neue; o di ghiaccio minutissimamente tritato, l'acqua del quale auerà'l suo scolo per vn canaletto fatto nella parte piu alta del cristallo, com' apparisce nella figura. Quiui adunque il sottilissimo vmido, che è per l'aria, inuischiandosi a poco a poco al freddo del vetro, prima a modo di fottil panno lo vela, indi per l'auuenimento di nuouo vmido, in piu grosse gocciole rammassato fluisce, e giu per lo dosso ssuggeuole del cristallo sdrucciolando, a mano a mano distilla. Siaui per tanto vn bicchiere alto, a foggia di cilindro, spartito in gradi doue si riceua quell' acqua, che geme dallo strumento.

Ora euidentissima cosa è, che secondo che l' aria farà piu, o meno incorporata d' vmidu, la virtù del freddo maggiore, o minor copia d'acqua, ne distillerà, la quale in piu spesse, o in piu rade gocciole cadendo, penera piu, o meno a riem-

piere il luogo medesimo.

Figura 28 B - Da SAGGI DI NATURALI ESPERIENZE, DICHIARAZIONE D'VN' ALTRO STRVMENTO CHE SERVE PER CONOSCERE LE DIFFERENZE DELL'VMIDO NELL'ARIA. Da [10], pag. XII.

L'apostrofo posto a UN ALTRO è presente nel testo pubblicato dall'Accademia del Cimento.

L'ultimo periodo del testo di Si noti ancora come la lettera esse venga Figura 28 B (evidenziato) chia- scritta in due modi ad esempio nella parola euidentissima risce che lo strumento non (evidentissima). Da non confondersi con la misura l'umidità dell'aria in un lettera effe ad esempio nella parola

sfuggeuole

ambiente ma può mostrare se (sfuggevole). Le due parole prese come esempi, e molte questo è più o meno umido di un altre nel testo, mostrano anche come la vocale u e la altro (alla stessa temperatura); si consonante v nella grafia dell'epoca siano usate indifferentemente.

Si osservi che gli studiosi, dal Seicento alla fine del Settecento, parlavano tout court di umidità dell'aria o dell'atmosfera senza distinguere i termini in cui questa viene oggi espressa, ovvero: umidità relativa, umidità assoluta, rapporto di mescolanza, temperatura di rugiada, ecc. [36], [57]. Tutti termini che si differenziano solo in riferimento alle modalità di misura, ma sono riconducibili analiticamente l'uno all'altro. È solo dal XIX secolo che questa distinzione viene introdotta prima concettualmente e poi operativamente.

Poiché l'umidità relativa è il modo più diffuso di esprimere l'umidità atmosferica, ne diamo una definizione:

l'umidità relativa è il rapporto fra la quantità di vapore contenuta in un volume di aria umida, ad una certa temperatura e la quantità di vapore che potrebbe stare nello stesso volume, alla stessa temperatura, senza provocare la condensazione di parte del vapore.

Il termine colloquiale *quantità* può essere reso in termini più fisici con *massa* o più efficacemente con *pressione parziale*. La pressione parziale del vapore è la pressione che esso ha nella miscela con i gas costituenti l'aria. Nel momento in cui, ad esempio per effetto di un raffreddamento, il vapore acqueo comincia a condensare il vapore si dice saturo e la sua pressione si definisce di saturazione. Molti autori, nel tempo, hanno proposto formule, più o meno empiriche, che legano la pressione di vapore alla temperatura dell'aria. Queste formule hanno consentito di tabulare i valori e di tracciare grafici da cui dedurre facilmente tutti i parametri che caratterizzano lo stato igrometrico dell'aria.

Fra gli strumenti a condensazione più utilizzati nell'Ottocento si ricorda quello ideato nel 1820 da John Frederick Daniell⁷⁶ (1790 - 1845), Figura 29, successivamente perfezionato, nel 1845, dal chimico Henri Victor Régnault⁷⁷ (1810 - 1878) [61].



Figura 29 - IGROMETRO A
CONDENSAZIONE di
John Frederick Daniell (1820).
La figura mostra una realizzazione
dello strumento di fine Ottocento,
attualmente esposta nel Museo
dell'Innovazione e della Tecnica
Industriale di Fermo. Foto di
Claudio Profumieri [1010].

Nel 1820 John Frederick Daniell, propose, utilizzando il metodo del punto di rugiada, un igrometro che divenne in seguito assai diffuso. Lo strumento si compone di due bolle di vetro sottile situate all'estremità di un tubo di vetro piegato per due volte ad angolo retto. Le due sfere e il tubo sono completamente privi di aria [61]. La bolla di sinistra ha una fascia dorata e contiene etere per circa 3/4 del suo volume in cui è immerso il bulbo di un termometro. La bolla a destra è una camicia ricoperta da mussolina. Per la misura si procede nel modo seguente: si capovolge il

tutto e si fa scorrere l'etere nella bolla dorata; poi, dopo aver rimesso in posizione normale lo strumento, si bagna la mussolina con etere che, evaporando, raffredda la bolla di destra. A causa della differenza di temperatura tra le due bolle, l'etere contenuto in quella dorata evapora e va a condensarsi nella bolla più alta. Questo provoca un raffreddamento della bolla dorata. Si

procede in tal modo fino a che compare un velo di rugiada sulla doratura, si legge ora il termometro della bolla dorata che indica la temperatura del punto di rugiada e il termometro esterno, al centro, che indica la temperatura dell'aria.

Tramite le tabelle della tensione di vapore saturo si determina, infine, l'umidità relativa dell' ambiente.

Nel 1825 Ernst Ferdinand August⁷⁸ (1795 - 1870), studioso tedesco, realizzò un igrometro utilizzando un termometro col bulbo asciutto e uno col bulbo costantemente inumidito da una garza bagnata [1042]; l'evaporazione dell'acqua provocava il bulbo raffreddamento del umido tanto niù intensamente quanto minore era la quantità di vapore presente nell'aria; fenomeno ben noto fin dalla prima metà del Settecento. Conoscendo le due temperature è possibile, tramite una tabella, determinare l'umidità relativa dell'aria. Allo strumento fu dato il nome di psicrometro (dal greco psykhròs, freddo, e métron, misura) (Figura 30). La precisione con cui poteva essere valutata l'umidità relativa dell'aria era, sia per lo strumento in sé sia per la formula utilizzata nel calcolo, inadeguata.

Figura 30 - PSICROMETRO di Ernst Ferdinand August (1825).

A sinistra il termometro a *bulbo asciutto* a destra quello a *bulbo bagnato*. È ben visibile la garza, che con un estremo avviluppa il bulbo termometrico mentre l'altro va inserito nel contenitore dell'acqua (al centro fra le scale termometriche) in modo da mantenere il bulbo sempre umido.

Lo strumento (dimensioni 44 cm x 11,6 cm) è attualmente esposto alla sala XIV del Museo Galileo, Firenze, (costruttore sconosciuto). Riproduzione su concessione del *Museo Galileo, Firenze – Archivio Fotografico*.



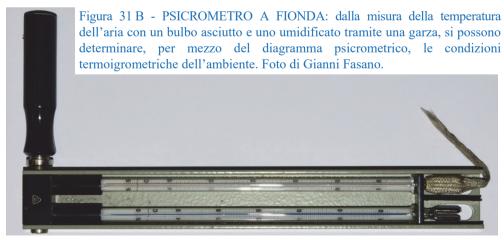
Nel 1887 il fisico tedesco Richard Assmann⁷⁹ (1845 - 1918) perfezionò lo strumento ventilando, con un piccolo aspiratore meccanico (Figura 31 A), i due termometri per favorire l'evaporazione dell'acqua e accelerare la stabilizzazione delle temperature [36], [57]. Questa innovazione e: o l'uso di formule psicrometriche⁸⁰ più adeguate, o l'uso delle tavole psicrometriche di William Ferrel⁸¹ (1817 - 1891), dell'anno precedente, o l'uso del diagramma psicrometrico⁸² (del 1911) di Willis Haviland Carrier⁸³ (1876 - 1950), consentirono misure di umidità relativa molto più precise. In Figura 31 B è riportato uno psicrometro che viene ventilato manualmente facendolo ruotare come fosse una fionda. Entrambe queste versioni di psicrometro sono ancora oggi utilizzate.



Figura 31 A - PSICROMETRO ASPIRATO MECCANICAMENTE di Richard Assmann.

In alto il coperchio è sfilato per mostrare gli ingranaggi e la chiavetta per caricare la molla. In basso sono sfilati i due cilindri che proteggono i bulbi termometrici, quello di destra, bulbo umido, è avvolto dalla garza bagnata. Oggi di questo strumento esiste anche una versione in cui l'aspiratore è azionata da un motorino elettrico.

Foto di Gianni Fasano.



Parlando dell'evoluzione degli strumenti non è possibile portare avanti con la stessa cronologia tutti gli strumenti di misura di tutte le grandezze considerate. Alcuni strumenti, con la loro rapida evoluzione, si spingono avanti nel tempo, mentre altri rimangono indietro e rischiano di essere sopraffatti e dimenticati. Per evitare ciò siamo costretti, ogni tanto, a interrompere la corsa di quelli che si sono sviluppati più rapidamente e tornare un po' indietro per rimettere in corsa i più lenti.

È il caso della misura del vento che chiude il Capitolo Primo con l'*Anemographia* (1578) di Ignazio Danti con la sua banderuola. Strumenti di questo tipo, senza innovazioni concettuali di rilievo, ne furono realizzati anche nei secoli successivi; fra questi citiamo la banderuola di Christopher Wren⁸⁴ (1632 - 1723), realizzata nel XVIII secolo, non per una sua specificità ma perché ritroveremo questo autore in riferimento ad altre ben più importanti realizzazioni.

Di questo periodo, sempre in riferimento al vento, possiamo ricordare i numerosi anemometri dotati di una elica rotante (Figura 32), ispirati ai mulini a vento, alcuni dei quali realizzati da Robert Hooke⁸⁵ (1635 - 1703) intorno al 1670.



Figura 32 - ANEMOMETRO AD ELICA. Una moderna ricostruzione [1044].

Numerosissimi furono poi a partire dal Settecento gli apparecchi anemometrici; fra i più notevoli si ricorda un anemometro registratore ideato dal francese Louis Léon Pajot d'Ons en Bray⁸⁶ (1678 - 1754) nel 1734, Figura 33. Furono anche proposti anemometri in cui la pressione del vento agiva su una colonna liquida che così saliva più o meno in un tubo.

L'anemometro di Figura 33 è il più antico strumento scientifico con un sistema di registrazione, nel senso attuale, dei dati. L'anemometro visualizzava costantemente, su due quadranti (al centro della figura), l'intensità (a sinistra il rotore a palette) e la direzione (a destra la banderuola) del vento. Su nastri di carta cosparsi con una sorta di impasto annerito con polvere di corno bruciato, si memorizzavano gli andamenti temporali delle due grandezze tramite la traccia lasciata sul nastro, da due stili che graffiandolo ne asportavano il colorante. L'autonomia della memorizzazione era di circa 30 ore. Il meccanismo di registrazione era azionato da un orologio a pendolo, da ciò anche il nome di anemometro a pendolo dato allo strumento.



Figura 33 - ANEMOMETRO REGISTRATORE di Louis Léon Pajot d'Ons en Bray (1734), [1014]. Lo strumento (vedi testo) è attualmente conservato al *Musée* des arts et métiers Le Cnam, Parigi.

Un tipo di anemometro fu proposto nel 1846 dall'astronomo irlandese Thomas Robinson⁸⁷ (1792 -1882), Figura 34 [1015], [73]. L'apparecchio era munito di un albero rotore

con quattro bracci alle cui estremità erano fissate delle coppette metalliche che, sotto l'azione del vento, lo facevano girare. La rotazione agiva su un contatore: dal numero di giri per unità di tempo si risaliva all'intensità della velocità del vento.

Questa tipologia di strumento viene ancora utilizzata per misurare una grandezza anemometrica che prende il nome di *vento sfilato*, ovvero *la distanza percorsa dal vento in un determinato intervallo di tempo*, si veda Leonardo da Vinci a pag. 11. Ovviamente il rapporto fra queste due grandezze fornisce la velocità media del vento in quell'intervallo [36]. Nel tempo i bracci del mulinello sono stati ridotti a tre per ottenere, durante le fluttuazioni del vento, un moto più regolare della girante [6] (Figura 34).

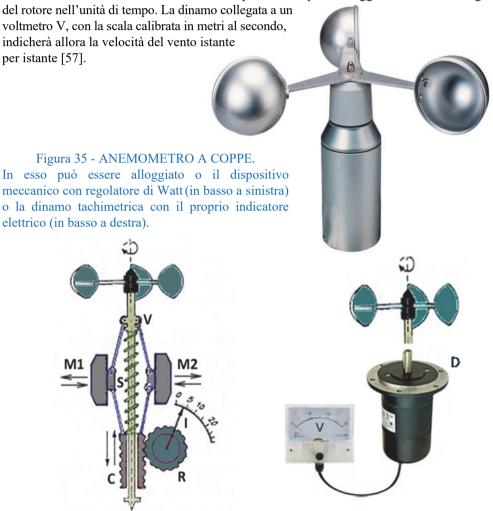
Figura 34 - ANEMOMETRO A COPPE di Thomas Robinson (1846), [1015].



Il problema di questi anemometri era la loro incapacità a dare una indicazione immediata dell'intensità della velocità, ovvero mantenere l'indice nella posizione corrispondente al numero dei giri del mulinello in un determinato momento.

Per risolvere il problema sono stati escogitati vari metodi. Il primo, completamente meccanico (Figura 35 in basso a sinistra), si basa sul regolatore ideato da James Watt⁸⁸ (1736 - 1819) nel 1788 [90]. Il mulinello mette in rotazione le masse M1 e M2 del regolatore, vincolato in V. Aumentando la velocità, fino a un certo valore, le masse si allontanano fra di loro vincendo l'azione della molla a spirale S che si comprime, fino a contrastare un ulteriore allontanamento delle masse, e solleva il cilindro scanalato C, il quale azione la ruota dentata R che posiziona l'indice I al valore corrispondente all'intensità del vento in quel momento. Viceversa quando la velocità del vento si riduce.

Nell'anemometro elettrico (Figura 35 in basso a destra) il mulinello è calettato sul rotore di una dinamo tachimetrica⁸⁹ D, ovvero un generatore rotante di elettricità, che produce una tensione elettrica continua di valore tanto più elevato quanto maggiore è il numero di giri



Oltre gli anemometri utilizzanti l'energia cinetica del vento, nel tempo sono stati realizzati anemometri che sfruttano: la pressione esercitata dal vento su un trasduttore stazionario, ad esempio il "tubo" realizzato, per altro scopo, da H. Pitot⁹⁰ (1695 - 1771) nel 1732 e quello di G. B. Venturi⁹¹ (1746 - 1822) nel 1797, la modificazione degli scambi termici di un corpo caldo in relazione al movimento dell'aria, la variazione della velocità di un'onda sonica (o ultrasonica) in relazione al movimento dell'aria [6].

Nella sua attività di strumentista Christopher Wren, già incontrato nelle misure anemoscopiche, si rivolse anche ad altre grandezze, ad esempio introdusse, a fine Seicento, una significativa modifica nel pluviometro di B. Castelli, che aveva dominato la pluviometria fino ad allora. Nel pluviometro di Wren [73] [100] l'acqua raccolta da un imbuto passava in una vaschetta che quando raggiungeva una prestabilita quantità si ribaltava svuotandosi quindi un meccanismo la riportava nella posizione originaria pronta a raccogliere altra acqua. La registrazione dei valori di quantità di pioggia avveniva su di un nastro di carta tramite un punzone che forava il nastro a ogni svuotamento.

La Figura 36 riporta una versione schematica e "modernizzata" del pluviometro di Wren: un imbuto convoglia l'acqua piovana nella vaschetta, mantenuta in posizione orizzontale A da un contrappeso P. Quando la vaschetta avrà raccolto la quantità di acqua sufficiente, il suo peso la farà ruotare fino alla posizione B e la vaschetta potrà vuotarsi, successivamente il contrappeso la riporterà in posizione A. Un contatore (meccanico o elettrico) registrando il numero di svuotamenti, in un dato intervallo di tempo, dà il volume di acqua piovana raccolto. Il volume diviso per la superficie della bocca dell'imbuto dà lo spessore della lama d'acqua che, in quell'intervallo, ha raggiunto il suolo.

Una evoluzione del pluviometro di Wren la propose l'inventore inglese Samuel Crosley 92 nel 1828 [62] [74] [100] [110], quando integrò il sistema con una seconda vaschetta che si riempiva di pioggia mentre la prima si svuotava (Figura 37). Il pluviometro a doppia vaschetta oscillante è ancora oggi ampiamente utilizzato: in figura l'imbuto raccoglitore sta riempiendo la parte destra della doppia vaschetta, mentre si sta vuotando la parte sinistra. Quando la vaschetta di destra avrà raccolto la quantità d'acqua sufficiente,

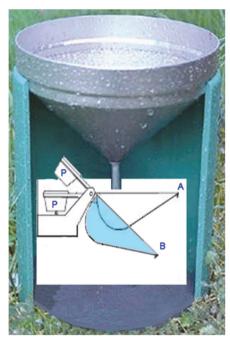


Figura 36 - PLUVIOMETRO A SINGOLA VASCHETTA OSCILLANTE. Vedi testo. Rielaborazione da [1016].

il suo peso la farà ruotare, su un asse orizzontale, sollevando quella, vuota, di sinistra.

È del 1878 un anemopluviografo (o anemojetografo) a doppia vaschetta oscillante realizzato da padre Francesco Denza⁶⁶ (1834 - 1894) che ovviava ad alcuni difetti degli strumenti allora in uso. Il Denza, fondatore della *Società Meteorologica Italiana*⁶⁶ (1865), fu un ottimo meteorologo ma viene ricordato principalmente per le sue capacità organizzative che oggi lo farebbero definire un *manager della scienza* [12] [1059] [1060].



Figura 37 - "Spaccato" di un moderno PLUVIOMETRO A DOPPIA VASCHETTA OSCILLANTE. Vedi testo. Rielaborazione da [1016].

In occasione del 25° anniversario della fondazione della Società Meteorologica Italiana, Denza aveva in qualche modo tratto le somme di una vita di lavoro: «L'Italia fu quella che diede alla meteorologia i primi e fondamentali istrumenti e che nei primi albori della scienza sperimentale additò le norme sicure e razionali per studiare l'atmosfera. [...] La nostra istituzione riuscì non solo a stabilire le prime e più alte vedette di meteorologia sulle elevate regioni delle Alpi ma fu pur essa che promosse ed accelerò il movimento meteorologico in altre contrade d'Italia ed in modo specialissimo in quelle del mezzodì, per la meteorologia affatto deserte». [1060]

Negli anni è stato un proliferare di pluviometri con "soluzioni" tecnologiche diverse pesata, a sifone, ecc.) [57]. Questa sovrabbondanza di pluviometri, ma ci potremmo riferire a qualsiasi altro dispositivo, ci induce a una riflessione sull'evoluzione nel tempo degli strumenti. Per misurare una certa grandezza meteorologica, ad esempio l'intensità della pioggia, gli incrementi delle conoscenze scientifiche e i conseguenti sviluppi tecnologici hanno portato a strumenti di maggiore precisione⁹³

ma enormemente più complessi nella struttura e più difficoltosi nella gestione. Ciò ha fatto sì che per misure meteorologiche routinarie si continui a costruire e commercializzare strumenti di fatto progettati secoli fa (termometro a mercurio, igrometro a capello, psicrometro a fionda, pluviometro a doppia vaschetta, ecc.). Nel Capitolo Quarto descriveremo, per corroborare questa affermazione, un gonioanemometro e un pluviometro a pesata, gestiti ciascuno da un microprocessore, questi strumenti forniscono le stesse indicazioni della banderuola di Ignazio Danti e del pluviometro di Benedetto Castelli, ma forniscono anche, sulle grandezze misurate, altre informazioni; ovviamente a scapito della semplicità strutturale e di funzionamento con notevole aumento dei costi.

Come vedremo le spiegazioni del principio di funzionamento di questi strumenti, in particolare del pluviometro, sono lunghe e tediose per la maggior parte dei lettori, al punto da indurci a non entrare nei dettagli costruttivi degli altri moderni strumenti meteorologici che trovano la loro massima espressione di complessità nel radar meteorologico, a cui accenneremo alla fine del Capitolo Quarto.

Dalla seconda metà del Settecento la ricerca di metodologie e strumenti, per misurare le grandezze atmosferiche, assunse un ritmo febbrile ma a causa della eterogeneità degli strumenti e dei metodi di osservazione, una gran parte dei dati rilevati non poté essere utilizzata per studi meteorologici. Ciò non tanto per inadeguatezze funzionali degli strumenti quanto per la disomogeneità nelle procedure di rilevamento dei dati, nella loro raccolta e nella loro presentazione. Ottenere che tutti gli osservatòri usassero apparecchiature standardizzate e metodi uniformi fu un'impresa lenta e difficile. Nonostante fossero passati

circa 150 anni da quando E. Halley⁴¹ suggeriva di usare, per la misura di una stessa grandezza, strumenti i più simili possibile *se non addirittura realizzati dallo stesso costruttore* [73]; soltanto nella seconda metà dell'Ottocento il problema dell'uniformità cominciò ad avere soluzioni, sia pure parziali, poiché i «se» e i «distinguo» degli studiosi, chiamati a dipanare i dubbi sul tipo di strumenti e sul loro impiego, furono moltissimi. Ciò era dovuto al fatto che le complicazioni aumentavano rapidamente sia per la maggiore precisione che agli strumenti si richiedeva sia per l'aumentato numero di grandezze da misurare [11].

Fra le nuove grandezze da misurare c'era sicuramente la radiazione solare che era stata, da sempre, oggetto di studio esclusivo dell'astronomia: è celebre l'attinometro, misuratore di radiazione (dal greco *aktis*, raggio), dell'astronomo John Herschel⁹⁴ (1792 - 1871), realizzato nel 1825 [14].

Nel 1837 il fisico francese Claude Pouillet⁹⁵ (1790 - 1868), anch'egli astronomo, progettò e costruì il primo strumento specifico per la misura della intensità della radiazione

solare che chiamò pireliometro (o piroeliometro ⁹⁶), Figura 38, basato su un calorimetro ⁹⁷ ad acqua. Lo scienziato, tramite queste misure, voleva determinare la costante solare ovvero l'energia solare, media annuale, che nell'unità di tempo raggiunge una superficie unitaria posta, al di sopra dell'atmosfera terrestre, ortogonalmente alla direzione di provenienza della radiazione solare.

Per la sua struttura il pireliometro non misura tutta la radiazione solare ma ne rileva la sola componente proveniente direttamente dal disco solare. A breve indicheremo le altre componenti.

Figura 38 - PIRELIOMETRO di Claude Pouillet (1837). Vedi testo. Da [60].



Tramite il sistema di allineamento, C-D in figura, lo strumento viene orientato verso il Sole. Il calorimetro A, con la superficie ricevente annerita, è realizzato con una lamina di argento e riempito di acqua. Il bulbo del termometro T penetra all'interno del recipiente e ne misura la temperatura dell'acqua. All'altra estremità del tubo è fissato un disco C, dello stesso diametro delle basi del recipiente, ciò permette di controllare l'ortogonalità dei raggi solari rispetto alla superficie annerita del calorimetro. Questa condizione è soddisfatta quando l'ombra del recipiente ricopre interamente la superficie del disco. Grazie a un supporto snodabile la superficie annerita può assumere tutte le possibili orientazioni. La differenza fra la temperatura rilevata all'interno del calorimetro e la temperatura ambiente è un indice dell'energia radiante incidente perpendicolarmente, nell'unità di tempo, sull'unità di superficie [60].

Anche l'eliofania (dal greco hélios, sole e phaínomai, apparire) ovvero il tempo in cui, durante il giorno, il Sole si manifesta in un cielo privo di nuvole ⁹⁸, fu oggetto di studio e a tale riguardo nel 1853 John Francis Campbell⁹⁹ (1821 - 1885) realizzò uno strumento di

misura che chiamò eliofanografo modificato nel 1879, nella parte per la registrazione, da George Stokes¹⁰⁰ (1819 - 1903) (Figura 39).

Lo strumento indica la durata, in ore e in decimi di ora, dell'insolazione; esso consiste in una sfera di vetro, che funge da lente convergente, montata concentricamente a una sezione sferica metallica il diametro della quale è tale che i raggi solari siano focalizzati su di essa durante tutto il moto apparente giornaliero del Sole. Sulla sezione metallica vi sono tre guide poste ad altezze diverse su cui viene inserita una striscia di carta diagrammale, diversa per ogni stagione, sulla quale viene tracciato il cammino del Sole, quando esso è presente (= eliofania), mediante la bruciatura provocata dai raggi solari concentrati dalla lente [36], [57] (Figura 40). La somma delle lunghezze delle bruciature sulla carta diagrammale indica il tempo di manifestazione del Sole durante il



Figura 39 - ELIOFANOGRAFO di Campbell con il supporto per la carta diagrammale di Stokes (1879). Foto di Gianni Fasano.

giorno. Ovviamente un tale strumento non consente l'acquisizione automatica dei dati rilevati e richiede la sostituzione manuale e giornaliera della striscia di carta. Durante l'istallazione grande cura va messa nel porre l'asse della sfera inclinato sul piano orizzontale con un angolo pari alla latitudine e nel posizionare lo strumento in modo tale che la "bruciatura" del mezzogiorno, ora locale [36], coincida con le ore 12 indicate sulla carta diagrammale, Figura 40.

Al pireliometro di Pouillet se ne aggiunsero altri, per esempio quello del 1896 di Vladimir A. Michelson¹⁰¹ (1860 - 1927) molto più accurato del precedente poiché utilizzava un calorimetro a ghiaccio invece che ad acqua, ma non pratico da usare. Successivamente, 1908, Michelson ne realizzò uno bimetallico con termometro a termocoppia¹⁰² che andava calibrato in riferimento a un pireliometro assoluto¹⁰³ [120] ma era molto più facile da trasportare e da usare [49], [60].



Figura 40 - Striscia di carta diagrammale invernale (in scala 1:2) di Campbell-Stokes.

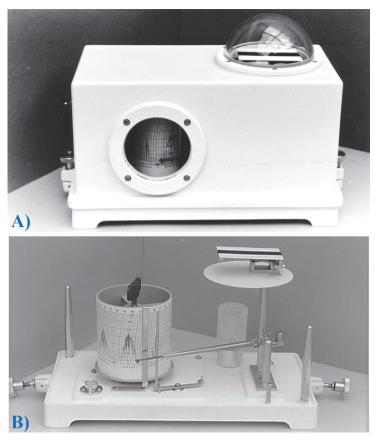


Figura 41 - PIRANOGRAFO BIMETALLICO di Max Robitzsch. Vedi testo. Foto G. Fasano.

Al pireliometro furono associati, in rapida successione, altre tipologie di radiometri per la misura di: *radiazione globale, ovvero proveniente dal disco solare e dalla volta celeste* nella gamma di lunghezze d'onda 0,3 ÷ 3 µm (ad esempio il piranografo di Max Robitzsch¹⁰⁴, 1887 - 1952, Figura 41 A-B e il piranometro di Figura 42 A), *radiazione diffusa ovvero proveniente dalla sola volta celeste*, nella stessa gamma, (Figura 42 B), ecc. [36], [57], vedi Appendice Seconda.

La Figura 41 A mostra il piranografo progettato nel 1932 da M. Robitzsch all'interno del suo contenitore che ne consente l'esposizione in campo, la parte B della figura ne dà la vista interna. Lo strumento registra *l'intensità della radiazione globale cioè la radiazione proveniente dal Sole e dalla volta celeste e incidente su una superficie orizzontale*. L'elemento sensibile è formato da tre lame bimetalliche affiancate di cui quella centrale annerita e quelle laterali imbiancate. Esse sono disposte in modo che le deformazioni termiche (dovute al riscaldamento solare) delle lame bianche agiscano, sugli spostamenti della penna, in senso opposto all'azione della lama nera. La registrazione avviene su carta, montata su un tamburo rotante (in versione: giornaliera, settimanale, mensile) ed è tracciata da un pennino a inchiostro. Lo strumento, come tutti gli strumenti non elettrici, è provvisto di meccanismo a orologeria caricato a molla.

La Figura 42 A mostra lo strumento per la misura dell'intensità della radiazione solare tramite la tensione elettrica prodotta da una termopila¹⁰⁵ (termopila di Moll-Gorczynski¹⁰⁶, ma ne esistono versioni anche a fotocella¹⁰⁷), sottostante la cupoletta in vetro, esposta alla radiazione del disco solare e della volta celeste: radiazione globale. Nella parte B della figura, il precedente strumento ha il sensore ombreggiato da una fascia che va regolata ogni due-quattro, giorni in relazione alla stagione. La fascia occulta il disco solare dall'alba al tramonto e, così facendo, consente di misurare la sola radiazione diffusa dalla volta celeste.





Figura 42 A/B - PIRANOMETRO in versione attuale (modello Eppley PSP 1957) [57], in A) si misura la radiazione globale; in B) lo stesso strumento, dotato di fascia ombreggiante, misura la radiazione diffusa.
Foto di Gianni Fasano.

In Meteorologia è uso comune chiamare solarimetro o radiometro ogni strumento per la misura della radiazione solare, a prescindere dalla sua struttura e dalla componente misurata (vedi Appendice Seconda).

Poiché la differenza fra la radiazione globale e la radiazione diffusa è la componente verticale della radiazione diretta [36], con i dati rilevati in sincrono dai due strumenti è possibile, con un semplice algoritmo, calcolare l'eliofania [32] [33].

Alla fine del XVIII secolo e l'inizio del XIX studiosi e costruttori proponevano continuamente nuovi strumenti per la misura di grandezze meteorologiche, sia già definite sia non ancora sufficientemente studiate. Tutto ciò imponeva una standardizzazione delle apparecchiature e una unificazione delle metodologie di misura.

Appendice Prima

EVAPORAZIONE

L'evaporazione, cioè la quantità d'acqua che nell'unità di tempo passa da una superficie unitaria, in cui è allo stato liquido, nell'atmosfera allo stato di vapore, in senso stretto, non è una grandezza meteorologica ma è la "risultante" di più grandezze meteorologiche. Essa dipende dalla quantità di energia solare che raggiunge la superficie, dal ricambio d'aria che si ha sulla superficie (ovvero dal vento che la lambisce), dalla temperatura e dall'umidità dell'aria, inoltre se la superficie è coperta da vegetazione al passaggio dell'acqua dalla superficie all'atmosfera, contribuisce anche la traspirazione delle piante, in questo caso si parla di evapotraspirazione.

Conoscere il valore istantaneo di questa grandezza non ha molto senso ma diventa utilissimo il valore medio nei tempi lunghi; la scala temporale dipende dall'uso che si dovrà fare dei dati, orientativamente: giorni-settimane nell'irrigazione delle colture, settimane-mesi nei bilanci idrici, mesi-anni in climatologia.

Si capisce da quanto detto che la misura diretta di questa grandezza è molto difficile. Più possibili sono le misure indirette, ovvero l'utilizzo di modelli matematici dai quali, introducendo tutti i parametri che partecipano al fenomeno, si possono ottenere risultati abbastanza soddisfacenti [36] [66].

Ciò non significa che nel tempo non siano stati fatti tentativi di realizzare strumenti per la misura diretta dell'evaporazione, ma tutti, fino ai giorni nostri, si sono discostati assai poco dall'evaporimetro di Benedetto Castelli (vedi pagina 21). In altre parole tutti gli strumenti, in un modo o in un altro, utilizzano un recipiente contenente una quantità nota di acqua e la lasciano evaporare o liberamente o attraverso filtri, e ne misurano le variazioni di livello o di peso nel tempo. Il dato così ottenuto va ovviamente corretto tramite coefficienti empirici che sono funzione del luogo, della stagione, delle colture, ecc.

Vista la variabilità dei risultati ottenibili con i diversi strumenti, l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM, di cui parleremo più dettagliatamente nel Capitolo Quarto) ne ha stabiliti alcuni indicando per essi le modalità sia di installazione sia di uso [120]. Il più diffuso per scopi agronomici è l'*evaporimetro di classe A* (Figura 44) [120].

Cronologicamente si arriva ai giorni nostri, al suddetto evaporimetro a vasca, partendo dall'evaporimetro di B. Castelli del 1639, seguito quello di E. Halley (vedi pagina 25) nel 1687 e da una schiera di strumenti [73] [90] riconducibili a due categorie: a variazione di peso o a variazione di livello. Nel primo caso si pesano le variazioni del quantitativo d'acqua presente in un contenitore, fra i primi realizzati ricordiamo quello del tedesco J. G. Leutmann (1667 - 1736) del 1725 e quello dello svedese G. W. Richmann (1711 - 1753) del 1749. Nel secondo caso un contenitore è riempito d'acqua fino a un certo livello e si misurano le variazioni di questo nel tempo.

In entrambi i casi il liquido del contenitore può essere a pelo libero o protetto da un materiale permeabile (ceramica porosa, carta bibula, ecc.). Fra i più recenti ricordiamo:

```
- Bellani<sup>62</sup> (1820) – livello; - Wild<sup>110</sup> (1874) – pesata (Figura 43 C);

- Prestel<sup>108</sup> (1864) – livello (Figura 43 A); - Livingston<sup>111</sup>(1915) – livello (Figura 43 D);

- Piche<sup>109</sup> (1872) – livello (Figura 43 B); - OMM (1958) – livello (Figura 44)
```

Figura 43 A - EVAPORIMETRO di Michael A. F. Prestel (1864).

Su una bacinella B è fissata una provetta P graduata di circa 30 cm, piena d'acqua e capovolta nella bacinella in modo che il foro F rimanga sotto al pelo libero dell'acqua. Appena un po' del liquido evapora da B, il foro non è più coperto dall'acqua e quindi una bolla d'aria penetra attraverso F nella provetta provocando un abbassamento di livello dell'acqua in essa contenuta che ripristina il livello di partenza nella bacinella. In tal modo dalla graduazione si può dedurre la quantità d'acqua evaporata da B in un determinato intervallo di tempo. Pregio del sistema è che il livello dell'acqua nella bacinella resta praticamente costante, finché c'è acqua nella provetta. [73] [90].

Figura 43 B - ATMOMETRO di Albert Piche (1872).

È costituito da un tubo di vetro trasparente graduato di altezza di circa 35 cm e di diametro di circa 2 cm. La pinza a molla tiene aderente all'apertura del tubo pieno d'acqua un disco di carta bibula. Questa assorbe acqua dalla provetta, quanto basta per reintegrare quella persa per evaporazione. La graduazione sulla provetta permette di valutare la quantità d'acqua evaporata in un determinato intervallo di tempo [73] [90]. Lo strumento è ancora in uso prevalentemente per scopi agronomici.



Figura 43 C - EVAPORIMETRO di Heinrich Wild (1874).

Carta bibula

Pinza _ a molla

Lo strumento è costituito da una bilancia B a indice D, il cui piatto P funge da vaschetta che espone una superficie liquida di 250 cm². La quantità di acqua evaporata in un intervallo di tempo è data dalla variazione di peso rilevata nello stesso intervallo. Nelle versioni attuali la bilancia è di tipo digitale e i valori rilevati a intervalli regolari possono essere registrati in modo automatico. [90]

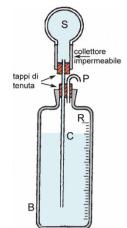


Figura 43 D - EVAPORIMETRO di Burton E. Livingston (1915).

È costituito da una sfera S cava, di vetro sinterizzato o di porcellana porosa, nella quale si innesta una cannuccia sottile di vetro o di ottone C. La sfera, riempita di acqua distillata, viene rovesciata in una bottiglia graduata B piena d'acqua fino a una linea di rifermento R. L'acqua che evapora attraverso la superficie porosa della sfera viene reintegrata, sotto l'azione della pressione atmosferica che preme, tramite la presa d'aria P, sull'acqua nella bottiglia B. L'abbassamento del livello dell'acqua in B, in un determinato intervallo di tempo, dà la misura dell'evaporazione in quell'intervallo [73] [90].

Oramai l'evaporimetro più utilizzato è quello di classe A, standard OMM, (Figura 44). Esso è costituito da una vasca cilindrica

di acciaio inossidabile profonda 25,4 cm con diametro di 120,7 cm. La vasca viene riempita fino a 5 cm dal bordo e l'evaporato si ottiene come misura della variazione di livello, tenendo conto dell'eventuale apporto pluviometrico. Il misuratore di livello può essere manuale o automatico. Nella figura non sono visibili gli altri strumenti di corredo per una misura standard che consenta di correlare il dato evaporativo con i parametri meteorologici: termometri per la temperatura dell'acqua e dell'aria, pluviometro, gonioanemometro, igrometro, solarimetro per la radiazione globale. Tutti questi strumenti, se elettronici, sono collegati a un unico sistema di acquisizione dati, i quali vengono registrati contemporaneamente con una prestabilita scansione temporale.

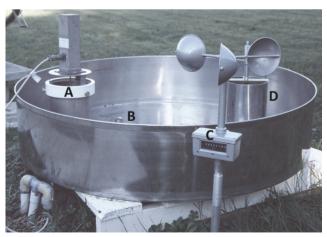
Nel caso si debba quantificare l'evaporazione da una superficie coperta da vegetazione, evapotraspirazione, gli strumenti di base sono i lisimetri che normalmente devono essere associati a strumenti meteorologici come nel caso degli evaporimetri. Questi strumenti consentono di stimare in modo più corretto le necessità irrigue di una coltura, valutazione estremamente importante soprattutto laddove l'acqua è una risorsa scarsa e quindi costosa. Non parleremo di questi strumenti sia perché alle spalle hanno una storia relativamente breve sia perché specifici dell'agrometeorologia e quindi esulano dai limiti meteorologici generali che ci siamo proposti.

Figura 44

VASCA EVAPORIMETRICA

DI CLASSE A, standard
definito nel 1958 dall'OMM.

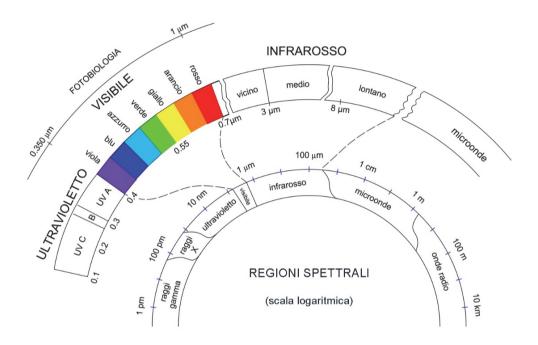
A Misuratore elettronico del
livello dell'acqua, B Troppopieno, C Anemometro per
vento sfilato, D Misuratore
manuale di livello dell'acqua
[90], [120].



Appendice Seconda

SPETTRO DELLA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA

In senso stretto col termine *radiometro* si deve intendere ogni strumento idoneo a misurare le diverse bande spettrali dello spettro della radiazione elettromagnetica, e non solo quella stretta porzione che riguarda la radiazione solare di interesse per la meteorologia.



Lo schema riportato evidenzia che la radiazione visibile, chiamata *luce* che sollecita nell'occhio umano i colori indicati, è della stessa natura elettromagnetica della radiazione [29], [36] che sta alla base del funzionamento di: radio, tv, telefonini, forni a micro-onde, apparecchi radiografici a raggi X, ecc.

Si fa osservare che nello schema sono riportate le lunghezze d'onda: le più corte espresse in picometri (1 pm = 10^{-12} m), in nanometri (1 nm = 10^{-9} m), in micrometri (1 µm = 10^{-6} m), per poi passare all'onde centimetriche, metriche e kilometriche: ma teoricamente lo spettro continua indefinitamente da entrambe le parti.

Nello schema la dicitura scala logaritmica si riferisce solamente all'arco più interno.

Come esempio di radiometri non utilizzati per la misura della radiazione solare citiamo i termometri all'infrarosso che misurano la temperatura dei corpi rilevando, senza alcun contatto, la radiazione infrarossa da loro emessa nella gamma $8 \div 14~\mu m$ [57]. Ritroveremo questi strumenti nei prossimi Capitoli.

CAPITOLO TERZO

DALLA PRIMA CONFERENZA METEOROLOGICA (1853) ALLA ORGANIZZAZIONE METEOROLOGICA MONDIALE (1951)

Noi partecipiamo a una riunione per la quale si cercherebbe invano una analogia nella Storia. Fino a oggi quando gli ufficiali di marina si riunivano così numerosi era per deliberare, all'ombra dei cannoni, sui mezzi più efficaci per distruggere il genere umano. Oggi, invece, vediamo riuniti i delegati di quasi tutte le nazioni marittime per il nobile scopo di servire l'umanità, cercando di rendere sempre più sicura la navigazione. Ritengo, o signori, che possiamo essere orgogliosi di aprire questa nuova era.

(Matthew Fontaine Maury, dal suo intervento al First International Maritime Conference held at Brussels in 1853. For Devising an Uniform System of Meteorological Observations at Sea. Official Report. Bruxelles, settembre 1853)



CAPITOLO TERZO

È per iniziativa di Matthew Fontaine Maury¹¹² (1806 - 1873), illustre oceanografo statunitense, che nel 1853 si tenne in Belgio, a Bruxelles, la *Prima Conferenza Marittima per Escogitare un Sistema Uniforme di Osservazioni Meteorologiche del Mare*, in seguito indicata con il nome *Prima Conferenza Meteorologica Internazionale*, per sollecitare i Paesi marittimi a cooperare nell'unificazione delle osservazioni meteorologiche marine al fine di «*rendere sempre più sicura la navigazione*», come egli stesso ebbe a dire all'inizio dei lavori [11].

Dopo questo primo "esperimento" di unificazione, è sempre più sentita l'esigenza di una organizzazione internazionale permanente per unificare e coordinare le attività meteorologiche nazionali non solo marine; come proposto nel 1863 da H. W. Dove¹¹³ (1803 - 1879) e nel 1868 da E. Renou¹¹⁴ (1815 - 1902) e H. Marié-Davy¹¹⁵ (1820 - 1893).

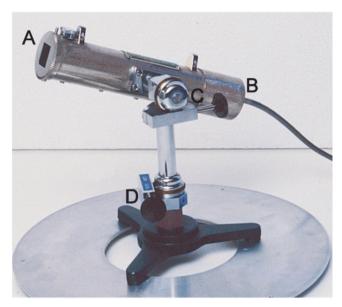
Nel 1872 in Germania a Lipsia, a 19 anni dalla prima, si riunisce la *Seconda Conferenza Meteorologica Internazionale* che si accorda su talune unificazioni e indice, per l'anno seguente a Vienna (1873), il *Primo Congresso Meteorologico Internazionale*. Qui si compiono nuovi progressi in materia di unificazione, si elegge un *Comitato Permanente per la Meteorologia* e si propone di costituire un fondo internazionale per la realizzazione di *Osservatori meteorologici* in località remote [92]. Su quest'ultimo argomento il meteorologo W. Köppen¹¹⁶ (1846 - 1940) presenta una particolareggiata proposta [8].

Il Comitato Permanente per la Meteorologia tiene quattro sessioni, tutte finalizzate ad estendere l'unificazione meteorologica e metrologica: in Austria, a Vienna, subito dopo la chiusura del Congresso, in Olanda, a Utrecht nel 1874, nel Regno Unito, a Londra nel 1876, di nuovo a Utrecht nel 1878 dove viene convocato, per il 1879 in Italia, a Roma, il Secondo Congresso Meteorologico Internazionale. È in questo contesto che a Roma, nel 1879, il Comitato Permanente per la Meteorologia fu sostituito dall'Organizzazione Meteorologica Internazionale (OMI), con i seguenti fini istituzionali: promuovere la cooperazione internazionale nell'ambito meteorologico, sostenere la ricerca meteorologica e stabilire criteri di uniformità nelle pratiche operative, con particolare riguardo sia al rilevamento e alla registrazione dei parametri meteorologici, sia alla pubblicazione e agli scambi dei dati rilevati [8], [92]. L'OMI per evitare impacci derivanti dalle pregiudiziali politiche cercò di essere più informale possibile ma, dopo la Prima Guerra Mondiale, intorno alla metà degli anni '30, da più parti sorsero perplessità su questa "non ufficialità" finché, come vedremo nel prossimo Capitolo, nel 1951 l'OMI fu trasformata in Agenzia Specializzata delle Nazioni Unite con il nome di Organizzazione Meteorologica Mondiale.

Un quadro cronologico dei precedenti, ed altri, eventi è riportato nell'Appendice Prima di questo Capitolo.

A riguardo della solarimetria, il Congresso di Roma stabilì che « le ricerche sulla radiazione solare non sono ancora sufficientemente approfondite per poter proporre adeguate metodologie di osservazione» [60], e si rinviò ogni decisione in merito a un successivo incontro che si tenne a Parigi nel 1896, ma qui si limitarono a nominare una Commissione per la Radiazione Solare col compito di stabilire uno standard per gli strumenti e per le procedure di misura. Ma nessuna decisione operativa fu presa nelle successive riunioni in Russia, Pietroburgo 1899, e nel Regno Unito, Southport 1903. Finalmente a Innsbruck (Austria) nel 1905, nell'ambito della Terza Conferenza dei Direttori dei Servizi

Figura 45 - PIRELIOMETRO di Knut Ångström (vedi testo). Nella figura non è visibile il sistema elettrico per la gestione dello strumento. Foto di Gianni Fasano.



Meteorologici Nazionali, fu deciso di prendere come strumento di riferimento il pireliometro realizzato nel 1893 dal fisico svedese Knut Johan Ångström¹¹⁷ (1857 - 1910) [8], [60], Figura 45, nella versione che ancora oggi è utilizzata.

Il pireliometro di Ångström, nella versione attuale [57], è un tubo di circa 25 cm di lunghezza con una estremità, A, aperta e una, B, chiusa. L'apertura dello strumento è all'incirca pari all'angolo solido entro cui dalla Terra si vede il Sole con il suo alone. Tramite due ingranaggi, C e D, lo strumento viene orientato in modo che l'estremità A sia ortogonale alla radiazione solare (nella figura l'orientamento è manuale, ma lo strumento può essere dotato di inseguitore solare per rendere automatico il suo continuo allineamento con il Sole). La radiazione solare entra nello strumento e va a colpire una piastrina P1 di platino annerito posta all'estremità B, a fianco di una identica piastrina P2 che però rimane in ombra. P1 si scalda per effetto della radiazione solare mentre P2 viene riscaldata inviando in essa una corrente elettrica. La corrente è regolata in modo da rendere la temperatura di P2 uguale a quella di P1; ciò viene indicato da un termometro a termocoppia che esegue la misura della differenza tra le due temperature, la quale si annulla quando queste sono uguali. Questa condizione di equilibrio ci dice che la potenza termica inviata dal Sole a P1 è uguale a quella elettrica che stiamo inviando a P2; questa seconda è facilmente calcolabile dal valore di corrente che stiamo erogando e da quello della tensione elettrica che la produce. Ne consegue che, all'equilibrio, nota P2 è nota la potenza che, in quelle condizioni, il Sole sta inviando allo strumento.

Le varie deliberazioni emesse dai diversi organismi che nel tempo avevano assunto il ruolo di "unificatori", avevano suggerito la necessità di realizzare stazioni meteorologiche dotate di strumenti di misura in cui le rilevazioni dei diversi parametri fossero eseguite, nella stessa stazione, "contemporaneamente" e registrate con le stesse procedure. In altre parole una stazione di misura doveva essere una sorta di meteorografo multiparametrico (vedi pagina 34) di cui ogni nazione si doveva dotare, concordando con le altre nazioni tipologia di strumenti e modalità di rilevamento.

Ricordiamo che nel tempo vari studiosi avevano proposto meteorografi registratori multiparametrici meccanici: nel 1663 Chistopher Wren presentò alla Royal Society il suo Weather clock (orologio meteorologico) con il quale si potevano apprezzare le variazioni nel tempo di: pressione, temperatura, umidità, vento, quantità di pioggia. Lo strumento fu perfezionato da Robert Hooke che ne presentò una nuova versione nel 1679 [73] [80]. Del XVIII secolo è il già citato strumento meteorologico multiplo di Felice Fontana [11] e del 1780 è un meteorografo, molto complesso, realizzato dal medico milanese Pietro Moscati¹¹⁸ (1739 - 1824) che fu installato nel suo Osservatorio astronomico e geomagnetico. Nel meteorografo, Figura 46 [78], il Moscati aveva inserito più strumenti meteorologici, alcuni ideati in precedenza da altri autori: pluviometro e barometro di Marsilio Landriani¹¹⁹ (1751 - 1815), igrometro a capello di Horace-Bénédict de Saussure (1740 - 1799), termometro a mercurio di Daniel Gabriel Fahrenheit³⁰ (1686 - 1736), elettrografo¹²⁰ "per evidenziare lo scoppio" dei fulmini (in Figura 46 il particolare è indicato con Fig. 3^a) di Giovanni Battista Beccaria¹²¹ (1716 - 1781); altri erano sue rielaborazioni di strumenti già esistenti come l'anemometro a quattro palette e contrappesi di Benjamin Martin¹²² (1704 - 1782) e John Smeaton¹²³ (1724 - 1792), in Figura 46 il particolare è indicato con Fig. 1a; infine erano di sua progettazione l'anemoscopio a otto direzioni, in Figura 46 il particolare è indicato con Fig. 2^a, e l'evaporimetro. Nell'Osservatorio erano presenti anche strumenti per la registrazione giornaliera della declinazione¹²⁴ e dell'inclinazione¹²⁵ del campo magnetico terrestre, ma l'autore arrivò alla conclusione che queste grandezze non avevano «visibile relazione con alcuna delle atmosferiche variazioni» (vedi Appendice Seconda) [78].

Per un meteorografo multi-parametrico, sintesi di aspetti meccanici ed elettrici, bisogna arrivare al 1867 quando Padre Pietro Angelo Secchi¹²⁶ [12] (1818 - 1878), gesuita, direttore, a Roma, dell'Osservatorio Astronomico del Collegio Romano, presenta alla Esposizione Universale di Parigi il suo meteorografo, Figura 47 [75], [80].

In un articolo del 2001 di S. Maffeo dal titolo *Padre Angelo Secchi e la meteorologia* [75] si legge:

«[...] Essa [macchina] in una faccia disegna le indicazioni della direzione del vento, dell'ora della pioggia, la curva barometrica, quella della velocità del vento e del termografo metallico. Sopra un secondo quadro nella seconda facciata dà in iscala più grande il barometro, il termometro secco e il bagnato per il psicrometro, e l'ora della pioggia, e anche può dare la quantità di essa. [...] Ogni quadro contiene una decade e alla fine del mese nello spazio di questo quadro che resta tra una curva meteorologica e l'altra, si disegnano le tre curve delle variazioni magnetiche cioè del Declinometro, del Bifilare e del Verticale. Avendo così su questi quadri a fronte i fenomeni meteorici e i magnetici è stato facile rilevare se fra essi vi era relazione. E questa sorse immediata. Benché la legge di relazione non sia semplice, si provò però che non accade burrasca grande che non sia accompagnata da cambiamenti magnetici. Anzi questi possono benissimo servire a prenunziare l'avviso della burrasca stessa. Sono ormai 18 anni che si osserva tale coincidenza, onde non può dirsi esser essa cosa fortuita od accidentale» (vedi Appendice Seconda).

Nel meteorografo di Secchi i sensori erano installati sulla Torre Calandrelli, prospicente all'osservatorio principale, e i loro segnali venivano trasmessi, tramite un fascio di cavi elettrici, nel locale dove era posto il sistema di registrazione. Per questo strumento che consentiva la registrazione di: direzione e intensità del vento, temperatura, umidità, pressione e quantità di pioggia, fu conferito ad Angelo Secchi, da Napoleone III in persona, un premio in denaro e la nomina di Ufficiale della *Légion d'honneur* [89].

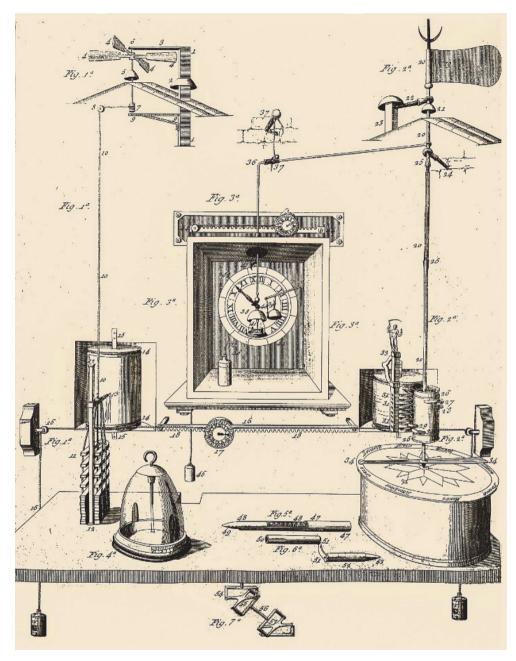


Figura 46 - Schema del Meteorografo di Pietro Moscati (1780) [78]. I particolari indicati con *Fig. 1^a*, *Fig. 2^a*, *Fig. 3^a* rappresentano nell'ordine: Anemometro, Anemoscopio, Elettrografo. (vedi Appendice Seconda).



Figura 47 - Meteorografo dell'osservatorio astronomico del Collegio Romano di Padre Angelo Secchi (1867); strumento attualmente esposto al Museo Astronomico Copernicano di Monte Porzio Catone (Roma) (Riproduzione su concessione di ©*INAF Museo Astronomico e Copernicano*). (Vedi Appendice Seconda).

Nell'Appendice Seconda di questo capitolo torneremo su Moscati e Secchi un medico e un fisico (abbiamo già visto Galilei e Santorio), studiosi di meteorologia con finalità diverse, i quali pur non volendo hanno dato inizio a una *querelle* non ancora completamente risolta.

La complessità strutturale dei sistemi di rilevamento, di registrazione e di trasmissione dei dati non consentirono un "lungo futuro" a questi apparati.

Ma il passaggio dalla meteorologia delle condizioni atmosferiche del momento alla meteorologia previsionale, su vasta scala, non poteva realizzarsi senza una capillare diffusione dei dati rilevati anche nelle stazioni più remote. Il problema era allora come trasmettere velocemente i dati meteorologici rilevati nei diversi Osservatori per condividerli fra loro.

Un primo tentativo fu fatto nel 1793 quando Claude Chappe¹²⁷ (1763-1805), con l'aiuto del fratello, mise a punto un sistema di comunicazione visiva¹²⁸ del tipo semaforo-meccanico. L'apparato era costituito da due bracci collegati da una traversa, le tre aste erano mobili sul piano verticale. I due bracci potevano assumere sette posizioni e la traversa quattro, per un totale di 196 configurazioni, ciascuna delle quali codificava: una lettera, un numero, un simbolo grafico. Le aste (di circa 4 metri) erano manovrate con un sistema di catene, contrappesi e maniglie. Il tutto era montato su torri (anche preesistenti), distanti da 12 a 25 km, per costituire una linea di trasmissione. Su ciascuna torre erano piazzati due telescopi orientati in direzione delle due stazioni rice-trasmittenti adiacenti: i segnali ricevuti dall'operatore di una torre venivano decodificati e replicati alla torre successiva, nello stesso verso di trasmissione¹²⁹ (Figura 48 A-B).

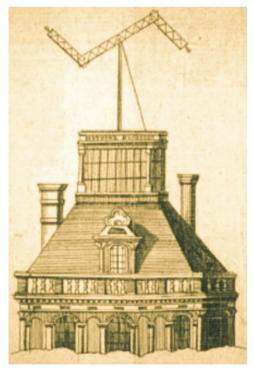


Figura 48 A - Una stazione del telegrafo ottico Louvre-Parigi, [1050].

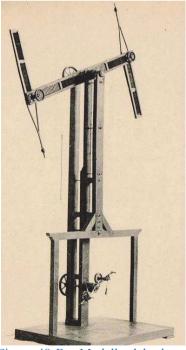


Figura 48 B - Modello del telegrafo ottico di Chappe, [1051]. Conservatoire National des Arts & Metiers – Parigi.

Il sistema fu inizialmente chiamato tachigrafo (parola costruita dal greco con *tachys*, veloce e *grafo* dal verbo *gráphein*, scrivere) e successivamente telegrafo (parola costruita dal greco con *têle*, lontano e *grafo*). Nel 1794 fu istallata una prima linea fra Parigi e Lilla, con 15 stazioni per una distanza di circa 200 km, allo scopo di trasmettere informazioni militari¹³⁰. Il telegrafo di Chappe non ebbe però un grande seguito in generale e in meteorologia in particolare, poiché in quello stesso periodo veniva realizzato il molto più versatile telegrafo elettrico¹³¹ [25], [67].

Questo raggiunse i suoi massimi risultati quando Samuel Morse¹³² (1791 - 1872), in collaborazione con il fisico Joseph Henry¹³³ (1797 - 1878) e il chimico Leonard D. Gale¹³⁴ (1800 - 1883), mise a punto una applicazione del telegrafo che si rivelò la più pratica tra le varie proposte in quegli anni. Nel 1837 Morse propose una codificazione simbolica di lettere e numeri tramite un codice binario, *ante litteram*, in cui a ogni simbolo grafico corrispondeva una sequenza determinata di impulsi di corrente elettrica più o meno prolungati (ovvero linee e punti)¹³⁵ sulla linea telegrafica. In questo modo un operatore codificava i testi scritti e li trasmetteva via telegrafo ad altro operatore che li decodificava rimettendoli in "chiaro".

In questo stesso periodo alcuni fisici si impegnavano per trovare un modo per collegare direttamente i sensori meteorologici alle linee telegrafiche per trasmettere senza mediazione i dati.

Nel 1837 il fisico inglese Charles Wheatstone¹³⁶ (1802 - 1875) si dedicò a migliorare i dispositivi elettromagnetici utilizzati nel telegrafo, e contemporaneamente studiò la possibilità di applicare la trasmissione telegrafica ai sensori meteorologici. Nel 1843 realizzò un dispositivo che, tramite la linea telegrafica, trasmetteva i segnali rilevati da sensori elettrici di pressione e di temperatura a una stazione ricevente distante alcuni chilometri.

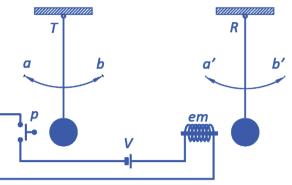
Nel 1868, in Belgio, il fisico François van Rysselberghe¹³⁷ (1846 - 1893) sviluppò un meteorografo applicando i più recenti risultati di Wheatstone per convertire le misure di pressione, temperatura e velocità del vento, in un tracciato, del loro andamento temporale, su un tamburo rotante. Questo dispositivo fu presentato da van Rysselberghe, nel 1875, all'Accademia di Bruxelles e nel 1881 al Congresso sull'elettricità di Parigi.

Nel 1874 il fisico olandese, E. H. von Baumhauer¹³⁸ (1820 - 1885), pubblicò il progetto di un telemeteorografo, simile a quello di van Rysselberghe, scrivente contemporaneamente su un tamburo rotante *in situ* e su uno remoto. La trasmissione di tracciati analogici dal primo al secondo tamburo richiedeva una assoluta certezza di sincronizzazione e von Baumhauer, a questo scopo, propose l'uso di un segnale, da inviare su una linea telegrafica, per far partire contemporaneamente i due tamburi rotanti. Ma oltre alla sincronizzazione si doveva imporre ai due tamburi una velocità di rotazione costante e identica. Questo fu il limite del telemeteorografo di von Baumhauer nel quale, data la tecnologia dell'epoca, la velocità di rotazione dei tamburi non era sempre identica [24], [54].

Il costruttore di strumenti olandese H. Olland¹³⁹, di Utrecht, si dedicò a questo problema e realizzò, nel 1877, un complesso sistema usando come base il telemeteorografo di von Baumhauer e includendo in esso un *pendolo di sincronismo*, sul principio di quello realizzato dal fisico scozzese Alexander Bain¹⁴⁰ (1811 - 1877) nel 1842 (Figura 49), che a sua volta si era ispirato a un precedente lavoro di C. Chappe.

Questa versione del telemeteorografo acquistò notevole importanza poiché Olland la adottò per i numerosi meteorografi elettrici, in grado di registrare anche altre grandezze, da lui realizzati fra il 1875 e il 1895; strumenti che funzionando per anni acquistarono grande rinomanza [8].

Figura 49 - In linea di principio, il sistema di sincronizzazione è formato da due pendoli uno Trasmettitore T e uno Ricevitore R. Quando T raggiunge il punto a preme il pulsante p che tramite la linea telegrafica eccita, con la tensione V, l'elettromagnete em, il quale attira in a' il pendolo R. Nel momento in cui T si allontana da p, muovendosi verso b, il pulsante si riapre, em si diseccita e



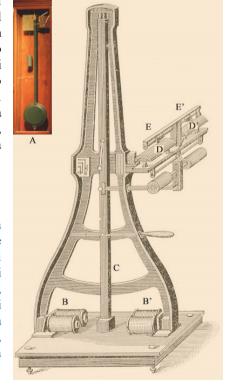
R si muove verso b'. Così facendo, a ogni oscillazione completa i due pendoli si rimettono in sincrono e a loro volta sincronizzano il moto dei tamburi rotanti; la sincronizzazione periodica e molto ravvicinata consente di ottenere una soddisfacente operatività del sistema per lunghi periodi [54].

Le difficoltà incontrate dai precedenti autori erano dovute essenzialmente al voler trasmettere direttamente i segnali dei sensori o i grafici degli andamenti temporali delle grandezze meteorologiche.

Una qualche speranza l'aveva data il pantelegrafo (dal greco: *pan*, tutto; *grafo*, scritto; *tele*, da lontano; Figura 50), realizzato nel 1855 dal sacerdote fisico-chimico Giovanni

Caselli¹⁴¹ (1815 - 1891). Il dispositivo da lui realizzato può essere considerato l'antesignano del *telefax*. Si disegnava, o scriveva, l'originale su un foglio di stagno e si otteneva la copia su un foglio di carta umidificato con una soluzione di prussiato¹⁴² giallo di potassio. Un sistema elettrico di lettura, sul trasmettitore, e uno di scrittura, sul ricevitore, sincronizzati con un dispositivo a pendoli, come quello già descritto (Figura 49), collegati con linea telegrafica consentiva la trasmissione di grafici e dati [59].

Figura 50 - PANTELEGRAFO di Caselli (1855). In figura 50 un ricetrasmettitore che poteva comunicare con un apparato analogo. I due dispositivi erano sincronizzati tramite due pendoli A che a loro volta davano il tempo agli elettromagneti B-B' che facevano oscillare l'asta C, la quale muoveva avanti-indietro e lateralmente i pennini trasmittente P e ricevente P'. La pagina da trasmettere e quella da ricevere erano poggiate, nell'ordine, sui supporti D-D'. Rielaborazione da [1054].



Il fatto che il pantelegrafo¹⁴³ non sia stato utilizzato in meteorologia è dovuto alla complessità del suo uso. Le stazioni meteorologiche dovevano trasmettere dati più volte al giorno con originali sempre diversi che dovevano essere prima trascritti su costosi fogli di stagno riutilizzabili solo molto "laboriosamente".

La soluzione al problema si ebbe quando si decise di trasmettere i valori numerici delle grandezze misurate, valori facilmente codificabili in Morse. Per quanto riguarda i grafici essi andavano tradotti manualmente, da un operatore, in forma numerica e ciò richiedeva sia di selezionare i valori più significativi (es. massimi e minimi) e quelli rilevati ad ore prestabilite, sia di eseguire delle pre-elaborazioni (es. valori medi), per ridurre la quantità di dati trasmessi. Con il sistema Morse i dati meteorologici codificati erano facilmente trasmessi telegraficamente e quindi, noto il codice, nuovamente convertiti in forma numerica dal ricevente. Unico inconveniente del sistema Morse era la necessità di un operatore per trascrivere e inviare i dati codificati e di un secondo operatore, in ricezione, che traducesse in "chiaro" le sequenze codificate. L'inconveniente fu presto risolto automatizzando sia la codifica dei dati in partenza sia la loro decodifica in arrivo. Una volta stabilita una convenzione sui dati da trasmettere e sul protocollo di trasmissione, il telegrafo consentì alla meteorologia previsionale di accentrare rapidissimamente e simultaneamente i bollettini meteorologici proveniente dai luoghi più lontani; realizzando di fatto reti nazionali e internazionali per la meteorologia sinottica [81].

L'astronomo Urbain Le Verrier¹⁴⁴ (1811 - 1877) direttore dell'Osservatorio di Parigi, il quale era profondamente interessato alla meteorologia e aveva concepito progetti per una riorganizzazione delle attività meteorologiche francesi, compì il passo decisivo verso la realizzazione di un'attività sinottica ai fini pratici. Durante la guerra di Crimea (1853 -1856), Le Verrier ricevette l'incarico, dal Ministero della Guerra, di controllare se la tempesta del 14 novembre 1854145, che aveva gravemente danneggiato la flotta franco-inglese a Balaklava nel Mar Nero, non fosse da identificarsi con quella che nei giorni precedenti aveva colpito buona parte del bacino del Mediterraneo. Nel giro di poche settimane Le Verrier riuscì a ottenere, da ben 250 località, notizie sulle condizioni del tempo nei giorni 13-16 novembre 1854 e si convinse che gli eventi sottoposti al suo esame fossero dovuti a un fenomeno con caratteri di individualità che si spostava da un luogo all'altro. Il 16 febbraio 1855 Le Verrier presentò un documento, sul lavoro svolto, che concludeva dicendo che se fosse esistita una organizzazione meteorologica internazionale, in grado di diffondere telegraficamente le informazioni meteorologiche, la tempesta di Balaklava del 14 novembre 1854 poteva essere prevista. Per sostenere questa sua tesi il 19 febbraio 1855 Le Verrier presentò all'Accademia una carta meteorologica con i bollettini del tempo delle ore 10 dello stesso giorno [8].

È facilmente intuibile che nella sua successiva attività Le Verrier dedicasse ogni sforzo per concretizzare questo suo sogno iniziando ad attivare collaborazioni con i più noti meteorologi dell'epoca.

Nel 1855 Napoleone III per i risultati ottenuti da U. Le Verrier nell'analisi della tempesta del 14 novembre 1854, lo incaricò di realizzare una rete meteorologica sinottica che fu conclusa nel 1857; essa collegava fra loro, via telegrafo, numerose città europee e la Tunisia.

È dello stesso anno la collaborazione con Parigi di Angelo Secchi che, d'accordo con il Ministero dei Lavori Pubblici dello Stato Pontificio, partecipava alla trasmissione dei bollettini compilati quotidianamente nelle città di Bologna, Urbino, Perugia, Ferrara e Ancona in vista di poter organizzare una assistenza alla navigazione nel Tirreno e nell'Adriatico [75]. Il risultato di ciò fu che dal 1863 si poté iniziare a compilare la "carta isobarica giornaliera" d'Europa,

sulla base dei bollettini ricevuti telegraficamente. Nello stesso anno in Inghilterra Alexander Buchan¹⁴⁶ (1829 - 1907) preparava una serie di carte meteorologiche europee con isobare e velocità del vento pubblicandole nelle *Transaction* della *Royal Society* di Edimburgo [8], [11].

Lo straordinario successo dell'iniziativa mutò il corso della meteorologia; fu universalmente riconosciuto che estrapolando lo spostamento degli elementi meteorologici e principalmente delle configurazioni isobariche e anemometriche si poteva prevedere il tempo con buona attendibilità spaziale e temporale: la meteorologia pratica prese il sopravvento sulla meteorologia teorica (Figura 51). La rete sinottica globale odierna si è sviluppata da quella di Le Verrier senza soluzione di continuità.

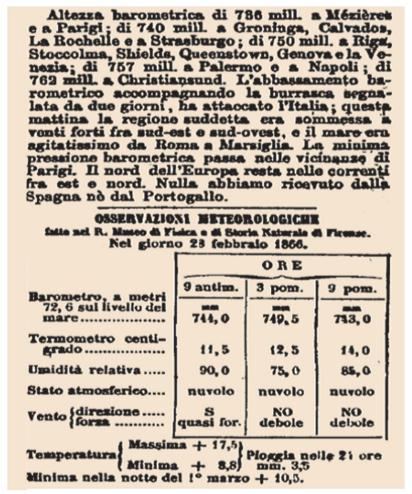


Figura 51 - Dispaccio meteorologico spedito telegraficamente dall'Osservatorio Imperiale di Parigi all'Osservatorio del Regio Museo di Firenze il 28 febbraio 1866 alle ore 17, [81].

Con l'ingresso dei solarimetri nell'*armamentario strumentale* dei meteorologi fu chiaro che tutte le grandezze meteorologiche erano, in estrema sintesi, effetto del soleggiamento.

Volendo semplificare possiamo così riassumere: i diversi soleggiamenti, ad esempio fra terra e mare, provocano diversi riscaldamenti delle superfici, a causa di ciò l'aria che le sovrasta assume densità diverse e di conseguenza diverse pressioni, queste producono spostamenti di masse d'aria a livello del suolo (dall'alta pressione alla bassa) ovvero i venti. Il riscaldamento, degli specchi d'acqua, provoca l'evaporazione dell'acqua che avendo densità minore dell'aria tende a salire di quota formando le nuvole e queste, spostandosi con il vento, provocano piogge e altre idrometeore in luoghi diversi da quello in cui si sono generate. Da questi brevi cenni si capisce che anche le correnti marine sono generate dai gradienti di temperatura dovuti al diverso soleggiamento delle acque su scala globale, e ai venti su scala locale [29].

Stabilito questo principio si iniziò a studiare l'effetto della radiazione solare sulla Terra, ovvero la sua interazione con l'orografia, l'oceanografia, l'idrografia, e come queste interazioni condizionavano flora, fauna e popolazioni umane. In altre parole prendevano sempre più consistenza gli studi di climatologia¹⁴⁷. Uno dei fondatori della climatologia in senso moderno fu il naturalista tedesco A. von Humboldt¹⁴⁸ (1769 - 1859) che aveva una visione « [...] "fisiognomica" del paesaggio naturale, come espressione di una profonda forza di organizzazione esercitata dall'ambiente e dalle sue caratteristiche fisiche e climatiche sugli esseri viventi (sicché i tipi delle associazioni vegetali tendono a convergere morfologicamente, al di là delle stesse diversità sistematiche delle specie coinvolte, in regioni distanti tra di loro, ma simili per condizioni) [...]» [79].

Fra i maggiori studiosi della distribuzione della temperatura sulla Terra e le vicissitudini degli scambi di calore possiamo ricordare W. Köppen¹¹⁶ (1846 - 1940), il quale presentò (1884) la sua celebre classificazione dei climi, che perfezionò sino al 1931. La distribuzione del calore sulla superficie fu studiata anche da A. Angot¹⁴⁹ (1848 - 1924) e da S. P. Langley¹⁵⁰ (1834 - 1906), il quale ne studiò la correlazione con la radiazione solare. La distribuzione dei venti e della pressione atmosferica venne analizzata da J. F. von Hann¹⁵¹ (1839 - 1921) che nel 1887 pubblica l'*Atlas der Meteorologie* [8].

Dopo sporadici contributi nel passato, sul finire del XIX secolo, la meteorologia si afferma sempre più come scienza fisica, con ampi sviluppi teorici. Da questi studi nasce la meteorologia moderna e numerosi scienziati partecipano alla costruzione di quella che allora si chiamava *meteorologia matematica*: W. von Bezold¹⁵² (1837 - 1907), H. R. Hertz¹⁵³ (1857 - 1894) e A. Oberbeck¹⁵⁴ (1846 - 1900), M. Margules¹⁵⁵ (1856 - 1920), Lord J. W. S. Rayleigh¹⁵⁶ (1842 - 1919), L. De Marchi¹⁵⁷ (1857 - 1936) [8].

Sul finire dell'Ottocento, L. Teisserenc de Bort¹⁵⁸ (1855 - 1913) compie quello che forse è l'ultimo progresso sostanziale della meteorologia sinottica isobarica, studia infatti i lineamenti fondamentali della circolazione atmosferica e introduce il concetto e il termine di *centri d'azione*, che domineranno per decenni la meteorologia sinottica. Nello stesso periodo J. Aitken¹⁵⁹ (1839 - 1919) sperimenta la condensazione del vapore acqueo in *aria atmosferica* e in *aria filtrata*, concludendo che nell'atmosfera il vapore condensa sempre su nuclei solidi (nuclei di condensazione). Come corollario a questo studio costruisce il primo contatore di nuclei di condensazione (1888) [8]. È da questi risultati sperimentali che prendono avvio lo studio fisico delle nubi (nefologia, dal greco *néphos*, nuvola) e lo studio delle nebbie (nefelometria dal gr. *néphelo*, nebbia). Come immediata conseguenza inizia la realizzazione dei primi strumenti per la misura di queste meteore. Nefometri e nefoipsometri (dal gr. *ipso* altezza, sommità) per la misura della copertura nuvolosa, dell'altezza e del moto delle nubi; nefelometri e diafanometri per la misura dello spessore e della densità delle nebbie e dell'atmosfera in genere. Oggi a questo fine sono molto usati i sistemi radar che vedremo in seguito.

Appendice Prima

CRONOLOGIA DEGLI EVENTI DAL 1853 AL 1951. Da [116]

Anno	Località	Evento
1853	Bruxelles	Prima Conferenza Meteorologica Internazionale
1872	Lipsia	Seconda Conferenza Meteorologica Internazionale
1873	Vienna	Primo Congresso Meteorologico Internazionale: viene eletto un <i>Comitato Permanente per la Meteorologia</i>
1873	Vienna	Prima Sessione del Comitato Permanente per la Meteorologia
1874	Utrecht	Seconda Sessione del Comitato Permanente per la Meteorologia
1876	Londra	Terza Sessione del Comitato Permanente per la Meteorologia
1878	Utrecht	Quarta Sessione del Comitato Permanente per la Meteorologia: viene convocato il Secondo Congresso Meteorologico Internazionale per il 1879 a Roma
1879	Roma	Secondo Congresso Meteorologico Internazionale durante il quale il <i>Comitato Permanente per la Meteorologia</i> fu sostituito con l' <i>Organizzazione Meteorologica Internazionale</i> (OMI)
1891	Monaco	Prima Conferenza dei Direttori dei Servizi Meteorologici Nazionali: istituisce all'interno dell'OMI un Comitato Internazionale per la Meteorologia
1896	Parigi	Seconda Conferenza dei Direttori dei Servizi Meteorologici Nazionali
1899	Pietroburgo	Riunione del Comitato Internazionale per la Meteorologia
1903	Southport	Riunione del Comitato Internazionale per la Meteorologia
1905	Innsbruck	Terza Conferenza dei Direttori dei Servizi Meteorologici Nazionali
1907	Parigi	Riunione del Comitato Internazionale per la Meteorologia: viene approvata una bozza di codifica delle Regole per le Osservazioni meteorologiche
1914-1918		Interruzione dei lavori a causa della Prima Guerra Mondiale
1919	Parigi	Quarta Conferenza dei Direttori dei Servizi Meteorologici Nazionali
1923	Utrecht	Quinta Conferenza dei Direttori dei Servizi Meteorologici Nazionali
1929	Copenaghen	Sesta Conferenza dei Direttori dei Servizi Meteorologici Nazionali
1935	Varsavia	Settima Conferenza dei Direttori dei Servizi Meteorologici Nazionali
1939	Berlino	Riunione del Comitato Internazionale per la Meteorologia: viene abbozzata una nuova <i>Convenzione Meteorologica Mondiale</i>
1939-1945		Interruzione dei lavori a causa della Seconda Guerra Mondiale
1946	Londra	Riunione straordinaria dei Direttori dei Servizi Meteorologici Nazionali
1947	Washington	Ottava Conferenza dei Direttori dei Servizi Meteorologici Nazionali: stabilì di trasformare l'OMI in <i>Organizzazione Meteorologica Mondiale</i> (OMM/WMO)
1951	Parigi	L'Organizzazione delle Nazioni Unite ratifica la Convenzione di Washington sostituendo l'OMI con l'OMM che diventa Agenzia Specializzata delle Nazioni Unite
1951	Parigi	Primo Congresso dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale

Appendice Seconda

METEOROLOGIA E GEOMAGNETISMO

Due scienziati a confronto

Vogliamo, prima di tutto, far notare come la meteorologia, che aveva iniziato la sua storia come pertinenza di fisici sperimentali e matematici, diventi, nel tempo, campo di indagine anche per esperti di altre discipline: agronomi, medici, astronomi. A proposito di questi ultimi il legame fra astronomia e meteorologia fu così stretto che in Italia, prima dell'Unità Nazionale, gli Osservatori Astronomici erano anche Osservatori Meteorologici; ovvero dopo duemila anni la distinzione aristotelica fra astronomia e meteorologia era stata annullata. All'inizio dell'Ottocento compito dell'astronomia era anche lo studio del campo magnetico terrestre; abbiamo già incontrato astronomi che si erano dedicati anche ai fenomeni magnetici e a quelli meteorologici, ricordiamo: A. Celsius (nota 30 pag. 120), T. Robinson (nota 87), H. Wild (nota 110) ecc. Nel 1836 l'astronomo Francesco Carlini¹⁶⁰ (1783 – 1862), direttore dell'Osservatorio Astronomico di Brera (Milano), aderì, per primo in Italia, all'Associazione Magnetica di Gottinga (oggi nel land della Bassa Sassonia) dotandosi anche di complessi strumenti per le misurazioni magnetiche. Carlini era ben conscio delle difficoltà alle quali andava incontro. A suo parere, infatti, lo studio dei fenomeni magnetici doveva essere compito degli studiosi di física, ma poiché questi non avevano mostrato grande interesse, era necessario che gli studiosi di astronomia assumessero questo incarico in quanto aventi grande consuetudine con le misure richieste per l'analisi degli elementi magnetici (determinazione del tempo, conoscenza della posizione del meridiano con osservazioni azimutali, ecc.). Il fenomeno del magnetismo poteva inoltre non essere caratteristico della Terra ma poteva essere presente in altri corpi celesti [103].

« [...] Il problema posto da Carlini era importante: gli osservatori astronomici in Italia erano in uno stato di estrema difficoltà per la mancanza di strumentazione adeguata, di personale esperto e di risorse economiche. Una proposta ragionevole per ovviare a questo stato di disagio poteva essere quella di scorporare le attività meteorologiche e geomagnetiche dagli osservatori astronomici e accorparle in qualche altro organismo. Ma, per quanto riguarda l'Osservatorio di Brera, negli ultimi decenni della sua dominazione l'Austria fu sempre più restia ad assumere impegni che esulassero dall'ordinaria amministrazione. L'esigenza prospettata da Carlini poté essere soddisfatta solo molti anni dopo l'unità d'Italia. [...] Va rilevato, comunque, che l'esigenza di un Ufficio centrale per le previsioni meteorologiche era molto più sentita di quella di un Ufficio Centrale per il geomagnetismo: fu per questa ragione che si pensò sin dall'inizio a un Ufficio centrale per la meteorologia all'interno del quale fosse prevista una sezione per lo studio e le osservazioni di geomagnetismo. [...] Anche Carlini, sempre nel 1860, in una nota presentata a Trompeo, presidente della Commissione incaricata di proporre le norme per la costruzione di un osservatorio astronomico centrale a Torino, ritornò sulla necessità di avere un osservatorio meteorologico centrale separato dall'astronomia. Gli astronomi, infatti, si erano occupati fino allora dei fenomeni atmosferici al fine di calcolare la rifrazione atmosferica. Le loro osservazioni venivano poi richieste da medici, da giudici, da geografi, da statistici, i quali però non potevano restarne interamente soddisfatti giacché le misure, essendo dirette ad un unico scopo, non corrispondevano alle esigenze di tutti. Era insomma necessario un osservatorio specifico, nel quale potessero convergere tutte le osservazioni meteorologiche e magnetiche» [103].

Il 29 agosto 1862 moriva Carlini e alla direzione dell'Osservatorio di Brera gli succedeva Giovanni Virginio Schiapparelli¹⁶¹ (1835 - 1910) che in una relazione della Giunta incaricata di studiare l'organizzazione delle osservazioni meteorologiche e magnetiche in Italia, proponeva di dividere in due sezioni la struttura osservativa centrale, poiché la meteorologia era una scienza ancora in fase immatura mentre il magnetismo essendo soggetto a leggi regolari era già in una fase *matura e stabilizzata* [103].

Questo preambolo fa apparire meno assurdo il confronto che segue fra un *medico* e un *astronomo* che esprimono giudizi opposti sull'utilità delle *misure geomagnetiche* in relazione alle *previsioni meteorologiche*.

Pietro Moscati, [39] [86], nacque a Milano il 15 giugno 1739 (Figura 52).

Dopo la laurea in medicina, conseguita all'età di 19 anni presso l'Università di Pavia, il Moscati, mente eclettica e brillante, si distinse subito per le sue conoscenze di anatomia e di fisiologia, ma anche per gli studi dei fenomeni fisici e cosmici. Nel 1763 al Moscati venne assegnata la cattedra di Anatomia chirurgica ed arte ostetrica presso l'ateneo in cui aveva studiato. Nel 1772 divenne regio professore di Medicina e chirurgia nell'Ospedale Maggiore di Milano e successivamente medico ostetrico dell'Ospedale di Santa Caterina alla Ruota.

Nel 1797 venne nominato terzo membro del Direttorio della Repubblica Cisalpina, e professore di Clinica medica a Pavia, mantenne però la cattedra solo fino al 1799 sia per ragioni di salute sia a causa del suo imprigionamento per tre anni alle Bocche di Cattaro (Montenegro) da parte degli austriaci, nel frattempo ritornati in Lombardia. Quando questa regione venne ripresa dai francesi, il Moscati fu liberato e ritornò in patria dove Napoleone Bonaparte, nel 1802, lo reintegrò nel suo impiego nominandolo, tra l'altro, Direttore dell'ospedale San Matteo di Pavia e Presidente del Gabinetto Patologico dell'Università di Pavia del quale era stato il fondatore. In quel periodo il Moscati godeva ancora di grande prestigio e aveva la totale stima del Bonaparte: il massimo dell'onore e ... del danaro.

Alla caduta del regno italico, nel 1814, il Moscati fu costretto a ritirarsi a vita privata, a Milano. Il suo vissuto, frenetico e turbolento, lo aveva consumato nel fisico e nello spirito. Nell'estate del 1817 la sua vista peggiorò improvvisamente e irrimediabilmente, è forse questo il motivo che lo indusse a cedere in dono, nell'estate del 1821, la Specola Meteorologica al Liceo di Sant'Alessandro posto nei pressi della Torre di San Giovanni in Conca. La strumentazione astronomica fu invece lasciata in eredità all'Ospizio di Santa Caterina alla Ruota (testamento del 18 settembre 1823). Il 19 gennaio 1824, Pietro Moscati all'età di 85 anni, morì a Milano.

Nel 1827 il governo acquistò dal Santa Caterina i due strumenti astronomici di maggior pregio: il quadrante astronomico di G. Adams e il telescopio a riflessione di G. B. Amici, donandoli successivamente al Liceo Sant'Alessandro.

Il Moscati, da convinto seguace di Ippocrate¹⁶², sottolinea sempre il legame fra meteorologia e medicina: « [...] Ipocrate fino dai suoi tempi scrisse, che niuno senza queste nozioni poteva essere buon Medico poiché non v'era forse malattia che dalla varia azione dell'atmosfera nel nostro corpo origine non avesse. Plinio seniore ¹⁶³ nominando diversi venti ne chiama decisivamente alcuni salubri, altri perniciosi parlandone come di cosa ai suoi tempi conosciuta da tutti [...]. Ella è quindi stata ferma opinione ereditaria di molti valenti Medici dopo Ipocrate che si dovessero le variazioni atmosferiche del pratico Medico osservare con diligenza non solo per contrapporvi sempre le malattie che hanno nello stesso tempo dominato [...] e ricavarne in seguito dei risultati utili all'arte ed alla umanità; ma

ancora per regolarsi nell'amministrazione de' rimedj, i quali secondo l'osservazione del celebre Berriat¹⁶⁴ non agiscono ugualmente, e debbono diversificarsi nelle dosi secondo la diversa altezza del barometro, che è quanto dire secondo il diverso peso dell'atmosfera. [...]» [78].

Del legame fra i parametri meteo-climatici e alcune patologie mediche si è molto discusso, prima e dopo Moscati (si veda anche nota 29), ma ancora oggi non è ben chiara la valenza della bioclimatologia medica che l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS-Ginevra) comprende nel campo della *medicina tradizionale* (medicina termale, agopuntura, fitoterapia, omeopatia, medicina ayurvedica, ecc.) [97].

Dell'attività di meteorologo resta il famoso Meteorografo realizzato dal Moscati alla fine del 1780. In esso vi erano inseriti, in un *unicum*, più strumenti meteorologici: pluviometro, barometro, anemometro, igrometro, termometro, elettrografo, anemoscopio ed evaporimetro. Erano inoltre presenti strumenti per la registrazione giornaliera di: intensità, declinazione e inclinazione del campo magnetico terrestre¹⁶⁵ (vedi anche a pag. 59).

In riferimento alla misura di queste grandezze Moscati scrive:

« [...] Di tutte le macchine magnetiche applicate alle osservazioni meteorologiche la declinatoria si è la più importante perché le variazioni diurne, e periodiche sempre dentro ventiquattro ore dell'ago calamitato sono assai notabili oltrepassando i due gradi e mezzo qualche volta in un giorno; perché non sono uguali in tutte le stagioni dell'anno essendovi due volte l'anno la minima declinazione diurna che lentamente va crescendo fino al suo massimo: né dipendono questi



Figura 52 - PIETRO MOSCATI.
Ospedale Maggiore Milano, olio su tela (104,5 x 136 cm) Giuseppe Sogni (1795 - 1874).
Riproduzione su concessione della *Fondazione IRCCS Ca' Grande, Ospedale Maggiore Policlinico* (foto di Giuseppe Giudici).

movimenti o dalla presenza del sole, poiché hanno ugualmente luogo a tempo nuvolo e piovoso, dalle altre variazioni atmosferiche, o finalmente nemmeno dall'atmosferica elettricità, poiché il moto diurno non è spesso punto alterato dai temporali nemmeno *[...]*. L'inclinazione. altro dei movimenti magnetici [...] non ho durato lungo tempo ad osservare perché in due anni non mi è riescito mai di vedere sensibili variazioni nella magnetica inclinazione, né mai ho veduto più di dodici minuti di differenza, senza che altronde anche questo minimo movimento avesse visibile relazione con alcuna delle atmosferiche variazioni. Lo stesso mi è accaduto per riguardo alle osservazioni magnetometriche, [...]. Io non intendo di biasimare l'uso di queste ingegnose macchine, o di distrarre l'attenzione de' Fisici da aueste osservazioni, che possono o riescire diversamente in altri paesi, o presentare sotto altre viste che le meteorologiche degli utili risultati [...] » [78].

A riguardo dell'utilità delle misure geomagnetiche nella meteorologia previsionale e in particolare quella sinottica padre Angelo Secchi, circa 90 anni dopo, esprimeva un parere del tutto opposto a quello di Pietro Moscati.

Angelo Secchi, [43], [75], nacque a Reggio Emilia il 28 giugno 1818 (Figura 53).

Completati gli studi ginnasiali, all'età di 15 anni, fu ammesso al noviziato nella Compagnia di Gesù a Sant'Andrea al Quirinale a Roma. Al termine del noviziato rimase altri due anni per studiare retorica e poi nel 1837 iniziò gli studi di filosofia al Collegio Romano, ove mostrò una speciale inclinazione per la matematica e la fisica. Dal 1841 al 1844 insegnò fisica al Collegio Illirico di Loreto, tornò quindi al Collegio Romano per intraprendere lo studio della Teologia. Al termine del terzo anno ricevette l'ordinazione sacerdotale (12 agosto 1847).

In conseguenza dei moti Risorgimentali, nel 1848, padre Secchi fu costretto a lasciare l'Italia. Per sei mesi studiò matematica superiore in Inghilterra, nel Collegio di Stonyhurst, e nell'ottobre dello stesso anno, con alcuni confratelli, raggiunse il Collegio di Georgetown a Washington (USA); qui strinse amicizia con James Curley, padre gesuita direttore dell'Osservatorio Astronomico del Collegio. Il soggiorno negli Stati Uniti fu di grande importanza per la sua formazione, poiché ebbe l'occasione di entrare in contatto con un ambiente scientifico estremamente vivace che gli consentì di apprendere le teorie più moderne nel campo della fisica e della meteorologia.

Alla fine del 1849, con la caduta della Repubblica Romana, i Gesuiti fecero rientro a Roma e Secchi fu chiamato ad assumere la direzione dell'Osservatorio del Collegio Romano e poté ultimare la sua formazione nell'Ordine e fare la *professione solenne* nella Compagnia di Gesù il 2 febbraio 1852.

Negli anni dedicò molto impegno nell'ammodernare e incrementare la dotazione strumentale dell'Osservatorio, iniziando con un telescopio equatoriale di S. Merz e una stazione per l'osservazione sistematica del magnetismo terrestre. Nel 1862 diede inizio alla pubblicazione del *Bullettino dell'Osservatorio del Collegio Romano*, che riportava i dati rilevati dalla rete meteorologica dello Stato Pontificio, da lui organizzata, nonché studi di meteorologia e di fisica terrestre.

Nel 1867 Secchi ottenne da Pio IX i fondi per la costruzione di un meteorografo, strumento da lui progettato per la registrazione giornaliera dei dati meteorologici, da presentare all'Esposizione Universale di Parigi; qui lo strumento ottenne l'attribuzione del *Grand Prix*, mentre lo stesso Secchi ricevette la *Légion d'honneur* dall'imperatore di Francia Napoleone III e l'*Ordine della Rosa* dall'imperatore del Brasile Pedro II.

Nel 1875 partecipò al Congresso degli Scienziati Italiani a Palermo e fu invitato in quella circostanza a far parte della Commissione governativa istituita per pianificare il Servizio Meteorologico Nazionale. Questa propose al Governo l'istituzione di un *Ufficio Centrale* per il coordinamento dei servizi meteorologici nazionali. L'Ufficio e il relativo Consiglio Direttivo furono istituiti nel novembre del 1876 e nel marzo 1877 Secchi ne fu eletto Presidente.

La sua salute sempre piuttosto malferma, andava deteriorandosi ed egli fu costretto ad abbandonare progressivamente l'attività di ricerca, dedicandosi sempre più alla stesura di lavori scientifici e didattici. Nell'agosto del 1877 si manifestarono i primi sintomi di un cancro allo stomaco. Il 26 febbraio 1878, Angelo Secchi, all'età di 59 anni morì a Roma.

A proposito dell'importanza della meteorologia e della necessità di un coordinamento internazionale, Secchi scriveva [75]:

«[...] la meteorologia in questi ultimi anni è entrata in una fase novella; essa non si occupa solo della climatologia, ma della fisica generale dell'atmosfera e delle correnti aeree e del giro delle burrasche. [...]».

e sosteneva la proposta di M. F. Maury, fatta a Bruxelles durante la Prima Conferenza Meteorologica Internazionale (1853), che sollecitava i Paesi marittimi a cooperare nell'unificazione delle osservazioni meteorologiche marine per rendere sempre più sicura la navigazione.

« [...] Intanto il Leverrier¹⁶⁶ veniva organizzando tra varii Stati la corrispondenza meteorologica telegrafica internazionale, e noi non fummo lenti ad aderirvi, e si cominciò fin dal 1857 a lavorarvi intorno. Ogni mattina si spediva a Parigi il telegramma delle osservazioni fatte alle 7 antimeridiane colle altre informazioni richieste, e si continua anche oggidì a spedirlo non solo a Parigi, ma a Firenze e Pietroburgo, oltre alla diffusione dei listini meteorologici nei giornali [...].

Le osservazioni raccolte dal Leverrier venivano poscia litografate e rinviate così raccolte agli osservatorii. Fu su questi bullettini che all'osservatorio si studiarono da principio le leggi delle burrasche. [...] Questi risultati forse contribuirono a fare che simili carte venissero poscia fatte costruire sistematicamente e pubblicate a Parigi dal Leverrier, che con quei mezzi che possiede una ricca nazione poté diffonderle, donde nacque la teoria dei preavvisi delle burrasche come ora si usa [...]».

E in quanto alla correlazione tra i fenomeni meteorologici e geomagnetismo scrive: « [...] Durante tali ricerche meteorologiche riconoscemmo la grande importanza delle osservazioni del magnetismo terrestre in relazione colle vicende atmosferiche. Un magnetometro di declinazione era già stato eretto fin dal 1852 nella specola vecchia, che fu trasportato quindi nella nuova, ma l'angustia del sito e la mancanza degli strumenti complementarii non permettevano uno studio esatto di questo ramo di fisica. Cercammo pertanto di compiere questa lacuna in Roma e in Italia tutta, ove allora non esisteva nessun osservatorio magnetico completo [...] ».

Nell'elenco delle varie osservazioni magnetiche fatte al Collegio Romano, il Secchi cita in particolare [75]: « [...] una lunga serie comparativa delle fluttuazioni magnetiche colle correnti che hanno luogo in un filo telegrafico. Questo era esclusivo servizio dei Sacri Palazzi apostolici tra Roma e Porto d'Anzio, e fu per tale scopo lasciato in libera disponibilità all'osservatorio per molti anni [...] ».

Fu ancora lo studio delle correlazioni tra fenomeni vari che indusse Padre Secchi a progettare e a realizzare il suo Meteorografo (vedi anche pag. 59) [75]:

« [...] In una lunga discussione [di dati] spettante a parecchi anni fu dimostrata la relazione che passa tra le burrasche e le perturbazioni magnetiche. Quest'ultima risultò dal confronto delle curve meteorografiche con quelle degli strumenti magnetici. E in verità lo studio completo tanto della meteorologia che del magnetismo non possono farsi con le sole cifre: per molti problemi la costruzione delle curve diviene indispensabile. Fu perciò che essendo noi riusciti ad inventare nel 1858 una sensibilissima forma di Barometro grafico sul principio della bilancia pesatrice della pressione, cominciò fin d'allora la costruzione delle curve su opportuna macchina, che poscia completata pel resto costituì il meteorografo. [...] Essa in una faccia disegna le indicazioni della direzione del vento, dell'ora della pioggia, la

curva barometrica, quella della velocità del vento e del termografo metallico. Sopra un secondo quadro nella seconda facciata dà in iscala più grande il barometro, il termometro secco e il bagnato per il psicrometro, e l'ora della pioggia, e anche può dare la quantità di essa [...] ».



« [...] Ogni quadro contiene una decade e alla fine del mese nello spazio di questo quadro che resta tra una curva meteorologica e l'altra, si disegnano le tre curve delle variazioni magnetiche cioè del Declinometro, del Bifilare e del Verticale. Avendo così su questi quadri a fronte i fenomeni meteorici e i magnetici è stato facile rilevare se fra essi vi era relazione. E questa sorse immediata. Benché la legge di relazione non sia semplice, si provò però che non accade burrasca grande che non sia accompagnata da cambiamenti magnetici. Anzi questi possono benissimo servire a prenunziare l'avviso della burrasca stessa. Sono ormai 18 anni che si osserva tale coincidenza, onde non può dirsi esser essa cosa fortuita od accidentale [...] ».

Figura 53 - Ritratto di ANGELO SECCHI [1033].

Alcuni strumenti geomagnetici dell'epoca di Secchi

Gli strumenti per la misura del vettore *Campo Magnetico*, in particolare quello terrestre, si differenziano a seconda dei parametri del campo che riescono a misurare: valore assoluto del campo, differenza del campo fra due punti vicini, direzione del campo (declinazione e inclinazione, vedi note 124 e 125), variazione nel tempo del campo.

L'intensità del vettore rappresentante il campo magnetico terrestre può essere determinata, in ogni punto del globo, dalla misura della sua componente sul piano orizzontale, della sua declinazione e della sua inclinazione [69].

Uno strumento, dei più apprezzati all'epoca di Angelo Secchi, fu realizzato nel 1833 dal fisico tedesco Karl Friedrich Gauss¹⁶⁷ (1777 - 1855), esso rilevava con grande precisione la declinazione magnetica e la componente orizzontale dell'intensità del campo. Nella Figura 54 il magnetometro di Gauss¹⁶⁸ nella versione di M. Meyerstein del 1835 [1035].



Figura 54 - MAGNETOMETRO di Karl Friedrich Gauss del 1833 per la misura della declinazione e della componente orizzontale del campo magnetico. Lo strumento è attualmente esposto nel Museo Astronomico di Brera/INAF-OA Brera. Riproduzione su concessione dell'*Università degli Studi di Milano, Divisione Servizi per la Ricerca*; immagine tratta da [106].

La Figura 55 mostra il magnetometro ideato e realizzato dal fisico irlandese Humphrey Lloyd¹⁶⁹ (1800 - 1881) intorno al 1842, per misurare la componente verticale della forza generata dal campo magnetico terrestre (da cui il nome di bilancia magnetica dato allo strumento) [1041]. Angelo Secchi, nei suoi lavori, evidenziò le buone caratteristiche metrologiche dello strumento e una sua particolarissima fonte di errore: gli insetti, i quali, «poco curanti della scienza», si introducevano all'interno della delicatissima bilancia alterandone il funzionamento.

Figura 55 - MAGNETOMETRO A BILANCIA di Humphrey Lloyd del 1842 per la misura della componente verticale del campo magnetico. Riproduzione su concessione di ©INAF Museo Astronomico e Copernicano, Monte Porzio Catone, Roma.



Nella Figura 56 è riportato l'inclinometro magnetico (bussola di inclinazione) del fisico francese Etienne Lenoir¹⁷⁰ (1744 - 1832) del 1810 [1036]. Lo strumento consente di misurare l'inclinazione di un ago magnetico rispetto al piano orizzontale. L'ago è libero di ruotare, su un piano verticale, intorno a un perno orizzontale.

A partire dai vari magnetometri basati sulle leggi dell'elettrodinamica (come il magnetometro di K. F. Gauss, quello di W. Weber, ecc.), nel tempo, sono stati progettati e realizzati magnetometri basati su vari principi fisici.

Oggi i vari magnetometri sono stati sostituiti dai magnetometri nucleari, i quali hanno una precisione marcatamente superiore ai precedenti: il pratico e versatile magnetometro a precessione libera di protoni [69] o l'estremamente preciso, ma anche strutturalmente molto più sofisticato, magnetometro a risonanza nucleare [69]. Ma non è questa la sede per descrivere questi complessi strumenti.



Figura 56 - INCLINOMETRO MAGNETICO di Etienne Lenoir del 1810. Lo strumento è attualmente esposto nel Museo Astronomico di Brera/INAF-OA Brera. Riproduzione su concessione dell'*Università degli Studi di Milano, Divisione Servizi per la Ricerca*; immagine tratta da [106].

Meteorologia e geomagnetismo dopo Moscati-Secchi

Il geomagnetismo, o magnetismo terrestre è l'insieme dei fenomeni correlati al campo magnetico terrestre nella zona, compresa tra la crosta terrestre e i primi strati dell'atmosfera, detta magnetosfera. Tale campo dipende in parte dalle correnti elettriche nel nucleo del pianeta, indotte da fenomeni endogeni, e in parte da correnti presenti nello spazio che circonda la Terra, localizzate oltre la fascia di Van Allen¹⁷¹, influenzate dalla attività solare e da altre fonti di perturbazione. Ciò impone di considerare il geomagnetismo sia come un insieme di valori locali misurabili, sia come un modello di campo geomagnetico medio.

Il valore del vettore campo geomagnetico è compiutamente definito quando di esso siano noti: intensità¹⁶⁵, declinazione¹²⁴, inclinazione¹²⁵.

La differenza fra l'indicazione dell'ago magnetico di una bussola e la direzione del nord geografico era probabilmente conosciuta in Cina molto prima che diventasse nota in Europa. Inoltre, fin dall'XI secolo era noto agli astrologi cinesi che la declinazione di un punto della Terra si modificava nel tempo [69]. Intorno al 1450, in Europa, nelle meridiane portatili era spesso presente una bussola in cui era segnata la deviazione dal nord geografico. Cristoforo

Colombo nel suo primo viaggio in America (1492) avrebbe riferito il cambio di declinazione con la longitudine, ma non si hanno documenti affidabili che lo testimonino [69].

Probabilmente fu lo studioso tedesco Georg Hartmann¹⁷² (1489 - 1564) che a Roma, intorno 1510, scoprì (testimoniata da una sua lettera del 1544) che l'ago magnetico, oltre alla declinazione, mostrava una inclinazione rispetto al piano orizzontale.

Il libro *De Magnete*, del 1600, del físico inglese William Gilbert¹⁷³ (1544 - 1603) può essere considerato l'inizio del geomagnetismo scientifico. Nel libro, basandosi su osservazioni di inclinazione magnetica effettuate a differenti latitudini, Gilbert ipotizza che la Terra stessa agisca come un grande magnete sferico.

Fino al 1634 si riteneva che la declinazione magnetica fosse funzione solo della posizione. In quell'anno Henry Gellibrand¹⁷⁴ (1597 - 1637) misurò una declinazione a Londra di 4,1° E, valore che differiva ampiamente dagli 11,3° O misurati nel 1580, nello stesso sito, da altri scienziati. Tale differenza era troppo ampia per essere imputata a un errore nelle osservazioni. La conclusione fu che la declinazione mutava anche nel tempo ovvero era stata scoperta la *variazione secolare del campo geomagnetico*¹⁷⁵.

Nel 1722 il costruttore di strumenti inglese George Graham¹⁷⁶ (1673 -1751) pubblicò i risultati dei suoi studi sulla continua variazione giornaliera della declinazione magnetica dopo aver osservato variazioni irregolari fino a 30', con un declinatore da lui migliorato. Nel 1740, a Uppsala, l'astronomo svedese Anders Celsius³⁰ (1702 - 1744) confermò queste osservazioni e il suo collaboratore Olof Petrus Hiorter¹⁷⁷ (1696 - 1750) trovò che durante le aurore boreali l'ago della bussola poteva variare di alcuni gradi. Celsius scrisse a Graham per chiedergli di effettuare delle osservazioni a Londra negli stessi periodi in cui Hiorter le effettuava a Uppsala. Le misure eseguite confermarono la simultaneità dei disturbi magnetici. Successive osservazioni mostrarono che anche l'inclinazione variava giornalmente.

Nel 1785, il fisico francese Charles Augustin Coulomb¹⁷⁸ (1736 - 1806) mise a punto un metodo relativo per la misura dell'intensità della componente orizzontale del campo magnetico (utilizzando la bilancia di torsione, o *di Coulomb*, da lui inventata). Tramite questo metodo fu osservato che anche l'intensità magnetica variava nel tempo. Infine, nel 1833, Karl Friedrich Gauss¹⁶⁷ pubblicò il lavoro *Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata*, in cui veniva data la prima misura assoluta dell'intensità del campo magnetico.

Erano, così, disponibili strumenti che permettevano la misura di tutte le componenti del vettore rappresentante il campo geomagnetico e furono effettuate osservazioni che mostravano come questo variasse spazialmente e temporalmente [69].

Mentre è del tutto evidente che la radiazione solare determina il tempo atmosferico e conseguentemente, nei tempi lunghi, la climatologia della Terra, non possiamo in questa sede inoltrarci nella complessa fisica che governa l'influenza delle variazioni dell'attività solare sulla meteorologia terrestre e delle interazioni fra i campi magnetici solari e terrestri. Qui possiamo solo riportare la posizione assunta, nel tempo, da altri studiosi di queste tematiche.

Nel 1895 l'astronomo Charles Augustus Young¹⁷⁹ nel suo celebre volume *The Sun* ([122], pag. 161-162), così sintetizzava la posizione degli scienziati dell'epoca a riguardo di quella che noi abbiamo esposto come la contrapposizione Moscati - Secchi:

« $[...]^{180}$ In regard to this question the astronomical world is divided into two almost hostile camps [...]. One party holds that the state of the sun's surface is a determining factor in our

terrestrial meteorology, making itself felt in our temperature, barometric pressure, rainfall, cyclones, crops, and even our financial condition [...]. The other party contends that there is, and can be, no sensible influence upon the earth produced by such slight variations in the solar light and heat, though, of course, they all admit the connection between sun-spots and the condition of the earth's magnetic elements. It seems pretty clear that we are not in a position yet to decide the question either way; it will take a much longer period of observation, and observations conducted with special reference to the subject of inquiry, to settle it. At any rate, from the data now in our possession, men of great ability and laborious industry draw opposite conclusions [...]».

Verso la fine degli anni '50 del Novecento Walter Orr Roberts¹⁸¹ e i suoi collaboratori si convinsero che i sistemi meteorologici ciclonici che si sviluppavano sul Golfo dell'Alaska, seguendo le grandi manifestazioni boreali e le tempeste geomagnetiche, dovute alle alterazioni del campo magnetico del Sole (che si evidenziano come *macchie solari*¹⁸²) si sviluppavano più grandi e intensi di quelli non preceduti da tali fenomeni [91]. Successivamente altri ricercatori, ad esempio J. Wilcox della Standford University, C. Hines e I. Halevy della Toronto University confermarono questo legame fra attività magnetica solare e intensità dei sistemi meteorologici. Tuttavia nessuno di loro riuscì a mettere a punto una spiegazione fisica per questa correlazione [91], [95].

Nel 1975 John Eddy¹⁸³, in un lavoro presentato a un incontro dell'*American Astronomic Society*, riferendosi al brano da noi riportato poco sopra, del volume *The Sun* che C. A. Young aveva scritto nel 1895, affermò:

«[...] Non mi sentirò molto orgoglioso di incontrarlo [riferendosi a Young], quando verrà fatto l'appello nell'Aldilà, per riferirgli quanto noi abbiamo fatto su questo argomento [...]».

Nel 1977 in una recensione, su *Science*, degli Atti del Simposio *Possible Relationship Between Solar Activity and Meteorological Phenomena*, organizzato dalla NASA, nel 1973, John Eddy scriveva:

«[...] La maggior parte della gente, scienziati o no, desidera che ci sia una correlazione fra il tempo atmosferico o il clima e il Sole. Il Sole è sicuramente la guida della macchina del tempo: perché, allora, le variazioni dell'uno non sono collegate ai capricci dell'altro? [...]».

Inoltre, J. Eddy faceva notare che le nuove osservazioni sulla emissione solare, i tentativi di costruire modelli al computer e altri approcci ai problemi delle relazioni Terra - Sole «[...] ci hanno portato più vicini al giorno in cui potremo determinare, almeno in teoria, se i cambiamenti solari possono avere degli effetti significativi in una atmosfera come la nostra. Ma nel 1977, come nel 1973 e nel 1895, non lo sappiamo ancora. [...]».

Tutta questa incertezza permane anche oggi ma ciò non significa che non vi siano alcune evidenze [95]: le tempeste solari, violenti disturbi dell'attività magnetica solare, producono variazioni del vento solare¹⁸⁴. Quando il vento solare raggiunge il campo magnetico terrestre lo deforma e "strappa" elettroni agli atomi di azoto e di ossigeno, dell'alta atmosfera terrestre, lasciandoli ionizzati (ovvero elettricamente carichi). Queste azioni del Sole si manifestano con le aurore boreali e con perturbazioni del campo magnetico terrestre (tempeste geomagnetiche) che a loro volta possono influenzare le radio comunicazioni, le comunicazioni telefoniche, le trasmissioni dell'energia elettrica sui grandi elettrodotti e possono inoltre indurre correnti telluriche¹⁸⁵ che producono: corrosione di oleodotti e gasdotti, anomalie operative

temporanee ai sistemi computerizzati, danni all'elettronica più sensibile, degrado dei pannelli fotovoltaici e "accecamenti" temporanei degli apparati inseguitori di corpi celesti e dei sistemi di registrazione delle immagini [69], [1034].

Come aveva giustamente notato A. Secchi, i suddetti fenomeni interferiscono anche con i grandi eventi meteorologici con "forti contenuti di elettricità" (cicloni, tempeste, ecc.) e pertanto monitorare le variazioni del magnetismo terrestre può essere utile per prevedere questi eventi. Ma al momento questi fenomeni non sono correlabili con gli eventi meteorologici "normali", come aveva giustamente notato P. Moscati. Con una facezia possiamo dire che non serve monitorare le variazioni del magnetismo terrestre per prevedere "La pioggerellina di marzo" 186.

Magnetismo e medicina

Vogliamo concludere questa appendice con una *nota di colore*. Molti medici si applicarono allo studio del magnetismo naturale alcuni, come Moscati, presero in considerazione il geomagnetismo, altri il magnetismo di magneti permanenti naturali, rocce magnetiche quali la magnetite, o artificiali, prodotti magnetizzando barrette di ferro tramite correnti elettriche (calamite).

Un medico tedesco Franz Anton Mesmer (Moos, 1734 - Meersburg, 1815), considerato il precursore dell'ipnosi, supponeva una sorta di magnetismo animale (figura 57).



Figura 57 - Un medico mesmerista applica il magnetismo animale a una paziente [1039]. Illustrazione del libro *Des hallucinations, ou Histoire raisonnée des apparitions, des visions, des songes, de l'extase, du magnétisme et du somnambulisme* di Alexandre Brierre de Boismont (1797-1881) [1040].

Le teorie di Mesmer diedero vita al *mesmerismo*, un importante movimento suo contemporaneo. Tuttavia, se esse da un lato furono sempre smentite dalla comunità scientifica, perché ritenute prive di ogni fondamento e del tutto inefficaci sul piano terapeutico, dall'altro lato alcuni scienziati (come, ad esempio, il chimico Jean Baptiste van Helmont e il medico tedesco Christoph Wilhelm Hufeland) ne ebbero un'opinione favorevole.

Lorenzo Da Ponte (1749 - 1838), librettista di *Così fan tutte* (1790) musicato da Wolfang Amadeus Mozart (1756 - 1791), fa annullare, da un finto medico, l'avvelenamento da arsenico, peraltro falso, tramite pietra mesmerica (calamita) ridicolizzando la medicina dell'epoca:

DESPINA (travestita da medico, tocca il polso e la fronte dei due avvelenati)

Saper bisognami - pria la cagione, - e quinci l'indole - della pozione: - se calida o frigida, - se poca o molta, - se in una volta - ovvero in più.

FIORDILIGI, DORABELLA, DON ALFONSO

Preso han l'arsenico, - signor dottore: - qui dentro il bevvero, - la causa è amore, - ed in un sorso - se 'l mandar giù.

DESPINA

Non vi affannate, - non vi turbate: - ecco una prova - di mia virtù.

FIORDILIGI, DORABELLA, DON ALFONSO

Egli ha di un ferro - la man fornita.

DESPINA (tocca con un pezzo di calamita la testa ai finti infermi e striscia dolcemente i lor corpi per lungo)

Questo - è quel pezzo - di calamita, - pietra mesmerica, - ch'ebbe l'origine - nell'Alemagna, - che poi sì celebre - là in Francia fu.

FIORDILIGI, DORABELLA, DON ALFONSO

Come si muovono, - torcono, scuotono! - In terra il cranio - presto percuotono.

DESPINA

Ah, lor la fronte - tenete su.

FIORDILIGI, DORABELLA

Eccoci pronte (metton la mano alla fronte dei due amanti)

DESPINA

Tenete forte. - Coraggio! Or liberi - siete da morte.

Più possibilista fu Giacomo Leopardi (1798 - 1837): «Nominiamo francamente tutto giorno le leggi della natura (anche per rigettare come impossibile questo o quel fatto) quasi che noi conoscessimo della natura altro che fatti, e pochi fatti. Le pretese leggi della natura non sono altro che i fatti che noi conosciamo. Oggi, con molta ragione, i veri filosofi, all'udir fatti incredibili, sospendono il loro giudizio, senza osar di pronunziare della loro impossibilità. Così accade p.e. nel Mesmerismo, che tempo addietro, ogni filosofo avrebbe rigettato come assurdo, senz'altro esame, come contrario alle leggi della natura. Oggi si sa abbastanza generalmente che le leggi della natura non si sanno. Tanto è vero che il progresso dello spirito umano consiste, o certo ha consistito finora, non nell'imparare ma nel disimparare principalmente, nel conoscere sempre più di non conoscere, nell'avvedersi di saper sempre meno, nel diminuire il numero delle cognizioni, ristringere l'ampiezza della scienza umana. Questo è veramente lo spirito e la sostanza principale dei nostri progressi dal 1700 in qua, benché non tutti, anzi non molti, se ne avveggano.» (Zibaldone [4190] - Bologna 28 luglio 1826).

Aspetti di mesmerismo si trovano ancora oggi in certe forme di male interpretata magnetoterapia.

CAPITOLO QUARTO

DALL'OMM (1951) AI GIORNI NOSTRI

La meteorologia, proprio come l'aria, non conosce confini. Senza la cooperazione dei distinti Paesi, di questa disciplina oggi ne sapremmo poco o nulla. Se ne resero conto i primi meteorologi e unirono gli sforzi. La globalizzazione nel campo della meteorologia si dimostrava un vantaggio per tutti noi.

(Josè Miguel Viñas [112], capitolo II, pag. 13)



CAPITOLO QUARTO

Abbiamo già accennato che intorno alla metà degli anni '30 del Novecento cominciava ad evidenziarsi un legame fra meteorologia, sviluppi tecnologici e interessi economici che andava gestito politicamente in un contesto internazionale. Nel 1939 a Berlino, nell'ambito della riunione del Comitato Internazionale per la Meteorologia, fu abbozzata una nuova Convenzione Meteorologica Mondiale, come base per azioni successive, che, inevitabilmente, fu bloccata dalla Seconda Guerra Mondiale.

La questione fu ripresa nel 1947 a Washington, durante la *Conferenza dei Direttori dei Servizi Meteorologici Nazionali*, che stabilì una Convenzione che trasformava l'OMI (Organizzazione Meteorologica Internazionale) in *Organizzazione Meteorologica Mondiale* (OMM / WMO - *World Meteorological Organization*), con sede a Ginevra, e l'affiliava all'ONU.

Il 17 marzo 1951, a Parigi, l'Organizzazione delle Nazioni Unite, con la ratifica della Convenzione di Washington, sostituì l'OMI con l'OMM [26], [92].

Lo scopo di questa nuova istituzione fu quello di promuovere un sistema mondiale di osservazioni meteorologiche e al contempo di favorire lo scambio di informazioni standard e di sostenere la progettazione e la realizzazione di nuovi specifici strumenti di misura e di monitoraggio dei parametri meteorologici [1032].

Il WMO è oggi così organizzato [1022]:

- Il Congresso Meteorologico Mondiale (CMM), è l'organo deliberante principale, si compone di delegati rappresentanti gli Stati aderenti e i Servizi Meteorologici Nazionali.
- Il Segretariato, composto da un Segretario Generale e da personale tecnico-amministrativo.
- Il *Comitato Esecutivo*, sorveglia sull'esecuzione delle delibere del Congresso e rende esecutive le raccomandazioni formulate dalle Commissioni Tecniche.
- Le *Associazioni Regionali*, composte da Stati membri i cui territori si trovano in una stessa Regione: I, Africa; II, Asia; III, Sud America; IV, Nord e Centro America; V, Sud-Ovest Pacifico; VI, Europa. Per un totale di 185 Stati (nel 2018) [1023].
- Le Commissioni Tecniche, create per studiare i problemi tecnico-metodologici sono:

Commissione per l'idrologia e le risorse idriche;

Commissione per le scienze atmosferiche;

Commissione per la meteorologia aeronautica;

Commissione per la meteorologia agricola;

Commissione per l'oceanografia e la meteorologia marina;

Commissione per la climatologia;

Commissione per gli strumenti e i metodi di osservazione (CIMO = Commission for Instruments and Methods of Observation);

Commissione per i sistemi di base (CBS = Commission for Basic Systems).

In questa estrema sintesi, a riguardo degli strumenti di misura e dei sistemi di trasmissione dei dati, focalizziamo l'attenzione su:

Commissione per gli strumenti e i metodi di osservazione (CIMO) che gestisce attualmente il programma *Instruments and Method of Observation Programme* (IMOP)

Commissione per i sistemi di base (CBS) che gestisce attualmente, in collaborazione con CIMO, il Programma *World Weather Watch* (*WWW*).

- CIMO, promuove e facilita la standardizzazione internazionale, la compatibilità e la sostenibilità di strumenti e di metodi di osservazione sia meteorologiche, climatologiche, idrologiche, marine, sia correlate alla geofisica e alle variabili ambientali. Fra le più celebri pubblicazioni della CIMO citiamo la n.8 *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* (prima edizione 1950 sotto l'egida dell'OMI) oramai giunta, aggiornata e rinnovata, all'ottava edizione (2014), [117], [120], [1024]. Modifiche e integrazioni alla Guida n. 8 derivano dai *Reports* delle periodiche conferenze su *Instruments and Observing Methods* dove vengono descritti nuovi strumenti e nuove procedure di misura e calibrazione, e dagli *Instruments Development Inquiry* dove si danno informazioni sugli studi in corso, in relazione a nuovi strumenti, nelle diverse Regioni del Mondo [1024].
- CBS, la commissione fino al 1971 era chiamata Commission for Synoptic Meteorology (CSM), ma con l'estensione delle sue competenze, durante il Sesto Congresso del 1971, prese il nome di Commission for Basic Systems. Le principali attività della Commissione sono legate allo sviluppo, all'attuazione e al funzionamento di sistemi integrati per l'osservazione, l'elaborazione, la comunicazione e la gestione dei dati, nonché la fornitura di servizi meteo temporali in risposta alle richieste dei Programmi WMO.

Il CBS è a capo del World Weather Watch Programme (WWW), il WMO Space Programme e il Public Weather Services Programme.

Il lavoro di CBS è basato su: un sistema di osservazione integrato, un sistema informativo, un sistema di elaborazione dati e un sistema di previsione e infine sui servizi meteorologici pubblici [1025].

Con la nascita dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale e con l'istituzione, al suo interno, della Commissione per gli Strumenti e per i Metodi di Osservazione (Commission for Instruments and Methods of Observation - CIMO) inizia l'era moderna della meteorologia, ovvero si cominciano a realizzare, su scala industriale, strumenti elettro-meccanici, almeno nella parte preposta alla registrazione dei dati. In altre parole le "pile elettriche" cominciano a sostituire la "carica a molla" dei motori che azionavano i registratori. Con questi strumenti vengono realizzate vere e proprie stazioni di misura standard secondo le indicazioni dell'OMM, in cui le tipologie degli strumenti e le loro caratteristiche metrologiche sono stabilite in relazione alle finalità delle misure (meteorologia: sinottica, agricola, marittima, alpina, ecc.).

Le figure 58 e 59 mostrano una stazione agrometeorologica elettromeccanica, installata a Firenze in un campo sperimentale del CNR-IBIMET [34]; alcuni strumenti sono visibili altri non lo sono, pur essendo presenti: una vasca evaporimetrica, un anemometro di Robinson con dinamo tachimetrica e un gonioanemometro. In quest'ultimo strumento, il trasduttore è un potenziometro circolare, ovvero una resistenza elettrica disposta secondo una circonferenza con un contatto strisciante. Ponendo una differenza di potenziale elettrico fra gli estremi della resistenza si otterrà una differenza di potenziale fra un estremo e il contatto strisciante legata alla posizione del contatto. Nello strumento la banderuola è montata su un albero coassiale al contatto strisciante del potenziometro. Misurando la differenza di potenziale fra un estremo del potenziometro e il contatto strisciante si potrà risalire alla posizione angolare della banderuola rispetto a una posizione di riferimento (differenza di potenziale = 0) di solito indicante il Nord [57].

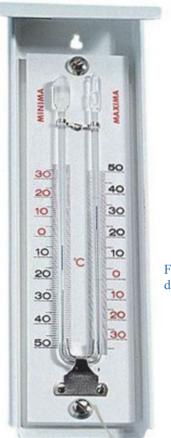


Figura 58 - STAZIONE AGROMETEOROLOGICA ELETTROMECCANICA (1991). Su un tavolino sono piazzati un eliofanografo di Campell-Stokes [57] e un piranografo di Robitzsch. Sotto la capannina è montato il pluviografo il cui imbuto raccoglitore è vincolato alla capannina in alto a destra. Foto di Gianni Fasano.



Figura 59 - STAZIONE AGROMETEOROLOGICA ELETTROMECCANICA (1991). Dentro la capannina, si vedono: a destra il tubo che collega l'imbuto al pluviografo e un termoigrografo, a sinistra un barografo, e sulla parete di fondo, a destra, un termometro di massima e minima, a sinistra, un igrometro a capelli. Foto di Gianni Fasano.

Nel termoigrografo, il trasduttore¹⁸⁷ di temperatura è una lama bimetallica: due metalli con diversa dilatazione termica, saldati insieme, con le variazioni di temperatura producono una deformazione complessiva in grado di far muovere l'asta che regge il pennino. Il trasduttore igrometrico è un fascio di capelli che si allungano o si contraggono in relazione alla variazione di umidità e il loro movimento è applicato all'asta che regge il pennino.

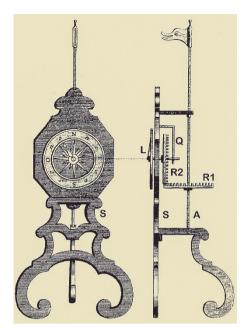


Il termometro di massima e minima (Figura 60) è del tutto simile a quello di Six-Bellani del 1782 (vedi Figura 23A a pag. 32). Il liquido termometrico è alcol mentre il mercurio serve per spingere le due bacchettine di ferro (blu in figura) durante le dilatazioni/contrazioni termiche. Al variare della temperatura i menischi del mercurio si spostano: uno si allontana da una bacchetta, l'altro sospinge la seconda bacchetta. Quando i menischi del mercurio si spostano le due bacchettine restano nella posizione raggiunta ma possono essere riposizionate sui menischi spostandole con un piccolo magnete (mostrato in basso nella figura, "legato" con un filo al termometro).

Figura 60 - Termometro di massima e minima.

Per quanto riguarda la parte sensibile, degli strumenti, alle grandezze fisiche non si hanno sostanziali cambiamenti fino agli anni '70 del Novecento quando con i sensori tradizionali (capelli per gli igrometri, alcol per i termometri, mercurio per i barometri, ecc.) si cominciano a vedere sensori di nuova generazione: condensatori, resistori, celle piezoelettriche, ecc., nell'ordine, negli igrometri, nei termometri, nei barometri, ecc. [57]. Come già detto col passaggio dagli strumenti meccanici a quelli elettronici la complessità degli apparati è diventata tale che non entreremo più nei dettagli costruttivi, come abbiamo fatto talvolta, ma ci limiteremo a una

descrizione di principio o a rimandare alla letteratura specifica. A conferma di ciò vogliamo fare un piccolo esempio confrontando due strumenti meccanici con i due equivalenti strumenti elettronici.



ANEMOSCOPIO A BANDERUOLA di Ignazio Danti (XVIII secolo).

A lato il già citato anemoscopio meccanico (Figura 6B, pag. 13) il cui funzionamento è del tutto intuitivo: con due ingranaggi si trasforma la rotazione sul piano orizzontale della banderuola in una rotazione sul piano verticale di una lancetta che indica sulla rosa dei venti la posizione della banderuola.

Sotto un gonioanemometro elettronico. Lo strumento è formato da un disco che radialmente ha una alternanza di zone trasparenti e non trasparenti. Nello strumento mostrato (Figura 61), il disco è diviso radialmente in sedici zone (figura a sinistra) ciascuna delle quali, nella loro alternanza di trasparenza – non trasparenza, rappresenta ordinatamente una delle sedici parole binarie da 0000 a 1111. Sopra al disco, sempre radialmente a questo, ci sono quattro led che emettono radiazione verso le corrispondenti sottostanti quattro fotocelle. La banderuola, con il suo movimento, fa ruotare il disco fra led e seconda dell'alternanza fotocelle. Α trasparenza – non trasparenza che si posiziona fra led e fotocelle viene espressa

corrispondente parola binaria che a sua volta codifica una delle sedici direzioni della rosa dei venti e che porta dell'accensione del corrispondente led sul quadrante (figura a destra).





Figura 61 - Gonioanemometro elettronico didattico (1993): a sinistra il particolare del disco che codifica in binario sedici direzioni, a destra lo strumento completo, con la rosa dei venti. Realizzazione CNR-IBIMET, foto di Gianni Fasano.

Si potrebbe obiettare perché tanta complessità per avere la stessa indicazione della banderuola di Danti? La risposta è immediata: col dispositivo elettronico si ha maggiore precisione, migliore visualizzazione, possibilità di memorizzazione e trasmissione dei dati anche se rilevati in siti remoti. Caratteristiche queste che si ritrovano in tutti gli strumenti digitali¹⁸⁸.



Lo "spaccato" del PLUVIOMETRO A DOPPIA VASCHETTA OSCILLANTE di Crosley (1828). Ricostruzione.

A lato il già citato pluviometro meccanico a doppia vaschetta oscillante (spaccato) ampiamente descritto precedentemente (Figura 37 a pag. 46).

Con i pluviometri a vaschetta oscillante, che in base allo standard meteorologico forniscono un impulso ogni 0,2 mm di pioggia, contando il numero di impulsi in un determinato intervallo di tempo si risale alla intensità media della pioggia in quell'intervallo.

Volendo un'intensità "istantanea", cioè in un tempo molto breve, dell'ordine di pochi secondi, il pluviometro a vaschetta non è più utilizzabile perché non fornisce indicazioni per intensità inferiori a 0,2 mm min⁻¹. In questo caso bisogna passare al pluviointensimetro cioè a uno strumento in cui la misura non viene eseguita per quantità prestabilite di pioggia, ma a intervalli prestabiliti di tempo che si susseguono senza soluzione di continuità.

Nella Figura 62 si vede un pluviointensimetro [22] [57], privato dell'involucro, in cui sono indicate le parti essenziali. La pioggia raccolta nel cono A passa attraverso la valvola, normalmente aperta, B e cade nel recipiente C che è vincolato su una cella di carico D che pesa l'acqua raccolta. Il sistema è gestito da un microprocessore che, con una cadenza temporale stabilita dall'utilizzatore, legge il peso dell'acqua raccolta in C e ne fa la differenza con la lettura precedente. Così facendo si ha la quantità di acqua raccolta nell'intervallo di tempo prestabilito.

Quando l'acqua raccolta in C raggiunge un peso limite si apre l'elettrovalvola E, normalmente chiusa, e si chiude la B. Il contenitore C si svuota e nel frattempo l'acqua si accumula nell'imbuto che non grava sulla cella di carico. Dopo il tempo necessario a svuotare C le elettrovalvole si commutano e l'acqua contenuta nell'imbuto passa rapidamente in C, e ricomincia un altro ciclo di misura.

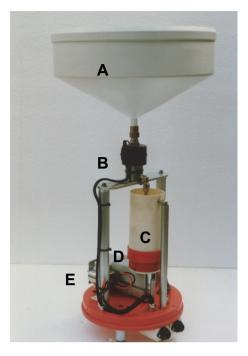


Figura 62 - PLUVIOINTENSIMETRO A PESATA (1991).

A: cono con bocca tarata 0,1 m²;

B: elettrovalvola normalmente aperta;

C: recipiente della pioggia;

D: cella di carico;

E: elettrovalvola normalmente chiusa.

Realizzazione CNR-IBIMET, vedi testo.

Foto di Gianni Fasano.

Ovviamente il pluviointensimetro, per ogni periodo di tempo stabilito, fornisce come il pluviometro la quantità di precipitazione ma, per effetto della sua scansione temporale pone in evidenza i momenti in cui si sono avuti effetti acuti di precipitazione dei quali rileva l'entità e la durata.

Per una completa informazione sugli effetti delle precipitazioni piovose, per esempio in relazione a fenomeni erosivi, è utile l'impiego dell'impattometro [23] [57] ovvero uno strumento che dà l'energia rilasciata dalla pioggia su una unità di superficie in un intervallo di tempo prestabilito. In Figura 63 è rappresentato un moderno impattometro: la superficie sensibile è di bronzo sinterizzato¹⁸⁹ ed è leggermente convessa al fine di: ridurre il rimbalzo delle gocce di pioggia, evitare ristagni o formazione di veli liquidi sulla superficie, favorire il drenaggio dell'acqua verso lo scarico. Le gocce urtando la superficie cedono la loro energia a questa, che a sua volta la trasmette a un trasduttore d'urto di tipo piezoelettrico, a cui la superficie di bronzo è rigidamente vincolata. Il trasduttore fornisce un segnale di tensione

proporzionale agli impulsi ricevuti istante per istante. La tensione erogata dal trasduttore è inviata a un integratore che produce una tensione proporzionale all'energia raccolta in un intervallo di tempo prestabilito [23] [57].

Figura 63 - IMPATTOMETRO (1994). Realizzazione CNR-IBIMET, vedi testo. Foto di Gianni Fasano.



Ulteriori vantaggi degli strumenti digitali sono connessi con una drastica riduzione nelle operazioni di manutenzione, caratteristica questa essenziale laddove i rilevamenti avvengono in siti remoti e difficilmente raggiungibili. Un esempio in relazione ai solarimetri: la sfera di Campbell-Stokes (vedi pag. 48) richiede la sostituzione giornaliera della striscia di carta diagrammale, nel piranometro per la radiazione diffusa (vedi pag. 50) la fascia ombreggiante va spostata ogni due-quattro giorni, ecc. Obiettivamente è una manutenzione gravosa.





Figura 64 - RADIOMETRO ELETTRONICO per la misura di radiazione globale, radiazione diffusa ed eliofania [1043]. A sinistra lo strumento, sopra la maschera ombreggiante.

È di una decina di anni fa la realizzazione di un radiometro elettronico multiparametrico (Figura 64) per misure di routine che non richiedono grandi precisioni. Lo strumento ha diversi sensori di radiazione (fotocelle: dischetti chiari nella figura) ed è dotato di una maschera che, durante il moto apparente del Sole, ombreggia alcuni sensori e altri no. In questo modo i sensori ombreggiati misurano la radiazione diffusa, gli altri quella globale; con queste due grandezze il radiometro, tramite un proprio microprocessore con un proprio algoritmo, calcola l'eliofania (vedi pag. 50). Lo strumento fornisce in uscita tre segnali elettrici, corrispondenti alle tre grandezze misurate, consentendone così la registrazione continua. Altro vantaggio del radiometro multiparametrico e di non richiedere accorgimenti particolari per la sua istallazione e non necessita di regolazioni periodiche.

Del passaggio dall'elettromeccanica all'elettronica ne hanno giovato sia la sensoristica sia i sistemi di acquisizione dei dati, e la loro evoluzione è stata ancora più rapida. Già nei primi anni '80 fu proposto dal CNR IATA¹⁹⁰ (oggi CNR IBIMET) un *data*

logger per l'acquisizione di dati meteorologici provenienti da sensori elettronici [30], [31], finalizzato all'agrometeorologia. In commercio vi erano già sistemi di acquisizioni dati capaci di molte, troppe, funzioni; ma non potevano operare in pieno campo, anzi necessitavano di un ambiente protetto e climatizzato. Inoltre la loro grande versatilità rendeva poco "agevole" la loro programmazione da parte dell'utenza, a quei tempi non ancora sufficientemente esperta nell'uso dei sistemi computerizzati. In quei primi momenti servivano apparati robusti, con pochi canali per sensori analogici¹⁹¹, facili da gestire e affidabili nel loro funzionamento. Nella Figura 65: in A il datalogger CNR-IATA, in B il gruppo di sensori da esso gestiti.





Figura 65 - DATALOGGER CNR-IATA (1984). [30][31].

- A) Datalogger: otto canali analogici attivabili tramite gli otto interruttori in alto nella figura. Al centro/destra la stampante dei dati su carta. I pulsanti rossi, da sinistra a destra sono: ON/OFF, Start, Stop, Print, Time 1 Time 2 per selezionare l'intervallo di acquisizione, Scorrimento della carta, Test della batteria di accumulatori.
- B) Sensori gestiti dal datalogger: a) termometro a termoresistenza e igrometro capacitivo;
- b) radiometro a fotocella per la radiazione globale; c) gonioanemometro potenziometrico;
- d) pluviometro a sifone; e) anemometro tachimetrico.

Non sono visibili la vasca evaporimetrica e il termometro del suolo. Foto di Gianni Fasano.

Da quel primo esempio di registrazione elettronica, in forma digitale, la corsa alla "elettronificazione" dei sistemi di misura delle grandezze fisiche ambientali è stata così rapida e la proposta di nuovi sensori così ampia, che non è più possibile tracciare la storia che ci ha portato alla situazione attuale nella quale sempre più si utilizzano "stazioni meteorologiche" multisensori, complete di sistemi di registrazione, elettricamente alimentate da pannelli fotovoltaici, Figura 66 [57].

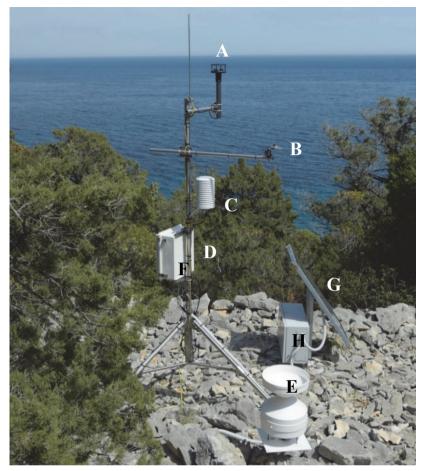


Figura 66 - Una moderna STAZIONE METEOROLOGICA installata dal CNR-IBIMET sulla falesia del Bue Marino (Dorgali-NU; foto di Gianni Fasano), dove si misurano:

- A) intensità, direzione e verso del vento (anemometro a ultrasuoni);
- B) radiazione solare globale (solarimetro a fotocella);
- C) temperatura, umidità e tasso di CO₂, dell'aria (nell'ordine termoresistenza, sensore capacitivo, NDIR Non Dispersive InfraRed con sensore al silicio);
- D) pressione atmosferica (sensore piezoelettrico, all'interno di F, contenitore del data logger);
- E) intensità della pioggia (pluviometro a doppia vaschetta oscillante);
- F) *data logger* (sistema di acquisizione e memorizzazione dei dati su memoria interna e su memoria rimovibile Compact Flash);
- G) pannello fotovoltaico per l'alimentazione elettrica del sistema;
- H) batterie di accumulatori in tampone, per l'alimentazione in assenza di radiazione solare.

Abbiamo già detto che con la nascita dell'OMM inizia l'era moderna della meteorologia. Si può osservare che gli strumenti per misure meteorologiche realizzati successivamente a questo momento, non sono più associabili a un singolo studioso o a un singolo inventore, come è stato per tutto il periodo precedente.

Ora la produzione industriale diventa dominante sugli aspetti (fisici e tecnologici) legabili al nome dello scopritore o dell'inventore. È l'anonima ingegnerizzazione e produzione degli strumenti e la loro rapida obsolescenza che rende irrilevante, se non impossibile, cercare di tracciare un percorso storico-culturale delle nuove produzioni la cui "storia", privata della componente umana, si ridurrebbe a una mera citazione cronologica di apparati e ditte produttrici. Ciò è inoltre connesso al fatto che anche gli strumenti meteorologici di recente realizzazione sfruttano principi fisici ben noti da tempo, talvolta mutuati da altre discipline, ma non hanno nessun legame con gli scopritori di tali principi. Ad esempio l'igrometro a punto di rugiada più recente e più sofisticato, erede dell'igroscopio ideato dal Granduca Ferdinando de' Medici a metà Seicento (vedi pagina 38), per ottenere la condensazione del vapore d'acqua atmosferico utilizza una cella basata sull'effetto Peltier 192 studiato dal fisico francese Jean Charles Peltier¹⁹³ (1785 - 1845) nel 1834; il quale pur essendo anche un meteorologo, studioso dell'elettricità atmosferica e della formazione degli uragani, non ha mai realizzato un igrometro e quindi questo strumento non può essergli attribuito. La struttura del dispositivo è così complessa nelle sue parti: ottiche, meccaniche ed elettroniche di controllo, che esso può essere attribuito solamente all'industria che lo ha progettato e realizzato.

Nella precedente Figura 66 e nelle seguenti figure 67 e 68 si parla di strumenti di misura dei parametri ambientali con dispositivi a ultrasuoni¹⁹⁴; focalizziamo l'attenzione sulla misura della velocità del vento e del livello della neve e dell'acqua.

Le onde acustiche ultrasoniche furono scoperte, alla fine del Settecento, dal gesuita naturalista italiano Lazzaro Spallanzani¹⁹⁵(1729 - 1799) durante un suo studio sui microchirotteri¹⁹⁶, i quali si muovono nel buio più assoluto anche se privati di tutti i sensi¹⁹⁷ [45], [99]. Per giustificare la capacità di questi pipistrelli ipotizzò che avessero un sesto senso.

L'etologo americano Donald R. Griffin¹⁹⁸ (1915 - 2003) utilizzando un apparecchio in grado di registrare i suoni che si estendevano oltre al limite di udibilità dell'orecchio umano, realizzato nel 1938, scoprì che i pipistrelli emettono con la bocca suoni di frequenza superiore, almeno di una ottava, a quelli udibili dagli umani. Questi suoni vengono riflessi dagli oggetti circostanti e in base al tempo di ritorno, al cambio di frequenza o di direzione, il pipistrello può capire che cosa c'è nel suo intorno e a quale distanza si trova. Griffin chiamò, nel 1944, questa capacità dei pipistrelli di *vedere con gli orecchi* ecolocalizzazione: il sesto senso ipotizzato da Spallanzani per i microchirotteri [45].

Sta di fatto che questi studiosi, pur conoscendo bene gli ultrasuoni, non hanno mai realizzato né un anemometro né un altimetro.

Per mostrare la complessità di entrambe le tipologie di strumenti e i diversi fenomeni fisici in essi coinvolti, per arrivare alla misura delle grandezze per i quali sono stati realizzati, si descrivono sinteticamente un anemometro e un altimetro a ultrasuoni (figure 67 e 68).

In Figura 67 è visualizzato un anemometro a ultrasuoni. La velocità di trasmissione delle onde acustiche in aria è condizionata dalla velocità del vento: aumenta se queste si muovono nella direzione del vento, diminuisce se le onde si muovono nella direzione opposta al moto del vento; sfruttando questo fenomeno è possibile costruire strumenti in grado di misurare l'intensità e la direzione del vento. Nello strumento di Figura 67 vi sono quattro sensori di impulsi ultrasonici, posti sulle diagonali di un quadrato orizzontale, in grado di trasmettere e ricevere impulsi ultrasonici. Al momento della misura lo strumento lancia da un sensore un treno di impulsi verso il sensore opposto, sulla stessa diagonale; in rapida successione fa la stessa cosa rispetto all'altra diagonale. Dalla misura dei tempi di propagazione dei due treni di impulsi si risale alla loro velocità di propagazione e da questa

alla velocità di spostamento delle masse d'aria nella direzione delle due diagonali. La somma vettoriale di queste due componenti dà, infine, la velocità (intensità e direzione) dell'aria sul piano orizzontale [57].

Nella figura 68 un altimetro a ultrasuoni (indicato nel cerchio) a sinistra misura il livello dell'acqua in un canale, a destra lo spessore del manto nevoso; questo è definito come lo spessore della neve che si accumula su una superficie orizzontale di riferimento. Ovviamente esistono vari metodi per misurare la precipitazione nevosa, uno abbastanza in uso è il pluviometro con l'imbuto riscaldato per fondere la neve e col quale si fa corrispondere a un millimetro di "pioggia ottenuta" un centimetro di neve precipitata. Strumento più elementare è il nivometro di Angot¹⁴⁹ che è formato da una gabbia cilindrica (sezione 500 cm², altezza 100 cm). Il cilindro viene conficcato nella neve e poi estratto, dalla misura dell'acqua di fusione della neve da esso raccolta si risale alla neve precipitata [90].

Per misure grossolane, molto in uso sono anche le aste metriche infisse nel suolo.



Figura 67 - ANEMOMETRO A ULTRASUONI. Vedi testo. Foto di Gianni Fasano





Figura 68 - MISURE DI LIVELLO CON ALTIMETRO ULTRASONICO. Vedi testo [1019], [1020].

Nella Figura 68 è visualizzato un altimetro ultrasonico per misure di livello. Lo strumento viene utilizzato come misuratore di distanza (telemetro) fra la sua posizione e la superficie sottostante che può essere data dallo spessore del manto nevoso (nivometro) o dal livello dell'acqua in un fiume, in un canale o altro specchio d'acqua.

Un telemetro a ultrasuoni è costituito da un generatore di impulsi ultrasonici che vengono emessi verso il bersaglio di cui si vuole misurare la distanza. L'ultrasuono dopo aver colpito il bersaglio viene riflesso verso lo strumento che è dotato anche di un ricevitore di impulsi ultrasonici. L'elettronica associata al sistema misura il tempo di volo dell'ultrasuono, cioè l'intervallo di tempo che va dall'emissione dell'impulso alla ricezione dell'eco, e, nota la velocità di propagazione dell'ultrasuono, calcola la distanza del bersaglio dal telemetro. Posizionando un telemetro a ultrasuoni a un'altezza prestabilita sulla verticale del suolo ogni variazione di distanza della superficie osservata, rispetto allo strumento, prodotta ad esempio da un accumulo di neve o dal livello di acqua in un canale, verrà rilevata con una precisione di circa 1 % del range di misura che può andare da 1 m a 10 m [27], [57].

Come si vede la complessità di entrambe le tipologie di strumenti non consente di definire uno specifico inventore né per l'uno né per l'altro. Analoga situazione si riscontra per la maggior parte dei nuovi strumenti per la meteorologia e più in generale per la fisica ambientale. Ma lo strumento che meglio evidenzia queste complessità nell'evoluzione dei dispositivi di misura è, forse, il pluviometro. La prima versione che abbiamo visto è quella di Padre Castelli, la cui estrema semplicità è stata ampiamente "compensata" dall'estrema complessità del radar-pluviometrico della prima metà del Novecento. Oggi questo apparato, per le innumerevoli informazioni che fornisce prende il nome di radar meteorologico. Ovviamente data la sua complessità, leggasi costo, il dispositivo è presente solo nelle reti meteorologiche più importanti (ad esempio reti regionali) anche se ancora in modo non sufficiente a coprire tutto il territorio di loro competenza.

In questi strumenti l'informazione si ottiene dalla forma e dal tempo di risposta dell'eco prodotta da un qualsiasi oggetto che viene colpito da un impulso elettromagnetico; emesso dallo strumento proprio come accade nei telemetri a ultrasuoni. Pertanto nella sua forma più essenziale un radar è un generatore di onde elettromagnetiche, di adeguata frequenza, che vengono lanciate nello spazio e laddove colpiscono un oggetto, di dimensioni coerenti con la loro frequenza, vengono riflesse formando una eco che porta con sé nel tempo di ritorno al ricevitore e nella distorsione che subisce, le informazioni sull'oggetto colpito.

La parola Radar è l'acrostico, coniato dal britannico R. Watson-Watt¹⁹⁹ (1892 - 1973) nel 1935, per indicare brevemente il sistema di rilevamento chiamato *Radio detection and ranging*. Lo strumento si basa sulla maggiore o minore riflessione verso la sorgente delle onde elettromagnetiche quando queste colpiscono un oggetto, fenomeno fisico studiato da H. R. Hertz nel 1887, ma solo agli inizi del Novecento si cominciò a concepire sistemi per il rilevamento di oggetti mediante radiosonde. Nel 1900 Nikola Tesla²⁰⁰ (1846 - 1943) propose l'uso delle onde elettromagnetiche per determinare la posizione e la velocità relativa degli oggetti. Nel 1904 C. Hülsmeyer²⁰¹(1881 - 1957) brevettò un dispositivo a onde hertziane in grado di rilevare corpi metallici distanti qualche chilometro. In Italia il primo a proporre studi di questo tipo fu Guglielmo Marconi²⁰² (1874 -1937) nel 1922, e già nel 1933 poté mostrare alle autorità militari alcune interessanti esperienze. È del 1938 l'applicazione del radar, sulle navi inglesi, per l'avvistamento di aeroplani. La seconda guerra mondiale, almeno in Italia, interruppe questi studi che ripresero nel 1950 quando le applicazioni si estesero dall'ambito militare a importanti settori di interesse civile e scientifico [88]. Nel nostro specifico

assunsero fondamentale importanza le applicazioni riguardanti i rilevamenti, a grande distanza, delle perturbazioni meteorologiche e dei fenomeni meteorologici in generale.

Già dai primi studi sulle applicazioni dei radar si vide che più alta era la frequenza delle onde elettromagnetiche emesse dallo strumento, più gli echi di ritorno erano disturbati da echi "spuri" prodotti dalle condizioni atmosferiche. Ciò era ovviamente un inconveniente per chi doveva, attraverso gli echi, rivelare navi o aerei: una tempesta di vento e pioggia poteva nascondere o confondere bersagli localizzati alla stessa distanza e allo stesso azimut, una piccola nube temporalesca isolata poteva, a grande distanza, essere interpretata come un velivolo. D'altra parte, come intuì Arthur E. Bent²⁰³ [37] del Laboratorio delle radiazioni del *Massachusetts Institute of Technology*, gli echi radar di pioggia, neve, grandine, sono di considerevole importanza per la ricerca meteorologica e per le previsioni del tempo [96].

Si sono pertanto realizzati radar per rilevare e misurare sia la quantità di pioggia precipitata in un dato periodo di tempo sia l'estensione dell'evento.

È del 1946 lo studio Edward V. Appleton²⁰⁴ (1892 - 1965) col quale determinò le prime relazioni tra condizioni dei bassi strati atmosferici e propagazione delle onde radio ultra-corte, aprendo così la strada alla *radarmeteorologia*. Questa tecnica di misura in pochissimi anni si è talmente sviluppata da divenire una branca autonoma della meteorologia.

Oggi il radar meteorologico è normalmente impiegato per studi sinottici a grande scala e a mesoscala (arrivo di fronti d'aria fredda con linee temporalesche, determinazione di aree di precipitazioni associate a depressioni cicloniche, traiettorie di violente perturbazioni tropicali e di uragani), per ricerche a carattere idrologico (misure delle quantità di precipitazioni in un bacino imbrifero, contenuto d'acqua liquida nelle nubi), per l'assistenza meteo agli aerei in volo in particolare per la possibilità di stabilire profili di velocità del vento fino ad alte quote e "vedere" la formazione di uragani e tornado.

Una evoluzione del radar meteorologico è il LIDAR (*Light Detection and Ranging*) dove le onde elettromagnetiche utilizzate sono di frequenza così elevata da rientrare nel campo della radiazione luminosa [11], si veda pagina 54.

Con i radar meteorologici siamo pienamente nell'ambito del telerilevamento (in inglese *remote sensing*) ovvero quella tecnica di misura che non richiede allo strumento di essere a contatto con l'oggetto di cui si voglia misurare un parametro (per esempio termometro) o essere "immerso" nello spazio in cui la grandezza da misurare agisce (per esempio anemometro); col telerilevamento si misurano le grandezze stando a distanza, anche elevata, da queste.

Come esempio vogliamo ricordare il termometro a raggi infrarossi²⁰⁵ che consente di misurare la temperatura di un oggetto o di una superfice anche stando a distanze notevoli. Questi sensori si basano sul fatto che i corpi, essendo a temperature maggiori dello zero assoluto, emettono radiazione elettromagnetica, in particolare quelli naturali emettono prevalentemente nella gamma dell'infrarosso termico, in relazione alla propria temperatura e alla propria natura fisica (si veda pagina 54). Un sensore all'infrarosso dalla misura della radiazione ricevuta fornisce direttamente la temperatura dell'oggetto osservato. Una "estensione" del termometro all'infrarosso è la termocamera all'infrarosso che consente di visualizzare la mappa termica di un oggetto o di una superficie aventi zone a temperature diverse.

Contemporaneamente alla sensoristica dagli anni '70 del Novecento, si sono ampiamente modificati sia i dispositivi di memorizzazione e di trasmissione dei dati, sia i sistemi di alimentazione degli apparati. Per quanto riguarda i primi siamo passati dalla registrazione in forma analogica su carta a quella numerica ancora su carta, per poi passare

alla memorizzazione dei dati in forma digitale (numerica) su memorie a nastro magnetico, soppiantate poi da memorie allo "stato solido"²⁰⁶, che negli anni hanno aumentato a dismisura le loro capacità di immagazzinare informazioni e al contempo hanno diminuito le necessità di alimentazione elettrica (Figura 69).

C

Figura 69 - Memoria di tipo EPROM in tecnologia CMOS con capacità di memoria di 2 kB (kilobite²⁰⁷).

Per rendere più agevole l'estrazione delle memorie allo stato solido, nei sistemi di acquisizione dati, queste sono state strutturate come carte di credito: *memory card* la cui lettura può essere effettuata sia dal sistema di acquisizione, *in situ*, sia da un computer remoto, con un adeguato software. La corsa alla miniaturizzazione, legata alla necessità di utilizzare i sistemi di misura anche su aeroplani e satelliti, ha portato alla realizzazione di *memory card* delle dimensioni di una *sim* telefonica senza ridurne la capacità (Figura 70).

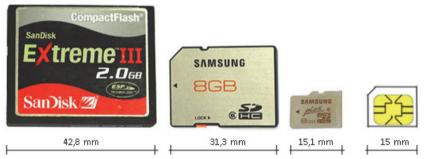


Figura 70 - Da sinistra: Memory card da 2 GB, Memory card da 8 GB (nel tempo la tecnologia consente di aumentarne la capacità e di ridurne, al contempo, le dimensioni), Memory card da 8 GB (le dimensioni sono ulteriormente ridotte a parità di capacità), Micro Sim card.

Nel linguaggio comune sono ormai entrati termini come bit, byte, ecc., propri delle discipline informatiche che sono basate sulla numerazione binaria. A questi si sono mescolati termini propri della numerazione decimale, come i prefissi delle Norme SI quali kilo, giga, ecc., creando non pochi fraintendimenti che possono essere evitati utilizzando, per la numerazione binaria, i prefissi suggeriti da l'*International Electrotechnical Commission* (vedi Appendice Prima).

Con la diffusione sempre più capillare delle stazioni meteorologiche, raggiungendo anche i siti più remoti, è diventata sempre più importante la trasmissione dei dati ai centri di elaborazione. Si è così passati dalle linee telegrafiche (ottiche ed elettriche) a quelle telefoniche e in assenza di quest'ultime si sono attuate trasmissioni via radio e più recentemente anche satellitari. Il salto qualitativo più importante si è avuto, però, con l'avvento della telefonia GSM²⁰⁸ e con la più evoluta GPRS²⁰⁹, con i suoi ulteriori sviluppi. Questo tipo di comunicazione "bidirezionale" ha inoltre permesso il controllo remoto della funzionalità delle stazioni, laddove nel loro software siano previsti codici di controllo e di allarme per malfunzionamenti dei sensori o di altre parti del sistema.

Lo svincolarsi dalle reti telegrafiche e telefoniche, in particolar modo per le stazioni più remote, ha indotto anche a pensare a sistemi di alimentazione, degli apparati, svincolati dalla rete elettrica.

Questo aspetto, di difficile attuazione negli anni '70 per gli elevati consumi elettrici delle stazioni di monitoraggio, è divenuto attuabile quando, con l'elettronificazione degli apparati, i consumi si sono drasticamente ridotti. Già i sistemi per il rilevamento in campo dei dati meteorologici, dei primi anni '80, prevedevano l'alimentazione tramite pannelli fotovoltaici con batterie in tampone²¹⁰, ma le potenze in gioco non erano assolutamente "trascurabili" e l'autonomia dei sistemi era ridotta a pochi giorni.

L'evoluzione elettronica dei sistemi di misura, di memorizzazione e di trasmissione dei dati, ha consentito drastiche riduzioni dei consumi elettrici, arrivando a condizioni per le quali pannelli fotovoltaici, o generatori eolici, di pochi watt di potenza con batterie in tampone, di poca capacità, hanno permesso di gestire le stazioni meteorologiche per lungo tempo (mesi) senza necessità di intervento da parte degli operatori, con notevoli vantaggi per le stazioni installate in siti remoti o difficilmente raggiungibili.

Questa evoluzione, sia dei dispositivi di memorizzazione e di trasmissione dei dati sia di alimentazione, degli apparati ha consentito l'invio, ai centri di elaborazione, di tutte le misure effettuate, già in forma numerica senza o con modestissime pre-elaborazioni²¹¹.

Oggi, grazie alla "rivoluzione elettronica", sono disponibili non solo gli strumenti per le misure delle grandezze meteorologiche tradizionali, ma anche di quelle che, per il nuovo rapporto uomo-ambiente, devono essere misurate per monitorare la qualità dell'atmosfera in relazione alle attività antropiche. Si misurano pertanto: con l'intensità e la durata della pioggia anche la sua acidità (in Figura 71 uno ieto-pHmetro [35]) e più in generale si misurano tutte le precipitazioni (neve, grandine, polveri, ecc.) e con esse il livello sia del manto nevoso, sia dei fiumi e dei laghi



(Figura 68), il tasso di CO₂ (e con questo anche gli altri, cosiddetti, gas serra: metano, protossido di azoto, gas fluorurati ecc., vedi Appendice Seconda), la trasparenza dell'atmosfera (alterata da nebbia, fumo, caligine, ecc.), il rumore

Figura 71 - IETO-PHMETRO ELETTRONICO (1994) con campionatore sequenziale di pioggia e di deposizioni secche (vedi testo). Realizzazione CNR-IBIMET.

A: pluviostato;

B: contenitore del pHmetro e dell'elettronica di comando:

C: imbuto convogliatore della pioggia;

D: coperchio di C;

E: raccoglitore deposizione secca;

F: coperchio di E;

G: pannello fotovoltaico.

Foto di Gianni Fasano [35].

(ad esempio negli aeroporti o sulle autostrade in prossimità dei centri abitati, ecc.). In [57] sono descritti gli strumenti per la misura di alcune di queste grandezze.

La Figura 71 mostra uno ieto-pHmetro che raccoglie automaticamente precipitazioni umide e secche. Un pluviostato optoelettronico A si attiva all'inizio di un evento piovoso chiudendo il coperchio F del contenitore della deposizione secca E e contemporaneamente aprendo il coperchio D dell'imbuto C che convoglia l'acqua al pHmetro B. Viceversa al termine dell'evento piovoso. Durante la pioggia lo strumento registra il valore del pH dei campioni di acqua sequenzialmente raccolti.

Alle grandezze più specificatamente meteorologiche ne vanno associate, e misurate, altre che intervengono a determinare la meteorologia, quali ad esempio grandezze marine e oceaniche di superfice e della colonna d'acqua, sia fisiche sia biologiche [27]. Fra queste le principali sono: correnti, moto ondoso, temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH, inquinamento²¹², ecc. In Figura 72 un esempio di rilevamento subacqueo tramite camera bentica.

Più complesse sono le misure meteorologiche su macroscala correlabili a fenomeni di vasta portata, come cambiamenti climatici, emissioni vulcaniche, inquinamenti atmosferici, in questo caso sono sempre più necessarie le tecniche di telerilevamento con sensori e strumenti

montati su piattaforme aeree e/o satellitari.

Figura 72 - CAMERA BENTICA (progetto e realizzazione del CNR-IBIMET [56]) durante la fase di installazione sul fondale di Cavo (Isola d'Elba). L'apparato consente di effettuare misure metaboliche della flora subacquea, più specificatamente vengono misurate [44]:

- tramite un SUMARAD (SUb MArine RADiometer) radiazione solare nella colonna d'acqua nelle gamme:

globale (400 ÷ 1100 nm)
blu (400 ÷ 540 nm);
verde (480 ÷ 600 nm)
rosso (590 ÷ 720 nm)
- per mezzo di una sonda
multiparametrica vengono rilevate:
profondità,
temperatura,
conduttività,
pH,
ossigeno disciolto.

Foto di Gianni Fasano.





Questa ultima osservazione sovverte la definizione di meteorologia come studio dei fenomeni che si osservano nell'atmosfera guardando dalla Terra verso l'alto ovvero, aristotelicamente, si osserva ciò che sta in alto. Con queste nuove tecnologie i fenomeni atmosferici si osservano guardando all'alto verso la Terra, ovvero si osserva ciò che sta in basso. In altre parole in questo lungo cammino di fatto siamo passati, senza avvedercene, dalla Meteorologia alla Fisica Ambientale.

Abbiamo già detto che l'Organizzazione Meteorologica Mondiale nasceva con lo scopo primario di *promuovere un sistema mondiale di osservazioni meteorologiche*. L'odierna tecnologia consente di attuare questa priorità dell'OMM (in inglese WMO).

È attualmente attivo un servizio del WMO sulle previsioni meteorologiche [1026] delle città del mondo che consente il più ampio scambio e la maggiore disponibilità delle informazioni meteorologiche ufficiali su Internet. Queste informazioni sono rilasciate dai Servizi Meteorologici ed Idrologici Nazionali (NMHS - National Meteorological and Hydrological Services). Il sito web WWIS (World Weather Information Service) è sviluppato e gestito dall'Osservatorio di Hong Kong (HKO), regione amministrativa speciale della Cina.





Figura 73 - Il "MyWorldWeather" è un'applicazione mobile del "Servizio di Informazione Meteorologica Mondiale", che supporta le principali piattaforme quali iOS e Android. Dotato di tecnologia GPS per rilevare la località di un utente, l'applicazione è in grado di visualizzare automaticamente le ultime previsioni meteo ufficiali per la città più vicina all'utente delle 2661 città, di tutto il mondo (dicembre 2018), monitorate dalla rete WMO.



Le pagine di questo sito presentano informazioni *ufficiali* sul tempo osservato, sulle previsioni e sulle informazioni a carattere climatico elaborate dai NMHS per una serie di località significative (prevalentemente le principali città). Ciascun NMHS effettua osservazioni ufficiali sul proprio territorio di competenza. Sono forniti (ove disponibili) anche i collegamenti verso i siti web ufficiali dei Servizi Meteorologici ed Idrologici Nazionali e anche, se disponibili, i collegamenti verso i siti web di Uffici/Organizzazioni Turistiche Nazionali.

I *mass media* sono invitati a dare pubblica diffusione dei contenuti disponibili in questo sito, avendo cura di citare sempre i corrispondenti Servizi Meteorologici Nazionali (NMHS) quali fonti di informazioni.

Da dicembre 2018 WWIS fornisce informazioni meteorologiche ufficiali, relative a 2800 città per 2661 delle quali sono disponibili le previsioni del tempo ottenute dai dati ufficiali forniti da 136 (su 185) Membri delle Regioni Associate al WMO mentre per 2009 città sono disponibili anche informazioni climatologiche ottenute dai dati di 170 Membri.

È possibile, inoltre, avere informazioni, sempre dal sito Web del WMO, su eventi meteorologici di particolare intensità e pericolosità, fornite da *Regional Specialized Meteorological Centres* (RSMC) e da *Tropical Cyclone Warning Centres* (TCWC), inoltre allarmi ufficiali forniti dai Servizi Meteorologici ed Idrologici Nazionali (NMHS) per i propri paesi o regioni.

Con questa applicazione [1027] si è avverato appieno il sogno di Le Verrier (vedi pag. 65); la cartina (parzialmente riprodotta in Figura 73) consente di individuare le città di interesse e di averne, via internet, le previsioni del tempo meteorologico fatte dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale.





Figura 74 - ORGANIZZAZIONE METEOROLOGICA MONDIALE, attuale sede di Ginevra, A) ingresso da [1017]; B) vista dall'alto da [1018].

Appendice Prima

MULTIPLI E SOTTOMULTIPLI NELLE UNITÀ DEL SISTEMA INTERNAZIONALE

([15], pag. 121)

L'XI CGPM (Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure), tenutasi a Parigi dall'11 al 20 ottobre 1960, adottò i nomi e i simboli dei prefissi per la formazione dei multipli e sottomultipli decimali delle unità SI, per un range fra 10⁻¹² e 10¹². Nel corso della XII CGPM (1964) furono stabiliti i prefissi per 10⁻¹⁵ e 10⁻¹⁸. Successivamente furono aggiunti i prefissi per 10¹⁵ e 10¹⁸ (XV CGPM, 1975) e per 10²¹, 10²⁴, 10⁻²¹ and 10⁻²⁴ (XIX CGPM, 1991). Nella tabella seguente [28] è riportato l'elenco completo dei nomi e dei simboli dei prefissi stabiliti dall'SI.

Prefissi stabiliti dal Sistema Internazionale [28].

	Nome	Simbolo	Fattore		Nome	Simbolo	Fattore
multipli	yotta-	Y-	10^{24}	sottomultipli	deci-	d-	10-1
	zetta-	Z-	10^{21}		centi-	c-	10-2
	exa-	Е-	10^{18}		milli-	m-	10-3
	peta-	P-	10^{15}		micro-	μ-	10-6
	tera-	T-	10^{12}		nano-	n-	10-9
	giga-	G-	10^{9}		pico-	p-	10-12
	mega-	M-	10^{6}		femto-	f-	10 ⁻¹⁵
	kilo-	k-	10^{3}		atto-	a-	10-18
	etto-	h-	10^{2}		zepto-	Z-	10-21
	deca-	da-	10^{1}		yocto-	y-	10-24

I simboli dei prefissi devono essere scritti in carattere tondo dritto, così come i simboli delle unità di misura, indipendentemente dal tipo di carattere utilizzato nel testo circostante, e devono essere uniti ai simboli dell'unità di misura senza interporre spazi tra il simbolo del prefisso e il simbolo dell'unità. Ad eccezione di: da (deca), h (etto) e k (kilo), tutti i simboli dei prefissi dei multipli sono scritti con lettere maiuscole e tutti i simboli dei prefissi dei sottomultipli sono scritti in lettere minuscole. Tutti i nomi dei prefissi sono scritti in lettere minuscole, tranne all'inizio di una frase.

Il raggruppamento formato da un simbolo di prefisso collegato a un simbolo di unità costituisce un nuovo simbolo di unità inseparabile (che forma un multiplo o sottomultiplo dell'unità interessata) che può essere elevato a una potenza positiva o negativa e che può essere combinato con altri simboli di unità per formare simboli di unità composte.

Per quanto riguarda i prefissi da utilizzare nella numerazione binaria nelle norme SI, [15] a pag. 121, si legge:

"I prefissi SI fanno riferimento esclusivamente alle potenze di 10; pertanto non dovrebbero essere usati per le potenze di 2, impiegate nelle discipline informatiche" le quali utilizzano una numerazione binaria dove il riferimento numerico è il bit (che può assumere valore 0 o 1), o il suo multiplo il byte (1 byte = 8 bit, simbolo B).

Esempio:

un kilobit si scrive $1 \text{ kbit} = 10^3 \text{ bit} = 1000 \text{ bit}$

che non corrisponde a 2^{10} bit = 1024 bit = 10^3 bit + 24

un gigabit si scrive $1 \text{ Gbit} = 10^9 \text{ bit} = 1 000 000 000 \text{ bit}$

che non corrisponde a 2^{30} bit = 1 073 741 824 = 10^9 + 73 741 824 bit

L'IEC (*International Electrotechnical Commission*) ha stabilito dei prefissi per le potenze binarie con la pubblicazione dell'*International standard* IEC 60027-2: 2005, terza edizione, *Letter symbols to be used in electrical technology – Part 2: Telecommunications and electronics* (vedi [15], pag. 121).

I nomi e i simboli per i prefissi corrispondenti a 2¹⁰, 2²⁰, 2³⁰, 2⁴⁰, 2⁵⁰, e 2⁶⁰ sono, rispettivamente: kibi, Ki; mebi, Mi; gibi, Gi; tebi, Ti; pebi, Pi; e exbi, Ei. Tutti i prefissi sono derivati dall'unione della *forma abbreviata SI* seguita dall'abbreviazione della parola *binario*, per esempio kibi da kilo-binario, gibi da giga-binario, ecc.

Esempio: un kibi-byte si scrive $1 \text{ KiB} = 2^{10} \text{ B} = 1024 \text{ B}.$

Si osservi che la k nel simbolo di kibi è maiuscola mentre quella nel simbolo di kilo è minuscola.

In riferimento alle "memorie" di figura 70, in particolare alla prima sulla quale la capacità di memoria è indicata pari a 2.0 GB, l'espressione è assolutamente ambigua infatti:

- se interpretiamo il dato in decimale la capacità è di 2·10⁹ byte
- se interpretiamo il dato in binario la capacità è di 2.2^{30} byte = 2 ($10^9 + 73.741.824$)

confrontando i risultati si capisce che nel primo caso la capacità di memoria risulterebbe essere inferiore del 7,37 % rispetto al secondo caso.

In conclusione nell'ambito delle discipline dell'informazione, per evitare l'uso improprio dei prefissi SI, dovrebbero essere usati i precedenti simboli IEC, sebbene essi non facciano parte del Sistema Internazionale.

Appendice Seconda

I GAS SERRA

I principali gas serra presenti in atmosfera emessi sia naturalmente sia dalle attività antropiche sono:

- Anidride carbonica (CO₂): il suo incremento è dovuto alle attività industriali e ha una persistenza media in atmosfera di circa 30 ÷ 95 anni [1063]. La CO₂ passa dall'atmosfera alla biosfera e agli oceani e da questi nuovamente all'atmosfera. L'attuale emissione di CO₂, con il contributo delle attività antropiche, ha una "velocità" superiore a quella con cui avviene il suo assorbimento da parte della biosfera e degli oceani.
- Metano (CH₄): il suo aumento è dovuto agli allevamenti di animali; ha un ciclo di permanenza media nell'atmosfera di 12 ± 3 anni [1063]. La Terra emette circa 50 milioni di tonnellate/anno, mentre le attività antropiche contribuiscono con circa 308 milioni di tonnellate/anno.
- Protossido di azoto (N₂O): la sua crescita è dovuta principalmente alle attività industriali e ha una persistenza media in atmosfera di circa 120 anni.
- Gas fluorurati: non esistono in natura e vengono prodotti solo artificialmente dalle attività industriali. La loro persistenza in atmosfera va da una decina di anni a migliaia di anni.

In tabella sono riportate le emissioni dei gas serra, nel 2014, stimate dal *World Resource Institute* (WRI) *Washington DC* nell'ambito del progetto *Climate Access Indicators Tool* (CAIT) – *Climate Date Explorer* [1061]. Dal 2000 al 2014 la CO₂ immessa in atmosfera è passata da circa 27400 milioni di tonnellate a circa 37440 milioni di tonnellate, ovvero si può stimare un incremento medio di 670 milioni di tonnellate per anno.

Si esprime con *Global Warming Potential* (GWP), il contributo alla generazione dell'effetto serra di un gas rispetto all'effetto serra provocato dalla CO₂, il cui potenziale di riferimento è posto pari a 1. In tabella sono riportati i valori di GWP per un orizzonte temporale di 100 anni [1061]. Si osservi ad esempio che il metano, pur avendo un tempo di permanenza assai più breve in atmosfera, ha un efficienza sull'effetto serra 21 volte superiore rispetto alla CO₂.

Gas (*)	Quantità emessa 10 ⁶ tonnellate/anno	Global Warming Potential (**)	Quantità equivalente di CO ₂ 10 ⁶ tonnellate/anno	Percentuale in equivalente di CO ₂
CO_2	37441,53	1	37441,53	76,58
CH ₄	358,42	21	7526,83	15,39
N ₂ O	9,84	310	3049,93	6,24
Fluorurati	0,087	10000	874,08	1,79
			48892,37	100,00

^(*) Dati del 2014 del CAIT-World Resource Institute [1061].

^(**) Tutte le emissioni di gas non CO₂ sono calcolate [1062] in quantità equivalente all'effetto serra provocato dalla CO₂ utilizzando i valori di GWP a 100 anni presenti nel secondo rapporto di valutazione dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* [1063]. Altri Enti Internazionali utilizzano valori di GWP diversi che comportano differenze nella stima degli altri gas serra in termini di CO₂ equivalente.

CAPITOLO QUINTO

NEL PROSSIMO FUTURO

Gli eventi climatici di questi ultimi venti anni hanno dimostrato che la società umana non solo è estremamente vulnerabile, ma che stante l'attuale crescita della popolazione sarà sempre più vulnerabile. A nulla varrà la tecnologia se non sapremo prevedere il futuro del clima.

(Rodolfo Guzzi, [64] pag. 122)



CAPITOLO QUINTO

Allo stato attuale è sempre più ridotta la necessità di proporre nuovi strumenti per la misura delle singole grandezze meteorologiche o ambientali, prevalentemente si tratta di migliorare le prestazioni di quelli esistenti. Tutt'al più andranno realizzati sistemi per la stima di quelle grandezze che, dipendendo da molti parametri, non possono essere misurate direttamente ma vanno calcolate tramite modelli matematici (analitici, statistici, neuronali, ecc.), implementati nel sistema stesso, che legano dette grandezze a questi parametri che invece sono misurabili direttamente.

Ancora, sempre tramite modelli matematici c'è, viepiù pressante, la necessità di spazializzare i dati strumentalmente rilevati; intendendo con ciò stabilire il "volume" ambientale, intorno al sensore, a cui possiamo attribuire, alla grandezza considerata, con un accettabile margine di errore, lo stesso valore indicato puntualmente dal sensore [53]. Ciò al fine di meglio dimensionare le reti di rilevamento meteorologico, per la quale cosa è strumento matematico indispensabile la geostatistica.

Altro problema da risolvere più efficacemente è la validazione dei dati rilevati. Non è raro avere malfunzionamenti che inducono gli strumenti a fornire dati errati. Compito dello strumentista è mettere a punto sistemi hardware e procedure software per verificare la validità di questi dati. Il caso estremo è la ricostruzione dei dati mancanti, ad esempio quando i dati rilevati in un certo intervallo di tempo sono del tutto sbagliati o, per un qualsiasi inconveniente, uno o più sensori smettono di fornire dati. In queste occasioni si devono attuare procedure che consentano di ricostruire, con un buon margine di affidabilità, i dati errati o mancanti tramite l'analisi dei dati precedenti e successivi a quelli inidonei o assenti [118]. Alcuni modelli fisico-matematici esistono già ma altri, più efficaci, sarebbero necessari.

Un problema ancora poco studiato, almeno per diverse grandezze meteorologiche, è quello della omogeneizzazione dei dati [13]. Il problema nasce quando lo strumento per misurare una certa grandezza, per un guasto o per altro motivo, viene sostituito con uno strumento analogo ma non necessariamente identico (ad esempio si sostituisce un igrometro a capelli con un igrometro elettronico); in linea di principio, nelle stesse condizioni, dovrebbero dare lo stesso valore, nella realtà i valori si possono discostare per effetto delle diverse grandezze di influenza²¹³. In altre parole i due strumenti pur avendo le stesse caratteristiche metrologiche, nell'ambito delle incertezze intrinseche agli strumenti, non danno, a parità di condizioni, la stessa indicazione. Ciò comporta che in qualche modo si debba agire sui dati della nuova serie per renderli congruenti con quelli della prima [102]. In altre parole i nuovi valori andranno "corretti" per renderli uguali a quelli che, in quelle condizioni, avrebbe indicato il primo strumento: omogeneizzazione di dati [13]. Un problema della stessa natura si ha quando vengono alterate le condizioni "al contorno" di una stazione meteorologica: ad esempio in origine era in pieno campo e successivamente sono stati piantati alberi o realizzate strutture provvisorie. I parametri meteorologici, a parità di condizione ambientale, pur essendo rimasti inalterati gli strumenti, posso risultare alterati. Anche in questo caso non volendo perdere serie di dati è necessario procedere a omogeneizzare i dati successivi alla modifica ambientale a quelli precedenti alla modifica.

Volendo schematizzare, forse anche un po' troppo, possiamo dire che questi tre aspetti coinvolgono maggiormente la sensibilità del "meteorologo strumentista" ma poco riguardano

il "meteorologo previsore" o il climatologo i quali elaborano i dati forniti dal primo senza preoccuparsi troppo di come siano stati ottenuti e validati.

Fino alla seconda metà del secolo scorso, a fronte di grandi risultati ottenuti nella comprensione della dinamica dell'atmosfera, non si sapevano prevedere i suoi moti oltre i *duetre giorni*. Le difficoltà erano state ben evidenziate fin dal 1755 dal fisico svizzero Leonhard Euler²¹⁴ (1707 - 1783), accademico delle scienze a Pietroburgo, che dava seguito al lavoro del suo predecessore, Daniel Bernoulli²¹⁵, e successivamente ribadite da Joseph Louis Lagrange²¹⁶ (1736 - 1813) che impostava lo studio della fluidodinamica proponendo un proprio metodo.

Per grandi linee i due metodi, che si riferivano alla dinamica dei fluidi, per quanto riguarda le grandezze meteorologiche possono essere così schematizzati:

- a Il metodo euleriano, descrive l'andamento temporale delle grandezze macroscopiche, atmosferiche, in un dato punto dello spazio, ovvero l'osservatore è fisso in un punto, e misura le caratteristiche dei diversi volumetti d'aria che nel tempo si avvicendano in quel punto.
- b Il metodo lagrangiano, descrive l'andamento temporale delle grandezze seguendo le traiettorie dei volumetti d'aria, ovvero l'osservatore descrive le caratteristiche e il moto di un volumetto stando vincolato a questo.

Dal punto di vista della realtà sperimentale meteorologica, il metodo più coerente è quello euleriano: gli strumenti sono "fermi" nella stazione di misura. Ma per fare le previsioni vanno considerate le alterazioni che subiscono le particelle di fluido dopo che si allontanano dalla stazione.

I termini per il passaggio dalle equazioni euleriane a quelle lagrangiane non furono definiti fino al 1963 quando grazie ai metodi di integrazione numerica il fisico giapponese A. Arakawa²¹⁷ risolse, almeno in parte, il problema [17].

Da allora l'affidabilità e il tempo di validità delle previsioni sono molto aumentati arrivando a *due - tre settimane*.

Approfondendo e riflettendo sui tre punti che riguardano più specificatamente gli aspetti strumentali: spazializzazione, ricostruzione, omogeneizzazione dei dati rilevati, si capisce che il meteorologo strumentista per fornire dati sempre più affidabili, al meteorologo previsore e al climatologo, ha ancora molto da fare.

Gli strumenti di cui erano dotati i meteorologi del XVII secolo, in riferimento ai problemi attuali, risultano estremamente grossolani. Un "robusto" ausilio nell'approfondimento delle conoscenze dei fenomeni atmosferici può venire dai sempre più diffusi satelliti meteorologici che, applicando le nuove tecniche di *Remote Sensing*, consentono di "guardare più lontano" nelle previsioni del tempo.

Il primo satellite a cui è riconducibile una qualche funzione meteorologica e di analisi ambientale è lo statunitense Explorer 7 messo in orbita nel 1959 alla quota di circa 700 km [8]. Il satellite era stato messo a punto per misurare l'attività solare, ma vi era stato installato anche un radiometro, nella gamma dell'infrarosso, progettato e realizzato da Verner E. Suomi²¹⁸(1915 - 1995) e da Robert Parent per studiare la radiazione termica del suolo e dell'atmosfera terrestre. Suomi stabilì sia l'importante ruolo delle nubi nell'assorbimento dell'energia solare, sia che il bilancio energetico della Terra varia fortemente in relazione a: copertura nuvolosa, albedo superficiale e assorbimento dei costituenti l'atmosfera. Tramite queste osservazioni il gruppo di lavoro di Suomi scoprì che la Terra assorbe più energia di

quanto si era creduto in precedenza e che era possibile quantificare le variazioni stagionali del bilancio termico globale.

Il primo satellite specificatamente meteorologico è il Tiros I messo in orbita dagli USA, a circa 650 km, nel 1960. Il satellite era dotato di due fotocamere nello spettro visibile che acquisivano immagini dell'atmosfera vista *dall'alto*, cioè dal suo esterno. Queste immagini consentivano di scoprire i cicloni tropicali sugli oceani e di riconoscere i più importanti fenomeni atmosferici determinati in base a osservazioni al suolo.

Ancora più "meteorologicamente orientato" fu il satellite sovietico Meteor I (1964) anch'esso orbitante alla quota di circa 600 km, capostipite di una lunga serie di satelliti Meteor aventi il compito specifico di monitorare la temperatura dell'atmosfera e del mare, le condizioni del ghiaccio marino, il manto nevoso, la copertura nuvolosa, ecc.

Le immagini satellitarie venivano, e vengono, elaborate secondo algoritmi più o meno complessi per estrarre, da queste, specifiche informazioni; le più comuni riguardano: il vento analizzato seguendo gli spostamenti degli ammassi nuvolosi, i vortici, i cicloni tropicali, i fronti, le correnti a getto, le nubi di onda e di addensamento orografico, le nebbie, la copertura nevosa del suolo, ecc. Ancora, dal carattere delle nubi si riconoscono le masse d'aria e la distribuzione e l'intensità delle precipitazioni. Una vasta gamma di informazioni scientifiche si possono trarre da: la misura diretta, ai limiti dell'atmosfera, dell'energia irradiata dal Sole e quella emessa dalla Terra (attraverso le quali effettuare il bilancio termico terrestre), la misura di temperatura e quota della sommità delle nubi o, in loro assenza, della superficie della Terra, la realizzazione di profili verticali di temperatura e umidità atmosferiche, equivalenti ai sondaggi termodinamici, ecc. Non ultimo è l'importante ruolo giocato dai satelliti nelle telecomunicazioni meteorologiche.

Nel 1966 cominciarono in USA i primi esperimenti con i satelliti geostazionari, alla quota di 36 000 kilometri sul piano equatoriale, che rimanevano "fissi" in relazione alla superficie terrestre, inviando dati continui di una stessa zona indicando così anche i più minuti cambiamenti. Seguirono nel 1977 e 1981 i satelliti europei Meteosat I e Meteosat II. Da allora i satelliti messi in orbita e le funzioni loro attribuite non sono più "numerabili".

In figura 75, uno dei sei satelliti geostazionari europei Meteosat di Terza Generazione che saranno messi in orbita, a circa 36 000 km, a partire dal 2021. Essi forniranno osservazioni ad alta risoluzione in vari ambiti della tecnica e della ricerca scientifica. In particolare, per quanto riguarda la meteorologia e l'analisi ambientale, due di questi satelliti saranno in grado di fornire informazioni sulla distribuzione orizzontale, verticale e temporale della temperatura e del vapor d'acqua nelle strutture atmosferiche. Ciò consentirà di ottenere informazioni più puntuali e affidabili in relazione ai cambiamenti climatici [1056].

Con essi si avranno pertanto miglioramenti:

- delle informazioni meteorologiche circa i processi rapidi del ciclo atmosferico dell'acqua consentendo così previsioni più accurate, delle situazioni critiche, e allerta più precoci;
- dell'acquisizione dei dati sugli aerosol, in particolare sui continenti importante per il monitoraggio della qualità dell'aria anche in riferimento alle attività vulcaniche;
- delle valutazioni giornaliere della colonna d'acqua precipitabile parametro di estrema importanza, sulla terraferma e in particolar modo nelle zone a rischio desertificazione;
- nel rilevamento di cirri anche molto sottili non visibili con i mezzi attualmente disponibili;
- nel reperimento dei dati per lo studio della microfisica delle nubi;
- nel rilevamento degli incendi e un aumento della qualità dei prodotti fortemente legati alle condizioni climatiche, attraverso una maggiore risoluzione spaziale.



Figura 75 – Da [1056] vedi testo.

Il XVII secolo vide la nascita della prima rete di rilevamento meteorologico, quella del Granducato di Toscana, questo nostro secolo vedrà la realizzazione della più imponente rete di rilevamento meteo-climatico che utilizzerà sia le stazioni a terra sia quelle satellitari. Queste ultime forniranno informazioni su una scala spazio-temporale con un dettaglio estremamente maggiore rispetto alle stazioni terrestri, indicando con continuità ogni modificazione emergente in relazione al tempo meteorologico, alle emissioni vulcaniche, alle modificazioni geomorfologiche, agli inquinamenti atmosferici e marini, ecc.

Ma affinché tutta questa tecnologia sia veramente utile è necessario che l'uomo sappia scegliere tra l'egoismo del presente e la speranza di un futuro migliore [64].

POSTFAZIONE

Un libro sugli strumenti meteorologici dagli albori ai giorni nostri... potrebbe sembrare qualcosa per iniziati, per addetti ai lavori...per gli altri forse addirittura poco allettante...diciamolo, forse noioso. Non vi nascondo che per chi si occupa di questa materia per professione, l'impatto di questo libro è particolare, ma di questo vi parlerò dopo.

Pur da meteorologo, sono perfettamente in grado di rendermi conto anche di che effetto può fare su persone "comuni" leggere questa storia. Ed è proprio una storia, sì, una storia affascinante perché qui e là saltano fuori dei nomi noti o che ci stuzzicano le memorie scolastiche, e allora si legge con più attenzione: si, questo me lo ricordo, ma come era, cosa aveva fatto, cosa aveva scoperto.... Perché questa è la chiave che apre il vostro interesse: la scoperta. L'uomo scopre qualcosa, e poi inventa qualcosa per misurarlo. Sempre meglio. E sembra che ogni scoperta successiva getti nuova luce, apra nuove prospettive anche rispetto ad altri elementi da misurare, c'è un travaso di conoscenza, una sinergia: la temperatura, la pressione, il vento, la radiazione solare...non sono elementi separati, sono interconnessi, il progresso sembra rimbalzare da una parte all'altra come la pallina di un flipper...accumulando punti! Progresso prima lento, incerto, e poi negli ultimi decenni fulminante, esplosivo.

Non ditemi che non è una storia appassionante, e se alcuni strumenti e concetti sono lontani, perché da lontano partono, via via troviamo strumenti e concetti di misurazione più vicini ai giorni nostri, al nostro quotidiano...radar, schede di memoria, miniaturizzazione di apparati che consumano solo un soffio di luce... Anche se, e viene giustamente sottolineato a un certo punto, una volta c'era il barometro "di" Torricelli, perché lo aveva inventato lui, il pluviometro "di" Castelli, il termoscopio "di" Galilei...oggi ci sono industrie e ingegneri che sviluppano soluzioni nuove, sempre più moderne, più efficienti, più sofisticate....ancorché anonime! D'altra parte, chi di noi sa o ricorda l'inventore o meglio il primo realizzatore del telefono cellulare...? Eppure non è che non sia diffuso...!

Lascio per ultimo, perché forse di meno interesse, di descrivere la personale sensazione che ho avuto leggendo questo libro: la "storia" di cui parlavo all'inizio è la "mia" storia, quella dei miei studi, degli inizi della mia professione, più di 45 anni fa, molti degli strumenti "vecchi" (non quelli antichi...) li ho usati...e sentirla raccontare, questa storia, è stato un misto di tenerezza, commozione, nostalgia...come una storia di famiglia che ti racconta un nonno o una nonna, riportando notizie tramandate dai loro antenati, che poi pian piano ti riportano a quando eri bambino, poi ragazzo, poi uomo...fino ad oggi. Col pensiero al domani.

Queste sono le radici di tutti noi, della nostra civiltà e della nostra scienza, anche se molti vivono come se tutto fosse normale e dovuto. Se è vero, e lo è, che noi arriviamo così in alto perché siamo dei nani sulle spalle di giganti (aforisma già vecchio di secoli e secoli quando lo usò Newton), ebbene allora grazie ai nostri Autori per averci raccontato di questi giganti.

Capitano Paolo Sottocorona Meteorologo

NOTE

Capitolo Primo

- ¹ ARISTOTELE (Grecia: Stagira 384 a.C. Calcide 322 a.C.), a 17 anni entrò nell'Accademia fondata ad Atene nel 387 a.C. dall'allievo di Socrate (Atene 470 a.C./469 a.C. Atene 399 a.C.), Platone (Atene 428/427 a.C. ivi 348/347 a.C.), e vi rimase fino alla morte di quest'ultimo. Nel 335 a.C. Aristotele fondò ad Atene il Liceo, nei pressi del tempio di Apollo Licio.
- 2 Meteora, dal greco dotto: meta = oltre, e $a\acute{e}irein$ = sollevare (in aria); ovvero ciò che è sospeso in mezzo all'aria, in altre parole ciò che sta in alto nel cielo.
- ³ Questi elementi della Natura venivano personificati da quattro divinità: *Era* la Terra, *Nesti-Persefone* l'Acqua, *Zeus* l'Aria, *Ade* il Fuoco [71].
- ⁴ Claudio TOLOMEO astronomo e matematico del II secolo d. C. Attivo ad Alessandria d'Egitto: come astronomo confermò la validità del sistema geocentrico che perfezionò introducendo la teoria degli epicicli. Il sistema tolemaico fu accettato dalla cultura occidentale fino al XVI secolo.
- ⁵ In figura la visione aristotelica del firmamento (nella descrizione fatta da Claudio Tolomeo, II secolo d. C.) con al centro la Terra circondata, nella zona sublunare, dai quattro elementi costitutivi tutte le cose: terra, acqua, aria e fuoco. La sfera su cui si muove la Luna circonda la Terra con i suoi elementi. Oltre la Luna: le sfere dei pianeti fino al settimo cielo, il firmamento con tutte le stelle (ottavo cielo), la sfera cristallina (nono cielo) che trasmetteva il moto a quelle sottostanti, e infine il decimo cielo l'Empireo, sede della Divinità e degli Eletti.
- ⁶ *Ipse dixit*: 1'ha detto lui. Locuzione latina usata nella scuola pitagorica con riferimento al fondatore Pitagora, e nel Medioevo con riferimento all'autorità indiscutibile di Aristotele.
- ⁷ Fra tutte le divinità del panteon greco (latino) Zeus (Giove) è il dio più "meteorologico", in quanto dio della luce diurna, del cielo, del tempo meteorologico del fulmine e del tuono. [63]
- ⁸ La quantificazione del vento cioè dello *spostamento delle masse d'aria*, richiede la misura della velocità con cui queste si muovono, che essendo una grandezza vettoriale è compiutamente definita quando di essa se ne conosca l'intensità (detta anche modulo), la direzione e il verso. Queste componenti della velocità, nel caso del vento, sono misurate con l'anemometro, per l'intensità, con la banderuola, o con termine più corretto col gonioanemometro, per la direzione e il verso. È comune utilizzare, sia pure erroneamente, la parola velocità per indicare l'intensità della velocità del vento. Per la direzione e verso, oggigiorno [36], [57] si preferisce parlare di gonioanemometro, poiché come indicazione di *direzione* e verso, ovvero di *direzione di provenienza*, viene rilevato l'angolo misurato in senso orario a partire da nord preso come zero. Il termine *anemoscopio* viene usato o per indicare le banderuole più elementari (cioè che non misurano l'angolo di provenienza rispetto al nord) o per sistemi di indicazione grossolana ma ben visibile come la *manica a vento* negli aeroporti.

 In inglese il vettore velocità si traduce con *velocity*, il modulo della velocità si indica con la parola *speed*, la direzione si traduce con *direction*.
- ⁹ La "descrizione" della velocità del vento è applicata anche ai giorni nostri con la Scala Beaufort. Francis BEAUFORT (Navan Irlanda 1774 ivi 1857), ammiraglio, cartografo ed esploratore britannico, direttore dell'Ufficio idrografico della *Royal Navy* fu l'ideatore, nel 1805, dell'omonima scala anemoscopica basata sulle teorie del geografo scozzese Alexander DALRYMPLE (Edimburgo 1737 Londra 1808) che legavano l'intensità dei venti agli effetti che essi producevano sullo stato del mare. Successivamente furono aggiunti altri criteri per estendere la scala ad applicazioni terrestri: vedi tabella successiva. Nella scala originale le classi erano in numero minore, e non erano presenti le indicazioni in parentesi graffa che quantificano le indicazioni meramente qualitative di Beaufort [28].

Attualmente il vento "uragano" è stato suddiviso in cinque classi per differenziare la misura della loro forza. Il WMO con il manuale *Marine Meteorological Service* (ed. 2012) [119] definisce la scala Beaufort con soli dodici livelli di forza e sconsiglia l'uso della scala estesa a sedici livelli poiché in essa, per la classe degli uragani, non sono applicabili le formule che consentono il passaggio da indice Beaufort a velocità del vento.

N.	Vento Velocità { km/h }	Effetti sul mare –Stato del Mare { altezza media delle onde, metri }	Effetti sulla terra
0	Calmo { < 1 }	Piatto — Calmo. — { 0 }	Il fumo sale verticalmente.
1	Bava di vento { 1 ÷ 5 }	Leggere increspature sulla superficie simili a squame di pesce. Ancora non si formano creste bianche di schiuma — $Quasi\ Calmo$. — $\{\ 0,1\ \}$	Movimento del vento visibile dal fumo.
2	Brezza leggera { 6 ÷ 11 }	Onde minute, molto corte ma ben evidenziate. Le creste non si rompono ancora, ma hanno aspetto vitreo — <i>Poco Mosso</i> . — { 0,2 }	Il vento si sente sulla faccia. Le foglie frusciano.
3	Brezza Tesa { 12 ÷ 19 }	Le creste delle onde cominciano a rompersi. La schiuma ha aspetto vitreo, si notano <i>pecorelle</i> con cresta bianca — <i>Mosso</i> . — { 0,6 }	Foglie e rami più piccoli in movimento costante.
4	Vento moderato { 20 ÷ 28 }	Onde con tendenza ad allungarsi. Le pecorelle sono più frequenti — Mosso. — $\{1\}$	Sollevamento di polveri e carte. I rami più piccoli sono agitati.
5	Vento Teso { 29 ÷ 38 }	Onde moderate dalla forma che si allunga. Le <i>pecorelle</i> sono abbondanti e c'è possibilità di spruzzi — <i>Molto Mosso</i> . — { 2 }	Oscillano gli arbusti con foglie. Si formano piccole onde nelle acque interne.
6	Vento fresco { 39 ÷ 49 }	Onde grosse (cavalloni), creste imbiancate di schiuma. Gli spruzzi sono probabili — <i>Agitato</i> . — { 3 }	Movimento di grossi rami. Difficoltà a usare l'ombrello.
7	Vento Forte { 50 ÷ 61 }	I cavalloni si ingrossano La schiuma formata dal rompersi delle onde è <i>soffiata</i> in strisce nella direzione del vento — $Agitato$. — $\{4\}$	Interi alberi agitati. Difficoltà a camminare contro vento.
8	Burrasca { 62 ÷ 74 }	Onde alte. Le creste si rompono e formano spruzzi vorticosi risucchiati dal vento — <i>Molto Agitato</i> . — { 5,5 }	Rametti strappati dagli alberi. Generalmente non è possibile camminare contro vento.
9	Burrasca forte { 75 ÷ 88 }	Onde alte, le creste iniziano ad arrotolarsi. Le strisce di schiuma si fanno più dense — $Grosso \{7\}$	Leggeri danni alle strutture (es. camini e tegole asportati).
10	Tempesta { 89 ÷ 102 }	Onde molto alte sormontate da creste (marosi) molto lunghe. Le strisce di schiuma tendono a compattarsi e il mare ha un aspetto biancastro. I frangenti sono molto più intensi e la visibilità è ridotta — <i>Molto Grosso</i> . — { 9 }	Rara in terraferma. Sradicamento di alberi. Considerevoli danni strutturali.
11	Tempesta violenta { 103 ÷ 117 }	Onde enormi che potrebbero anche nascondere alla vista navi di media stazza. Il mare è tutto coperto da banchi di schiuma. Il vento nebulizza la sommità delle creste e la visibilità è ridotta — <i>Molto Grosso</i> . — { 11,5 }	Rarissima in terraferma. Vasti danni strutturali.
12	Uragano { > 118 }	Onde altissime}; aria piena di spruzzi e schiuma, mare completamente bianco — Tempestoso. — { > 14 }	Estremamente rara. Danni ingenti ed estesi alle strutture.

¹⁰ Gli *anemoi* della Torre dei Venti [11]:

Boreas — da Nord: vecchio personaggio con vestiti pesanti per ripararsi dal freddo; vento apportatore di neve, grandine e temporali.

Kaikias – da Nord Est: vecchio dall'aspetto accigliato portante un recipiente entro cui stanno chicchi di grandine; tempo turbolento con nubi nere.

Apeliotes – da Est: giovane con manto pieno di frutta, spighe e favi di miele; vento caldo poiché viene da dove sorge il Sole.

Euros – da Sud Est: vecchio ben coperto, scontroso; tempo scuro minaccioso.

Notos — da Sud: giovane che svuota una giara d'acqua; vento caldo tempo piovoso.

 Lips – da Sud Ovest: giovane portante in mano l'ornamento di poppa delle navi greche; tempo buono per navigare.

Zephyros – da Ovest: bel giovane vestito succintamente con mantello pieno di fiori; tempo caldo e piacevole.
 Skiron – da Nord Ovest: vecchio personaggio con una giara contente carbone; vento freddo con groppi.

¹¹ Solario (pl. solaria) s. m. [dal lat. *solarium*, der. di *sol solis* «sole»]. In archeologia, l'orologio solare, comprensivo di gnomone e meridiana, in uso presso gli antichi Romani, e per estensione anche l'orologio ad acqua [4].

¹² Marco VITRUVIO POLLIONE (80 a.C. circa – 15 a.C. circa), della sua biografia conosciamo pochissimo; tutto quindi è rimasto sino a oggi argomento di discussione: il suo nome, il suo luogo di nascita e il tempo in cui visse, operò e scrisse. La fama di Vitruvio è quasi unicamente affidata al suo trattato: dieci Libri di Architettura. [3]

¹³ Leon Battista ALBERTI (Genova 1404 – Roma 1472), architetto, scrittore, poeta, matematico, umanista, crittografo, linguista, filosofo, musicista e archeologo italiano; fu una delle figure artistiche più poliedriche del Rinascimento. Scrisse un'opera in dieci volumi il *De Re Aedificatoria* (1443-1452) che si ricollegano a un testo classico di Vitruvio (*De Architectura*) essi costituiscono la prima organica silloge rinascimentale di tutto ciò che attiene all'architettura. La vita di Alberti è stata descritta nelle *Vite dei più eccellenti pittori, scultori e architetti* di Giorgio Vasari.

¹⁴ Leonardo da VINCI (Vinci-Firenze 1452 – Amboise 1519), uomo d'ingegno e talento universale del Rinascimento, incarnò in pieno lo spirito della sua epoca, portandolo alle maggiori forme di espressione nei più disparati campi dell'arte e della conoscenza. In meccanica fu sostenitore della *teoria dell'impetus*, studiò la natura della luce e si occupò dei fenomeni meteorologici per i quali realizzò alcuni strumenti di misura.

¹⁵ Ignazio o (Egnazio) DANTI (Perugia 1536 – Alatri 1586), vescovo domenicano, matematico, astronomo, e cosmografo [12]. Si occupò della costruzione di strumenti scientifici e meteorologici. Approfondì lo studio teorico delle matematiche e della geometria anche se accentuò l'interesse per gli aspetti di queste materie connessi con le arti del disegno. Fu al servizio di Cosimo I de Medici a Firenze dove eseguì molti lavori cartografici e astrolabi. Successivamente fu trasferito a Bologna dove costruì altri anemoscopi verticali: nel cortile del palazzo arcivescovile, nei giardini di alcune ville, nel chiostro del proprio convento di San Domenico, l'unico parzialmente conservato.

¹⁶ Niccolò CUSANO (Kues-Germania 1400 o 1401 – Todi-Perugia 1464) o Niccolò da Cusa, teologo, filosofo e scienziato, cardinale di Bressanone. É stata la più compiuta personalità filosofica del XV secolo; l'influenza del suo pensiero sull'età successiva è stata straordinariamente forte: nella storia delle scienze si ravvisano tracce della sua opera nella geografia, matematica, fisica, cosmologia. Per quanto riguarda la sua opera scientifica, è da notare che la correzione del calendario da lui proposta ebbe influenza sulla riforma gregoriana; il suo metodo sperimentale (*De staticis experimentis*) diede spunti duraturi ai fisici delle generazioni successive. A Cusano si deve la prima carta geografica dell'Europa media e orientale.

¹⁷ Un esempio di valori di riferimento convenzionale si ha per le temperature dove si stabilisce che l'acqua bolle a 100 gradi e solidifica a zero gradi. Un esempio di riferimento certo si ha quando viene stabilito in relazione a un principio fisico, ad esempio per l'umidità atmosferica si può affermare che se il vapore presente nell'aria è tutto quello che in quelle condizioni può starci, l'umidità relativa è il 100 %.

Capitolo Secondo

- ¹⁸ Galileo GALILEI (Pisa 1564 Arcetri-Firenze 1642), fisico, astronomo, filosofo e matematico, considerato il padre della scienza moderna. Il suo nome è associato a importanti contributi in dinamica e in astronomia, oltre all'introduzione del metodo scientifico sperimentale detto anche metodo galileiano. Di primaria importanza fu anche il suo ruolo nella rivoluzione astronomica, con il sostegno al sistema eliocentrico e alla teoria copernicana. Sospettato di eresia e accusato di voler sovvertire la filosofia naturale aristotelica e le Sacre Scritture, G. Galilei fu processato e condannato dal Sant'Uffizio nel 1633 nonché costretto, all'abiura delle sue concezioni astronomiche e al confino nella propria villa di Arcetri. Solo 359 anni dopo, il 31 ottobre 1992, papa Giovanni Paolo II, alla sessione plenaria della Pontificia Accademia delle Scienze, ha dichiarato riconosciuti "gli errori commessi" dal Sant'Uffizio sancendo la conclusione dei lavori di un'apposita commissione di studio da lui istituita nel 1981.
- ¹⁹ Evangelista TORRICELLI (Roma 1608 Firenze 1647), físico e matematico. Fu allievo di B. Castelli (vedi nota 23) che lo avviò alle matematiche e lo introdusse a casa di G. Galilei durante l'ultimo periodo di vita di questo. Succedette a G. Galilei nell'incarico di matematico e filosofo del granduca di Toscana (1641). Oltre all'attività di matematico e studioso di geometria, nel corso della quale elaborò diversi importanti teoremi e anticipò il calcolo infinitesimale, egli si dedicò alla fisica studiando il moto dei gravi e dei fluidi e approfondendo l'ottica. Possedeva un laboratorio nel quale realizzava egli stesso lenti e telescopi. Il genio di E. Torricelli, universalmente riconosciuto per i suoi studi sulla pressione atmosferica e per il barometro che da lui prende il nome.
- ²⁰ Giovanni Battista DELLA PORTA (Vico Equense 1535 Napoli 1615), scienziato, filosofo e letterato dotato di ingegno bizzarro. Ricevette educazione mondana, letteraria e musicale e crebbe nel variegato naturalismo napoletano. Fondò un'Accademia *dei Secreti*, con finalità di studio sperimentale. Nel 1558 pubblicò la *Magia naturalis* in quattro libri, dedicata a Filippo II re di Spagna, al quale presentò l'opera alla fine di alcuni viaggi che fra il 1561 e il 1566 lo portarono in Francia e in Spagna, ottenendo così fama europea.
- ²¹ Federico CESI duca di Acquasparta (Roma 1586 Acquasparta 1630), scienziato e naturalista, nel 1603, con il matematico Francesco Stelluti, il medico olandese Giovanni Heck e l'erudito Anastasio De Filiis, diede vita, nella sua stessa casa, alla prima accademia scientifica moderna l'Accademia dei Lincei, sodalizio scientifico severo, quasi monacale e iniziatico. La storiografia più recente ha restituito in Federico Cesi una delle figure più significative della cultura scientifica del primo Seicento, non riducibile al pur prezioso ruolo di fondatore dei Lincei e di sostenitore di Galileo Galilei. Oltre che uno dei primi fautori in Italia dell'astronomia post-copernicana, F. Cesi fu importante ricercatore, soprattutto in botanica, e affrontò con acutezza non solo i rapporti tra scienza e società, ma anche tra sacra esegesi e scienza.
- ²² Ferdinando II de' MEDICI (Firenze 1610 ivi 1670), incoraggiò gli studi sperimentali, ai quali un grandissimo impulso fu dato dal fratello cardinale Leopoldo. Sinceramente interessato alla scienza sin dall'infanzia, il Granduca fu solito tenere a Palazzo Pitti barometri, termometri e altri strumenti tecnologici per il proprio diletto; fu munifico mecenate di ricercatori come Galileo Galilei, Evangelista Torricelli e Vincenzo Viviani, non disdegnando di dedicarsi personalmente ai più diversi studi dall'incubazione artificiale delle uova di gallina al miglioramento del termometro. Ferdinando, imprudentemente, ebbe la debolezza di consegnare Galileo al tribunale del Sant'Uffizio, ebbe peraltro il merito di sostenerlo e difenderlo durante e dopo il processo cercando di mitigare la pena.
- ²³ Benedetto CASTELLI (Brescia 1578 Roma 1643), monaco benedettino. Compì studi matematici e dopo vari trasferimenti da Brescia a Padova approdò a Firenze presso G. Galilei, suo maestro e amico, col quale collaborò assiduamente nelle nuove opere che egli scrisse sulle sue scoperte astronomiche e fisiche. Nei suoi esperimenti e studi si dedicò alla matematica e alla geometria. B. Castelli fu uno dei maggiori scienziati del suo tempo definito dal Galilei stesso "huomo adornato d'ogni scienza e colmo di virtù, religione e santità", all'epoca, massimo studioso italiano di idraulica a cui nel 1623 Ferdinando II aveva dato l'incarico di Sovraintendente al drenaggio generale in Toscana. Per i suoi meriti nel 1625 ricevette da papa Urbano VIII l'incarico di studiare il drenaggio nelle zone comprese fra il Po e il Reno. Il risultato dei suoi studi è condensato nell'opera Della misura dell'acque correnti (1628). Il Castelli ideò

una specie di bollettino del tempo meteorologico col moderno criterio di seguire i fenomeni con continuità. L'andamento di alcuni fattori meteorologici furono da lui registrati fino a cinque volte al giorno [12].

²⁴ Trasimeno, principale lago dell'Italia centrale in territorio umbro. Superficie 128 km², profondità massima 6 m. Alimentato da piccoli torrenti e polle subacquee, è privo di emissari naturali. Una condotta sotterranea, realizzata dai romani, faceva defluire le acque di piena verso il fiume Tevere (un secondo canale è stato realizzato nel XIX secolo).

²⁵ Lettera del 18 giugno 1639, di Padre Benedetto Castelli a Galileo Galilei, in cui il sacerdote racconta quando e come gli venne l'idea del pluviometro. La lettera si conclude con una considerazione sul *Diluvio Universale* alquanto "spericolata" [58], [108].

Molto Ill.re Sig.re e P.ron Col.mo

Per soddisfare a quanto promisi a V. S. molto Ill.re con le passate mie, di rappresentargli certa mia considerazione fatta sopra il lago Trasimeno...... Omissis

Ritornato che fui in Perugia, seguì una pioggia non molto grossa, ma continovata assai ed uniforme, quale durò per ispazio di otto hore in circa; e mi venne in pensiero di volere essaminare, stando in Perugia, quanto con quella pioggia poteva essere cresciuto il lago e rialzato, supponendo (come haveva assai del probabile) che la pioggia fosse universale sopra tutto il lago, ed uniforme a quella che cadeva in Perugia: e così preso un vaso di vetro, di forma cilindrica, alto un palmo in circa e largo mezzo palmo, ed havendogli infusa un poco d'acqua, tanta che coprisse il fondo del vaso, notai diligentemente il segno dell'altezza dell'acqua del vaso, e poi l'esposi all'aria aperta a ricevere l'acqua della pioggia, che ci cascava dentro, e lo lasciai stare per ispazio d'un'hora; ed havendo osservato che nel detto tempo l'acqua si era alzata nel vaso quanto la seguente linea (9 mm.), considerai che se io havessi esposti alla medesima pioggia altri simili ed eguali vasi, in ciascheduno di essi si sarebbe rialzata l'acqua secondo la medesima misura: e per tanto conclusi, che ancora in tutta l'ampiezza del lago era necessario che l'acqua si fosse rialzata nello spazio d'un'hora la medesima misura.

Omissis

Continovando dunque il mio di sopra spiegato pensiero intorno all'alzamento dell'acqua del vaso di sopra adoperato, mi venne in mente, che essendo stata la sopranominata pioggia assai debole, poteva molto bene intravenire che cadesse una pioggia cinquanta e cento e mille volte maggiore di questa, e molto maggiore ancora (il che sarebbe seguito ogni volta che quelle gocciole

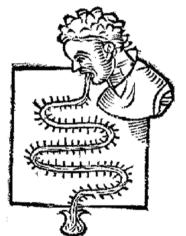
cadenti fossero state quattro o cinque o dieci volte più grosse di quelle della sopramentovata pioggia, mantenendo il medesimo numero); ed in tal caso è manifesto che nello spazio di un'hora si alzerebbe l'acqua del nostro vaso due o tre braccia e forsi più: e conseguentemente, quando seguisse una pioggia simile sopra un lago, ancora quel tal lago si alzerebbe secondo l'istessa misura, e parimente, quando la pioggia simile fosse universale intorno intorno a tutto il globo terrestre, necessariamente sarebbe intorno intorno al detto globo, nello spazio di un'hora, un alzamento di due e di tre braccia. E perchè habbiamo dalle Sacre Memorie che al tempo del Diluvio piobbe quaranta giorni e quaranta notti, cioè per ispazio di 960 hore, è chiaro che quando detta pioggia fosse stata grossa 10 volte più della nostra di Perugia, l'alzamento dell'acqua sopra il globo terrestre sarebbe arrivato e passato un millio di perpendicolo; oltre che le prominenze dei poggi e monti concorrerebbero ancora essi a fare crescere l'alzamento. E per tanto conclusi che l'alzamento dell'acque del Diluvio tiene ragionevole convenienza con i discorsi naturali; delli quali so benissimo che le verità eterne delle Divine Carte non hanno bisogno; ma in ogni modo mi pare degno di considerazione così chiaro riscontro, che ci dà occasione di adorare ed ammirare le grandezze di Dio nelle grandi opere Sue, potendole ancora noi tal volta in qualche modo misurare con le scarse misure nostre. E li bacio le mani, pregandogli dal Cielo le vere consolazioni.

Di V. S. molto Ill.re ed Ecc.ma Devotiss.mo ed Oblig.mo Ser.re e Dis.lo. D. Benedetto Castelli ²⁶ Giovanni POLENI (Venezia 1683 – Padova 1761), pubblicò i suoi primi studi di fisica, matematica e astronomia in un volume, *Miscellanea* (1709), che gli valse, giovanissimo, la cattedra di *Astronomia* e *Meteore* all'Università di Padova. Nel volume espone ricerche sul barometro, sul termometro, sulle macchine calcolatrici e sulla gnomonica. Nel 1725 iniziò una serie di sistematica di osservazioni e misurazioni meteorologiche, che saranno continuate con regolarità dal figlio Francesco, da Giovanni Battista Morgagni e dall'abate Giuseppe Toaldo. Nel 1739, ottenne della Serenissima Repubblica la fondazione a Padova di una delle prime cattedre europee di Fisica Sperimentale. Associato alla cattedra fu costituito il Teatro di Filosofia Sperimentale, una raccolta di strumenti scientifici utilizzati per la didattica e la ricerca e realizzati dai più esperti costruttori dell'epoca. G. Poleni continuò ad arricchire la raccolta fino alla sua morte, così che questa raggiunse la dimensione di quasi quattrocento diversi strumenti, diventando la più importante d'Europa.

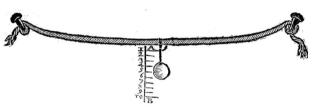
²⁷ Evaporimetro: contenitore cilindrico inizialmente riempito di acqua di cui si misurano, nel tempo, le variazioni di livello prodotte dall'evaporazione. Nel tempo ne sono state realizzate svariate versioni a cui qualcuno ha anche cambiato il nome nel più "classico" *atmidometro*, parola derivante dal greco, composta da *atmós* (vapore), *hýdōr* (acqua), *métron* (misura) ovvero misuratore di vapore d'acqua; abbreviata anche in *atmometro*.

²⁸ Fino alla prima metà del XIX secolo non si distingueva fra temperatura e calore.

²⁹ Santorre Santorio (Capodistria 1561 – Venezia 1636), fu uno scienziato di grande ingegno, dottissimo e sottile sperimentatore, la storia della medicina e della fisiologia lo celebra tra i più illustri cultori di tali scienze del XVII secolo. Famose sono le sue ricerche sulla respirazione e sulle variazioni di peso degli organismi per evaporazione dell'acqua.



A sinistra il termometro di S. Santorio per malati, le lunghe volute del cannello lo rendevano più sensibile.



Sopra l'igrometro di S. Santorio, ad allungamento: una corda di materiale igroscopico è tesa fra due punti e caricata al centro da un peso che in condizioni di aria anidra indica sulla scala lo zero. All'aumentare dell'umidità la corda si allunga e il peso va a indicare altri valori di umidità.

Il suo grande interesse, nell'investigare sulle variazioni di temperatura degli infermi e delle varie parti del corpo umano, lo portò a costruire termometri molto particolari di varia forma. Il grande merito del Santorio è quello di avere introdotto sistematicamente la misura della temperatura mediante una scala anche se concepita in maniera empirica. Egli «[...] ebbe il merito di applicare allo strumento una scala graduata, 1612, avendo avuto l'intuizione della necessità di due punti fissi nella scala, quello di neve e di una fiamma di candela messi a contatto successivamente con la sostanza che acquistava o perdeva calore [...]» [87]. In seguito, S. Santorio apportò altri contributi alla strumentazione meteorologica, sono della fine del XVI secolo l'invenzione dell'igrometro ad allungamento e dell'anemometro a stadera [73]. Egli, noto per essere stato il primo a introdurre misure quantitative in medicina, ebbe anche una corrispondenza col Galilei con la quale presentava, al fisico pisano, alcuni suoi ritrovati. Uno di questi serviva per una misura diretta del metabolismo [1045]. Forse possiamo fare risalire a lui le prime forme di studi di meteoropatia scientifica.

³⁰ Dalla prima metà del Settecento, per mettere ordine alla selva di scale termometriche, ne sono state contate fino a trenta, ne vengono proposte di nuove che eliminano i punti fissi più fantasiosi (temperatura del giorno più caldo, temperatura interna di alcuni animali, temperatura di fusione del burro, ecc.) le quali prendono tutte in considerazione il punto di congelamento (= ghiaccio fondente) dell'acqua distillata e il suo punto di ebollizione, alla pressione atmosferica standard. Con queste scale si definiscono "negative" le temperature sotto al valore "zero", anteponendo al valore numerico il segno – (meno). Le scale termometriche più famose sono qua riportate in ordine cronologico:

1724, il medico tedesco G. Fahrenheit come punti fissi considerò la temperatura di una miscela di ghiaccio-sale e la temperatura del sangue dell'uomo sano, e divise l'intervallo risultante in 180 gradi. Successivamente constatò che con il suo termometro la temperatura di fusione del ghiaccio era di 32 gradi e quella di ebollizione dell'acqua di 212 gradi. Di fatto questi diventarono i due punti fissi e la centottantesima parte di questo intervallo prese il nome di grado Fahrenheit (°F). Le stesse divisioni furono riportate sotto a 32 °F, anche oltre lo 0 °F, e sopra a 212 °F (segue biografia).

1732, il fisico francese A. R. Réaumur attribuì valore di temperatura 0 al ghiaccio fondente e valore 80 al punto di ebollizione dell'acqua, ciò in conseguenza della constatazione che nei suoi termometri un volume di alcol pari a 1000 nel ghiaccio fondente, diventava 1080 nell'acqua in ebollizione. L'intervallo fra questi due punti venne diviso in 80 parti uguali e ogni parte prese il nome di grado Réaumur (°R), le stesse divisioni furono riportate sotto a 0 °R e sopra a 80 °R (segue biografia).

1742, l'astronomo svedese A. Celsius attribuì valore di temperatura 100 al ghiaccio fondente e valore 0 al punto di ebollizione dell'acqua. L'intervallo fra questi due punti venne diviso in 100 parti uguali e ogni parte prese il nome di grado Celsius (°C). L'inversione della scala, quale oggi usiamo, fu fatta nel 1743 da M. Strömer, collega di Celsius. Per questa divisione fra i "valori estremi dell'acqua" la scala Celsius-Strömer venne definita centigrada. Gli stessi gradi furono utilizzati sotto a 0 °C e sopra a 100 °C (segue biografia).

1847, il fisico irlandese W. Thomson (Lord Kelvin) attribuì valore di 273,15 alla temperatura del ghiaccio fondente e valore di 373,15 alla temperatura del punto di ebollizione dell'acqua. L'intervallo indicato (coincidente con l'intervallo stabilito da Celsius) venne diviso in 100 parti uguali (scala centigrada) ogni parte prese il nome di grado Kelvin (°K). Gli stessi gradi vennero utilizzati al di sotto di 273,15 °K e al di sopra di 373,15 °K. Lo zero di questa scala coincide con lo zero assoluto, che, per la legge dei gas perfetti, è il valore di temperatura cui si tende quando si raffredda una qualunque quantità di gas, a pressione costante, fino ad annullarne il volume. La scala viene chiamata anche scala assoluta o delle temperature assolute, in quanto non sono previsti valori negativi (segue biografia).

1954, la X Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM) stabilì che: le temperature si misurano secondo la scala assoluta e l'unità di misura è il grado Kelvin (°K). Si stabilì inoltre che il punto di congelamento dell'acqua distillata (nelle condizioni di purezza e di pressione stabilite) è a 273,16 °K (ovvero lo zero assoluto viene spostato da –273,15 °C a –273,16 °C). In base a questo vengono desunti i punti di fusione e di ebollizione di molti altri elementi e di svariate sostanze: Scala Internazionale delle Temperature.

1960, la XI CGPM istituì il Sistema Internazionale (SI) di misura e accettò la scala di temperatura indicata nel 1954 ma modificò il nome dell'unità da *grado Kelvin* (°K) a *kelvin* (K) [28].

Biografie degli studiosi sopracitati

Daniel Gabriel FAHRENHEIT (Danzica 1686 – L'Aia 1736), fisico e ingegnere tedesco. Fu valido commerciante e costruttore di strumenti scientifici, particolarmente abile nel soffiare apparecchiature in vetro diede un contributo decisivo nella costruzione dei termometri, sia ad alcol che a mercurio, introducendo metodi semplici ma efficaci di depurazione del liquido termometrico. Il suo nome è legato ad una scala termometrica che fu ampiamente utilizzata soprattutto nei paesi anglosassoni (è ancora ufficialmente usata negli Stati Uniti e in Belize). Costruì un nuovo tipo di aerometro, (strumento per determinare la densità dell'aria o di altre sostanze gassose), un picnometro (strumento per determinare la densità relativa di corpi solidi e liquidi) e un altimetro basato su misure termometriche e barometriche. Nel 1724 venne ammesso alla *Royal Society*, sulla cui rivista apparvero in latino (1724) le uniche cinque memorie da lui pubblicate. Ha scoperto, tra l'altro, che l'acqua può rimanere liquida sotto il relativo punto di congelamento e che il punto di ebollizione dei liquidi varia a seconda della pressione atmosferica.

René-Antoine de RÉAUMUR (La Rochelle 1683 – Saint-Julien-du-Terroux 1757), scienziato naturalista e fisico francese. Giovanissimo fu ammesso all'*Académie des sciences*. Effettuò ricerche di scienze naturali, fisiche e chimiche; pubblicò il risultato di studi sull'acciaio e sul ferro, si occupò anche della fabbricazione delle porcellane, ottenendo il vetro bianco opaco noto come porcellana di Réamur. Ideò e costruì un termometro ad alcol, con la scala che porta il suo nome. Si noti che il punto di ebollizione dell'alcol di vino (etanolo) è precisamente 78,4 °C (in gradi Celsius) e quindi un termometro tarato sulla scala Réamur non può misurare la temperatura di ebollizione dell'acqua. Notevoli furono i suoi lavori di biologia che si compongono di minuziose osservazioni morfologiche, fisiologiche e sui costumi e gli istinti di moltissime specie di insetti.

Anders CELSIUS (Uppsala 1701 – ivi 1744), físico e astronomo svedese. Sotto la sua direzione venne costruito il primo e più importante osservatorio astronomico svedese. Nel corso della sua carriera di astronomo catalogò ben 300 stelle. Al Celsius si deve la risoluzione della disputa, in quegli anni molto vivace, sulla forma della Terra. Nel corso del suo viaggio in Lapponia, A. Celsius confermò la teoria di I. Newton, studiò il campo magnetico terrestre e le aurore. A. Celsius è stato il primo a eseguire e pubblicare i risultati dello studio della scala di temperatura internazionale su basi scientifiche. Nel suo lavoro, pubblicato in svedese, "Osservazioni di due gradi fissi su un termometro", afferma, erroneamente, che la temperatura di solidificazione dell'acqua è universale e indipendente dalla pressione atmosferica, ma correttamente che la pressione influisce sulla temperatura di ebollizione dell'acqua. Per questo secondo aspetto dà inoltre una regola per determinare il punto di ebollizione in funzione della pressione quando questo sia noto a una pressione di riferimento.

William THOMSON (Lord Kelvin) (Belfast 1824 – Netherall 1907), fisico e ingegnere. Dal 1892 pari d'Inghilterra con il titolo di barone di Kelvin of Largs per i suoi meriti scientifici, svolse ricerche sui maggiori problemi della fisica (costituzione della materia, elettromagnetismo, struttura dell'universo ecc.); la sua fama è legata in particolare a una delle formulazioni del secondo principio della termodinamica. Introdusse la scala termodinamica assoluta delle temperature (scala Kelvin), la cui unità di misura fu successivamente denominata kelvin. Proseguì sino agli ultimi tempi della sua vita ricerche sui maggiori problemi della fisica: soprattutto interessanti quelle sulla costituzione della materia, sull'elettromagnetismo, sulla struttura e sul divenire dell'universo.

Si devono inoltre a Kelvin un metodo per la compensazione delle bussole marine e l'invenzione di vari strumenti di misurazione nonché di numerosi apparecchi e dispositivi tecnici. Questi ultimi, specialmente quelli per la telegrafia sottomarina, gli fruttarono una fortuna considerevole e un'elevata posizione nel mondo industriale.

³¹ Johann Laurentius BAUSCH (Schweinfurt 1605 – ivi 1665), medico tedesco cofondatore e primo presidente della *Leopoldina Academia Naturae Curiosorum* oggi *Deutsche Akademie der Wissenschaften* con sede ad Halle [1028].

³² Curiosi. «[...] La curiosità, durante il XVI e il XVII sec., acquisì un diverso statuto morale e scientifico; la sua rivalutazione sul piano morale incanalò gli interessi e le attività intellettuali in nuove direzioni, spostando l'attenzione di curiosi e scienziati dalla conservazione del vecchio sapere alla ricerca di nuove conoscenze nella filosofia della Natura e nella storia naturale. Come oggetti di indagine, le curiosità si distinguevano nettamente dagli oggetti studiati dai filosofi della Natura scolastici. Nella loro raccolta e nel loro studio si privilegiavano le caratteristiche inedite, esotiche, rare, singolari e, a volte, straordinarie, contrariamente alla massima aristotelica secondo cui la scienza doveva occuparsi di "ciò che accade sempre o nella maggior parte dei casi". [...] i curiosi non erano soltanto professori universitari e membri degli ordini religiosi (soprattutto domenicani e gesuiti), ma anche medici, farmacisti, cortigiani, umanisti, aristocratici, giuristi, ingegneri, mercanti, marinai, accademici, artigiani e includevano anche donne provenienti da ambienti diversi. Molti curiosi furono in contatto fra loro, attraverso reti epistolari che facilitavano lo scambio di informazioni e materiali, e si raggrupparono intorno a nuove istituzioni quali i musaei, i thesauri, le Wunderkammern, i cabinets, i circoli, pubblici e privati, e le accademie scientifiche.

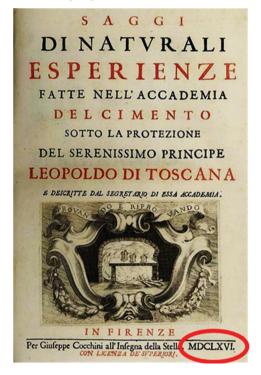
La curiosità finì per privilegiare lo studio di oggetti nuovi, rari e insoliti, utilizzando metodi di ricerca che non coincidevano più con quelli della filosofia della Natura aristotelica. Le ricerche dei curiosi erano condotte prevalentemente attraverso l'attenta analisi dei particolari, spesso ricorrendo all'ausilio di nuovi strumenti, come il microscopio e il cannocchiale, a differenza di quelle di filosofia della Natura e di storia naturale aristoteliche fondate, rispettivamente, sui procedimenti deduttivi sillogistici e sulle generalizzazioni induttive applicate a diverse categorie di oggetti e fenomeni [...]». Da [52].

- ³³ Luigi ANTINORI (Firenze 1599 ivi 1679), sacerdote gesuita. In letteratura viene spesso indicato, erroneamente, come vallombrosiano in quanto la prima stazione meteorologica da lui realizzata, e nella quale maggiormente lavorò, era ubicata presso l'Abbazia di Vallombrosa (Firenze). [46]
- ³⁴ Leopoldo de' MEDICI (Firenze 1617 ivi 1675), ultimogenito di Cosimo II granduca di Toscana e di Maria Maddalena d'Austria. La sua prima educazione fu curata dalla madre e dalla nonna Cristina di Lorena; fu affidato quindi allo scolopio Iacopo Soldani e a Famiano Michelini, entrambi allievi di Galileo Galilei, dai quali ricevette un'istruzione più accurata e libera rispetto a quella dei fratelli cadetti maggiori, Giovan Carlo, Francesco, Mattias. Fu un grande appassionato di discipline scientifiche, un po' come tutto il ramo granducale dei Medici. Ricostituì l'antica Accademia Platonica, e fondò, assieme al fratello Ferdinando, l'Accademia del Cimento, secondo una sua precisa idea di ricerca scientifica basata sull'osservazione diretta dei fatti, in applicazione del metodo scientifico galileiano. Inoltre era stato eletto membro dell'Accademia della Crusca, dove svolse l'importante ruolo di reggente, inoltre si occupò scrupolosamente della preparazione delle voci riguardanti le arti per la III edizione del Vocabolario della Crusca. Leopoldo, essendo la famiglia de' Medici rimasta senza autorevoli rappresentati nell'ambito ecclesiale, fu indotto ad entrare nel collegio cardinalizio nel 1667.
- ³⁵ Nel Proemio *a lettori* viene spiegato il motto *provando e riprovando*:
- [...] non vi à cui meglio rivolgersi, che alla fede dell'esperienza, la quale non altrimenti di chi varie gioie sciolte, e scommesse cercasse di rimettere ciascuna per ciascuna al suo incastro, così ella adattando effetti a cagioni, e cagioni ad effetti, se non di primo lancio, come la geometria, tanto fa, che PROVANDO E RIPROVANDO le riesce talora di dar nel segno. Conviene però camminar con molto riguardo, che la troppa fede all'esperienza non ci faccia travedere, e n'inganni; essendo che alle volte, prima ch'ella ci mostri la verità manifesta, dopo levati que' primi velami delle falsità più palesi, ne fa scorgere certe apparenze ingannevoli, ch'hanno sembianza di vero, e sì lo somigliano [...].
- È chiaro che il motto, con questo significato, prende spunto dal metodo sperimentale galileiano che a sua volta aveva preso ispirazione dai dettami aristotelici. Il motto del Cimento non ha nulla a che vedere con il *provando e riprovando* della prima terzina del Paradiso dantesco dove vale *approvando e disapprovando* (dal latino tardo *probare: "approvare"*; e col prefisso *re-probare:* "disapprovare, biasimare, censurare, condannare, deplorare, stigmatizzare") [2].
- ³⁶ La produzione del Cimento era sempre opera collegiale e quindi anche nel caso dei *Saggi* non sono indicati gli autori e nel frontespizio si dice solo che sono a cura di *Il Saggiato Segretario* di cui però non si dice il nome pur essendo a tutti noto che il segretario era Lorenzo MAGALOTTI (Roma 1637 Firenze 1712). L. Magalotti fu un erudito e un letterato. Il suo stile e la sua cultura enciclopedica gli riservarono un ruolo primario nel rinnovamento delle lettere italiane tra Seicento e Settecento. Fu autore di opere letterarie e di opere di carattere scientifico e divulgativo con le quali contribuì a diffondere il galileismo anche fuori dall'Italia. I già ricordati *Saggi di naturali esperienze* contengono le relazioni di parte dell'attività sperimentale dell'Accademia del Cimento; tradotti in inglese nel 1684 furono un efficace strumento di propaganda del metodo galileiano. Scrisse novelle a imitazione del Boccaccio, rime petrarchesche, commentò i primi cinque canti dell'Inferno e svolse una ricca attività di traduttore (Anacreonte, Milton, Saint-Évremond, ecc.). Importante il suo carteggio, ancora in parte inedito.
- ³⁷ Anno di Pubblicazione dei *Saggi di Naturali Esperienze*: 1666 o *1667*?

 Nel Medioevo e fino al XVII-XVIII secolo, il Capodanno era diverso nelle varie città poiché veniva riferito: o alla Natività (25 dicembre), oppure all'Incarnazione (25 marzo), o alla Circoncisione (1 gennaio) di Cristo, come nell'uso attuale. Firenze fino all'1 gennaio 1750, si riferiva all'Incarnazione, pertanto avendo l'Accademia interrotto l'attività il 5 marzo 1666 (nell'uso fiorentino) risulta, nell'uso odierno, aver interrotto l'attività il 5 marzo 1667. Ovviamente si ha coincidenza di date, nei due sistemi, per quei giorni compresi fra il 25 marzo e 31 dicembre.

Per quanto riguarda la pubblicazione dei *Saggi* si può notare, vedi figura successiva, che esistono copie aventi sul frontespizio la data 1666 e altre la data 1667, ma entrambe hanno la *dedicatoria* al granduca Ferdinando II di Toscana in data *Firenze li 14 Luglio 1667*; pertanto la pubblicazione è, in ogni caso, successiva a questa data (a prescindere dal capodanno).

La differenza di data fra i due frontespizi è da attribuirsi al fatto che la prima stampa era iniziata prima del marzo (e quindi 1666 nell'uso fiorentino) e poi per vari motivi si è protratta per molto tempo superando il capodanno fiorentino. Il frontespizio 1667 è una ristampa, fatta in quell'anno. Un identico frontespizio datato 1691 dalla stamperia di Filippo Cecchi è una Seconda Edizione dedicata al granduca Cosimo III [104].





³⁸ Robert BOYLE (Lismore 1627 – Londra 1691), chimico irlandese; nel 1641 risiedette a Firenze alcuni mesi, dove studiò le opere di G. Galilei. Fu questo un periodo decisivo per la sua formazione. Tornato in Inghilterra nel 1644, si dedicò completamente alla scienza, e ed entrò a far parte dell'*Invisible College*, gruppo del quale facevano parte le giovani energie scientifiche avversarie dei metodi peripatetico-scolastici e fautrici della nuova filosofia naturale. Nel 1661 pubblicò *The sceptical chymist*, opera rimasta meritamente famosa perché in essa venivano posti i fondamenti della chimica moderna, confutando la teoria dei quattro elementi di Aristotele, e si definivano: il concetto di elemento, la distinzione fra combinazione e miscuglio, e conseguentemente il concetto di analisi chimica, ecc. Nel 1666 pubblicò *The origin of forms and qualities*; in esso viene affermato che le differenze fra le sostanze vanno fatte risalire alla diversità di moto, peso e disposizione delle particelle di cui sono composte. Si stabilisce che la natura di un corpo può essere descritta per mezzo delle sue proprietà osservabili e misurabili, senza dover postulare l'esistenza di particolari principî o essenze. Notevoli furono i suoi studi sulla respirazione, sul suono, sull'idrostatica, ecc.

³⁹ Francesco BACONE (Londra 1561 – ivi 1626), nome italianizzato di Sir Francis Bacon, è stato un filosofo, politico, giurista e saggista. Visse alla corte inglese durante il regno di Elisabetta I Tudor e di Giacomo I Stuart. È l'ideologo della scienza moderna poiché intuì la dimensione pratico-operativa su

- cui fondare il progresso. Rifiutò la logica deduttiva aristotelica e propose un metodo per studiare e per "dominare" la Natura: metodo induttivo, basato su ipotesi da verificarsi mediante esperimenti scientifici (Novum Organum, 1620). «Probabilmente la ragione principale che impedì a questo pensatore di divenire il fondatore della scienza empirica moderna fu [a differenza di G. Galilei] la sua totale incomprensione del ruolo che in essa deve avere la matematica» [105].
- ⁴⁰ Jean-Baptiste COLBERT (Reims 1619 Parigi 1683), fu funzionario nella pubblica amministrazione dal 1643. Dovette la sua rapida carriera al cardinale Mazzarino che, dopo averlo impiegato come suo amministratore privato, lo raccomandò a Luigi XIV che lo nominò Controllore Generale, Segretario di Stato della Casa Reale e Segretario della Marina di Stato. Colbert fu ispiratore e promotore di una politica economica interventista e mercantilista. Nel 1666, fondò a Parigi l'*Académie des Sciences* di cui fecero parte matematici, astronomi, fisici, anatomisti, botanici, zoologi e chimici. La prima riunione dell'Accademia ebbe luogo il 22 dicembre 1666 nella biblioteca del re, a Parigi.
- ⁴¹ Edmond HALLEY (Londra 1656 Greenwich 1742), astronomo, matematico, fisico, climatologo, geofisico e meteorologo inglese. Fu il primo a calcolare l'orbita di una cometa che in seguito prese il suo nome. È anche noto per aver convinto Isaac Newton a scrivere *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) e per aver sostenuto le spese di pubblicazione.
- ⁴² Metrologia: è la parte della fisica che si occupa della caratterizzazione degli strumenti di misura, della definizione delle procedure di calibrazione e delle metodologie di misura.
- ⁴³ Francesco FOLLI (Poppi 1624 Sansepolcro 1685), medico aretino, nel 1664 inventò lo "strumento da conoscere i gradi dell'umido e del secco dell'aria" che chiamò "mostra umidaria". Nel 1665, stabilitosi a Firenze, presentò lo strumento al granduca Ferdinando II de' Medici che, come scrisse lo stesso Folli, "mostrò gradirlo, e ne fece fare alcuni, che subito mandò a vari Principi d'Europa". Particolarmente brillanti furono le sue ricerche sul problema della trasfusione del sangue, di cui viene considerato uno dei primi sperimentatori. Nel 1680 pubblicò a Firenze la Stadera Medica nella quale, oltre la medicina infusoria e altre novità, si bilanciano le ragioni favorevoli e contrarie alla trasfusione del sangue.
- ⁴⁴ Isaac NEWTON (Woolsthorpe-by-Colsterworth 1642 Londra 1727), matematico, fisico, filosofo naturale, astronomo, teologo e alchimista inglese. È uno dei maggiori geni di tutti i tempi, contribuì in maniera fondamentale a più di una branca del sapere. Fu Presidente della *Royal Society*. Nei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) descrisse la legge di gravitazione universale e formulando le leggi del moto, stabilì i fondamenti per la meccanica classica. Newton fu il primo a dimostrare che la radiazione (luce) bianca è composta dalla somma di radiazioni di frequenze (colori) diverse. Ne è prova l'arcobaleno, fenomeno ottico–meteorologico, che è la scomposizione della radiazione bianca solare nelle sue componenti colorate per effetto della rifrazione (vedi nota 54) quando la luce del Sole attraversa le gocce d'acqua rimaste in sospensione nell'atmosfera, dopo un temporale. Newton avanzò l'ipotesi che la luce fosse composta da particelle, da ciò prese origine la teoria corpuscolare della luce in contrapposizione ai sostenitori della teoria ondulatoria. Oggi la meccanica quantistica parla di dualismo onda-particella anche se i fotoni hanno poco in comune con i corpuscoli ipotizzati da Newton.
- ⁴⁵ Animali che spesso non sopravvivevano all'esperimento.
- ⁴⁶ Vincenzo VIVIANI (Firenze 1622 ivi 1703), matematico e fisico. Discepolo di G. Galilei e collaboratore di E. Torricelli, proseguì i loro studi, in particolare quelli sul moto e sulla variazione della pressione atmosferica in relazione all'altezza. Di nobile e ricca famiglia, fu proposto nel 1639 a G. Galilei come suo segretario dal granduca di Toscana Ferdinando II. Trasferitosi nella casa dello scienziato ad Arcetri lo assistette nella stesura degli ultimi lavori e lo confortò negli ultimi anni di vita. Fu nominato ingegnere militare e civile preposto alle fortificazioni e ai lavori idraulici del granducato. Collaborò con E. Torricelli all'esecuzione dell'esperimento barometrico; eseguì esperimenti, con dispositivi di sua invenzione, per dimostrare la variazione di pressione atmosferica con l'altezza. Fu uno dei più autorevoli membri dell'Accademia del Cimento; nel 1696 fu nominato membro della *Royal Society* di Londra e nel 1699 della rinnovata *Académie des Sciences* di Parigi. [3]

- ⁴⁷ Otto von GUERICKE (Magdeburgo 1602 Amburgo 1686), politico, giurista e fisico tedesco. Contribuì molto alla diffusione delle nuove conoscenze meteorologiche. Particolarmente interessato al moto dei pianeti nel vuoto volle studiare il problema su un modello per cui ebbe bisogno di trovare un modo per ottenere il vuoto entro uno spazio notevole. Celebre la sua esperienza degli *emisferi di Magdeburgo*: realizzò due grandi emisferi cavi di ottone (diametro di circa 80 cm) muniti di anelli e aventi i bordi accuratamente levigati in modo da assicurare aderenza e tenuta quando erano messi a contatto; facendo il vuoto nella sfera, ottenuta dalla loro unione, si constatava che attaccando agli anelli quattro coppie di focosi cavalli, da una parte e dall'altra, non si riusciva a separare i due emisferi, a causa della pressione atmosferica esterna. I due emisferi erano separabili solamente reimmettendo aria nella sfera a una pressione tale da bilanciare quella esterna.
- ⁴⁸ Barometro, dal greco *bàros*, peso e *métron*, misura, il barometro, infatti, misura il peso della colonna d'aria sovrastante il mercurio nella vaschetta. Per una breve storia dell'evoluzione dei barometri si veda [72].
- ⁴⁹ Jean Nicolas FORTIN (Mouchy-la-Ville 1750 Parigi 1831), inventore e produttore francese di strumenti scientifici. Tra i suoi clienti c'erano noti scienziati come Lavoisier, Gay-Lussac, Arago e Dulong. Tra le sue numerose invenzioni figurano oltre alle bilance di precisione, vari modelli di cronometro, pompe a vuoto e altri strumenti di fisica, ma è soprattutto noto per aver ideato un tipo di barometro a mercurio che porta il suo nome.
- ⁵⁰ Gottfried Wilhelm LEIBNIZ (Lipsia 1646 Hannnover 1716), matematico, filosofo, scienziato, logico, glottoteta, diplomatico, giurista, storico, magistrato tedesco. A lui si deve il termine "funzione" che usò per individuare le proprietà di una curva, tra cui l'andamento, la corda, la pendenza e la perpendicolare in un punto. A Leibniz, assieme a Isaac Newton, vengono attribuiti l'introduzione e i primi sviluppi del calcolo infinitesimale, in particolare il concetto di integrale. Fu inventore di una calcolatrice meccanica detta Macchina di Leibniz; inoltre alcuni ambiti della sua filosofia aprirono numerosi spiragli sulla dimensione dell'inconscio. Leibniz è uno dei massimi esponenti del pensiero occidentale, nonché una delle poche figure di "genio universale"; la sua applicazione intellettuale a pressoché tutte le discipline del sapere ne rende l'opera vastissima e studiata ancor oggi trasversalmente.
- ⁵¹ Federico I di HOHENZOLLERN (Königsberg 1657 Berlino 1713), terzo figlio di Federico Guglielmo I di Brandeburgo e di Luisa Enrichetta d'Orange, figlia maggiore del Principe Federico Enrico d'Orange. Suo cugino per parte di madre era il Re Guglielmo III d'Inghilterra. È stato il principe elettore di Brandeburgo dal 1688 al 1713, l'ultimo duca di Prussia dal 1688 al 1701 e il primo re in Prussia dal 1701 al 1713. L'elettore Federico III di Brandeburgo ricevette l'autorizzazione definitiva dell'imperatore Leopoldo I ad essere eletto alla carica di re. Il titolo preciso che venne assegnato era quello di "Re in Prussia" e non "Re di Prussia", in quanto comunque l'autorità regia rimaneva sottoposta a quella dell'Imperatore del Sacro Romano Impero di cui il re, quale elettore del Brandeburgo, era suo vassallo.
- ⁵² Federico II di HOHENZOLLERN (Berlino 1712 Potsdam 1786), detto Federico il Grande, terzo re di Prussia e principe elettore di Brandeburgo dal 1740 al 1786. Fu uno dei personaggi più importanti e rappresentativi del suo tempo, incarnando l'archetipo settecentesco del monarca illuminato. La complessa azione di governo del suo Stato si svolse: sul piano politico e militare, su quello dell'economia e dell'amministrazione statale e nel campo dello sviluppo delle scienze e delle arti. Con una politica espansionistica e con una serie di guerre aggressive il sovrano seppe far crescere nel corso di pochi decenni il piccolo regno prussiano da stato di dimensioni regionali a una delle principali potenze europee. Condottiero del suo esercito, da lui rafforzato e preparato, abile stratega e tattico, Federico fu uno dei maggiori capi militari della storia.
- ⁵³ Pierre-Louis MOREAU DE MAUPERTUIS (Saint-Malo 1698 Basilea 1759), matematico, fisico, filosofo, naturalista e astronomo francese. La sua reputazione come scienziato e come uomo di lettere accrebbe notevolmente quando si trasferì a Parigi. Nel 1723 fu ammesso all'*Académie Royale des Sciences*. I suoi primi studi si concentrarono sulle teorie di Isaac Newton, che ai suoi tempi non erano ancora accettate al di fuori dell'Inghilterra. In seguito contestò i modelli proposti da Jacques Cassini sulla presunta forma ovale della terra. Nel 1740 si recò a Berlino invitato da Federico II di Prussia e

venne fatto prigioniero dagli austriaci durante la battaglia di Mollwitz. Successivamente fu nominato presidente della Königlich Preuβische Akademie der Wissenschaften di Berlino, non senza alcune difficoltà derivanti dal lungo conflitto tra la Francia e la Prussia. Trascorse gli ultimi anni di vita, dapprima nel sud della Francia e infine a Basilea dove morì nel 1759, ospite della famiglia Bernoulli.

- ⁵⁴ Rifrazione: cambiamento della direzione di propagazione di una onda sia sonora sia elettromagnetica quando essa passa da un mezzo a un altro nel quale la velocità di propagazione delle onde è diversa o quando c'è una variazione spaziale della densità del mezzo in cui l'onda si propaga, come è, ad esempio, il caso dell'atmosfera terrestre.
- ⁵⁵ LORENA: Granduchi di Toscana dal 1737 al 1801 e dal 1814 al 1859. Francesco III, figlio e successore di Leopoldo di Lorena, sposò Maria Teresa d'Asburgo figlia dell'imperatore Carlo VI, e a seguito della guerra di successione polacca dovette cedere l'avito titolo ducale al detronizzato re di Polonia Stanislao Leszczyński, come disposto dai preliminari del trattato di Vienna. In cambio, Francesco, ricevette il diritto ad ereditare il titolo granducale di Toscana, dopo la morte di Gian Gastone de' Medici (1737), allora promesso all'infante di Spagna Carlo di Borbone che vi rinunciò, come contropartita al riconoscimento austriaco della conquista borbonica delle Due Sicilie.

Per garantire l'indipendenza alla Toscana e non renderla una regione dello stato asburgico, si stabilì di tenere separate le due corone, mantenendo per il primogenito della casata degli Asburgo-Lorena il titolo imperiale, mentre per il secondogenito quello granducale.

- ⁵⁶ Leonardo XIMENES (Trapani 1716 Firenze 1786), gesuita, astronomo, ingegnere e geografo italiano di grande rilievo nella Toscana dei Lorena. Studiò a Trapani presso il collegio dei Gesuiti. Vestì poi l'abito della compagnia di Gesù che lo destinò alla Provincia Toscana nel 1731, dove fu incaricato dell'insegnamento delle lettere presso il Collegio di San Giovannino a Firenze. Dopo le sue prime pubblicazioni in ambito scientifico, dal Granduca gli venne affidata la cattedra di Geografia presso l'Università di Firenze e gli fu dato l'incarico di redigere la cartografia della Toscana. Come ingegnere: idraulico avviò nel 1757 la bonifica del lago di Bientina, oggetto di controversie secolari tra Lucca e Firenze, fece costruire un grande canale emissario dal lago all'Arno e realizzò un polo viario per facilitare il commercio e le comunicazioni tra l'interno e la costa. Nel 1765 Ximenes si occupò della bonifica della Maremma Grossetana. Come astronomo: studiò l'obliquità dell'eclittica, restaurò lo gnomone di Santa Maria del Fiore, scoprì l'influenza della luna sulle maree. Come scienziato idraulico si occupò di strumenti per misurare la velocità delle acque, i più noti fra questi furono la ventola e la valvola idraulica, che consentivano misure puntuali dell'intensità della corrente. Nel 1756 fondò a Firenze l'osservatorio astronomico di San Giovannino, a cui dedicò gli ultimi anni della sua vita e che oggi porta il suo nome.
- ⁵⁷ Jean-André DELUC (Ginevra 1727 Windsor 1817), naturalista, fisico e geologo svizzero. Fu autore di importanti studi di termologia e meteorologia. In particolare effettuò ricerche sulla pressione atmosferica: studiò l'influenza della temperatura sul livello raggiunto dal mercurio nei tubi barometrici, elaborando una formula di correzione da utilizzare per la determinazione delle altimetrie mediante il barometro. Perfezionò anche un barometro portatile. Viene considerato un precursore di J. Dalton nella formulazione della legge delle pressioni parziali.
- ⁵⁸ Scolopi, ovvero chierici regolari poveri della Madre di Dio delle scuole pie, sono un istituto religioso maschile di diritto pontificio. Le origini dell'ordine risalgono alle scuole popolari gratuite (*scuole pie*) fondate da san Giuseppe Calasanzio a Roma nel 1597. Il 25 marzo 1617 Calasanzio e i suoi compagni diedero inizio a una congregazione di religiosi per l'insegnamento: papa Gregorio XV elevò la compagnia a ordine regolare con *breve* del 18 novembre 1621.
- Gli scolopi si dedicano principalmente all'istruzione e all'educazione cristiana di giovani e fanciulli.
- ⁵⁹ Ubaldo MONTELATICI (Firenze 1692 ivi 1770), seguì a Firenze studi di lettere, filosofia e teologia. Sacerdote dell'Ordine regolare dei canonici Lateranensi. Nel 1742 ricevette l'investitura di abate privilegiato della badia di San Pietro in Casa Nuova a Laterina. Qui riprese lo studio della fisica e maturò un particolare interesse per la botanica e l'agricoltura, inserendosi in quel filone di razionalizzazione della pratica agraria e della vita economica tipico della parte centrale del Settecento.

- Il Montelatici si ricorda, fondamentalmente, per la nascita dell'Accademia dei Georgofili, avvenuta a Firenze nel 1753, di cui fu da subito riconosciuto come "institutore" e nominato "segretario". Egli aveva stabilito corrispondenze fisse con studiosi e istituti tedeschi e francesi, che si aggiungevano alle relazioni con coloro che a Firenze avevano dato vita all'Accademia. Tra questi spicca il medico e naturalista Giovanni TARGIONI TOZZETTI (Firenze 1712 ivi 1783), la cui opera è legata allo sviluppo scientifico ed economico della Toscana [104]. Fra i due studiosi intercorse tra 1754 e 1763 un fitto scambio di lettere, libri, opuscoli e manoscritti. Montelatici mantenne l'incarico di segretario dei Georgofili fino al giugno 1767, quando fu nominato segretario perpetuo per il carteggio con l'estero. [1]
- ⁶⁰ Henry CAVENDISH (Nizza 1731 Londra 1810), come il padre Charles fu chimico, fisico britannico. Dal 1749 al 1753 studiò matematica e fisica a Cambridge. Molte delle sue scoperte nel campo dell'elettricità e del calore non vennero pubblicate, tuttavia i suoi contemporanei ritennero straordinari i suoi lavori. Fu membro effettivo della *Royal Society* e consigliere del *British Museum*. In chimica si interessò allo studio dei gas, isolò l'idrogeno, e fece un'analisi precisa della composizione dell'aria.
- ⁶¹ James SIX (Canterbury 1731 ivi 1793), meteorologo e inventore inglese. La *Royal Society* ritenne il suo termometro di importante rilievo e pubblicò un articolo su di esso (1782). Nel 1783 Six effettuò misure di temperatura nel campanile della cattedrale di Canterbury. Successivamente pubblicò degli articoli sull'andamento della temperatura locale e su altre osservazioni meteorologiche. Dal 1792 fece parte della *Royal Society*. Nel 1794 uscì postumo un suo libro nel quale erano illustrati i suoi termometri.
- ⁶² Angelo BELLANI (Monza 1776 Milano 1852), fisico, inventore e sacerdote italiano. Studiò e realizzò termometri di precisione, a mercurio, dei quali per primo promosse l'industria in Italia, e varî tipi di aerometri e varî strumenti di meteorologia (un atmometro, un lucimetro, uno psicrometro collettore, ecc.). Della sua attività scientifica viene ricordato la sua opposizione alla teoria di Alessandro Volta sulla formazione della grandine. Bellani affermò che il calore dei raggi solari aumenta la temperatura della massa totale delle nuvole, così che la superficie esterna evapora più in fretta, ma non determina la prima congelazione della nuvola. Sostenne, insieme ad altri studiosi, l'inutilità dei sistemi di prevenzione contro i fulmini e la grandine (i *paragrandini*). Questi studi furono utilizzati dalle compagnie di assicurazione per valutare il rischio da coprire.
- ⁶³ Daniel RUTHERFORD (Edimburgo 1749 ivi 1819), chimico e botanico scozzese. Dopo aver esercitato la professione di medico, dal 1786 fu professore di botanica all'Università di Edimburgo. È noto per aver individuato nuovo tipo di gas (1772), che chiamò aria flogistificata (azoto). Nel 1790 presentò alla *Royal Society of Edinburgh* due termometri registratori realizzati da John RUTHERFORD di Middle Balilish, in Scozia, che furono successivamente descritti nelle *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* nel 1794 [1057], [1058].
- ⁶⁴ Alexander KEITH (Ravelston? 1737 Dunnottar 1819), scozzese, membro di un'antica società di avvocati, fondatore del premio Keith. Membro della *Philosophical and Royal Societies of Edinburgh* e della *Society of Antiquaries of Scotland*. Il Keith contribuì con alcuni lavori alle "Transactions" della *Royal Society of Edinburgh*. Costituì un lascito da applicare alla promozione degli interessi della scienza. Tra coloro che hanno ricevuto il premio Keith ricordiamo: il fisico D. Brewster, il matematico G. Boole e il fisico-matematico J. C. Maxwell.
- 65 Felice FONTANA (Pomarolo Trento 1730 Firenze 1805), chimico e fisico. È stato inoltre un illustre tossicologo e studioso dell'occhio umano. Perfezionò i propri studi di scienze filosofiche, fisiche e anatomiche in varie città italiane. Fontana studiò Anatomia e Fisiologia all'Università di Padova. Nel 1765 fu nominato professore di logica a Pisa. Nel 1765, il granduca Pietro Leopoldo lo chiamò a Firenze nominandolo contemporaneamente fisico di corte e direttore del gabinetto di fisica di palazzo Pitti. In questo secondo ruolo organizzò un museo di animali, di piante, di minerali, di rocce, ma soprattutto preparò una superba raccolta di cere per illustrare l'anatomia dell'uomo, raccolta che ebbe fama mondiale e che costituisce ancor oggi il pregio maggiore delle ricchissime collezioni del museo fiorentino *La Specola*.

⁶⁶ Filippo CECCHI (Ponte Buggianese - Pistoia 1822 – Firenze 1887), religioso degli Scolopi, fisico e matematico si occupò di insegnamento e di ricerca, in particolare di meteorologia e sismologia. Diresse l'Osservatorio Ximeniano a Firenze dal 1872 al 1887 sviluppando quella stazione meteorologica e favorendone la nascita di altre in Toscana. Inoltre Cecchi dotò l'Osservatorio di un importante laboratorio sismologico. Egli ideò e realizzò vari tipi di sismografi, progettò il grande termometro e il barometro che furono collocati nella Loggia dell'Orcagna a Firenze (nota 67) e restaurò, inoltre, lo gnomone installato nel Duomo di Firenze da Leonardo Ximenes, ripetendo in quell'occasione l'esperienza del pendolo di Foucault. Cecchi fu membro dell'Accademia Nazionale dei Lincei e vicepresidente della Società Meteorologica Italiana (SMI) di cui era presidente il meteorologo padre barnabita Francesco DENZA (Napoli 1834 - Roma 1894). La SMI fu fondata da F. Denza nel 1865. presso l'Osservatorio Meteorologico di Moncalieri. Nel settembre del 1880 numerosi meteorologi italiani si incontrarono a Torino per ufficializzare la SMI, in quell'occasione Denza presentò un anemoscopio, un anemometro semplice, un anemografo e un pluviografo. Questi ultimi due strumenti furono successivamente riuniti in un unico strumento, denominato anemopluviografo Denza. La ratifica formale dello statuto della SMI avvenne a Torino nel 1881. Il Denza oltre a creare una rete di osservatori meteorologici in tutta Italia, con l'aiuto dei missionari, ne istallò anche in America Latina.

⁶⁷ Firenze, piazza della Signoria, Loggia dei Lanzi o dei Priori [76].





Andrea di Cione Arcangelo detto l'Orcagna (1310 – 1368):
- a destra il barometro, dietro la statua del "ratto delle Sabine",
- a sinistra il termometro, seminascosto dalla colonna.
Strumenti di padre F. Cecchi,

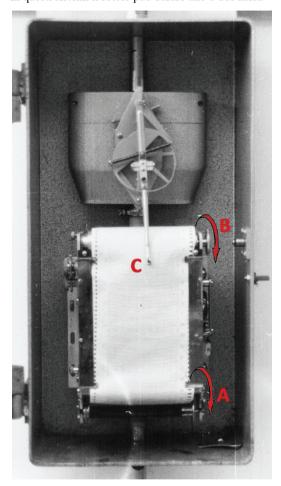
entrambi asportati intorno al

1940.



⁶⁸ Essendo il filo di ottone di 21 m, subiva variazioni di lunghezza di 0,4 mm per grado. Per effetto del sistema di amplificazione meccanica si otteneva sulla scala centigrada un arco di 4 cm circa per grado centigrado.

⁶⁹ Incontreremo altri strumenti con sistemi di registrazione di questo tipo: piranografo (Figura 41, pagina 49), termoigrografo (Figura 59, pagina 85), ecc. Tutti hanno un sistema di registrazione analogo a quello descritto: tamburo rotante per effetto di un motore a molla o elettrico, tempo di esecuzione di un giro completo o giornaliero o settimanale o bisettimanale. In certi pluviografi la scrittura non avviene su un semplice foglio diagrammale, ma su un rotolo diagrammale che si srotola un po' alla volta per consentire la registrazione e si riavvolge man mano che la registrazione procede (vedi foto successiva). In questi sistemi il rotolo può durare uno o due mesi.



Pluviografo (interno) con sistema di registrazione, su carta diagrammale, mensile

- A) Rullo motore su cui si avvolge la carta già tracciata;
- B) rullo mosso su cui è avvolta la carta vergine;
- C) Pennino a inchiostro.

In alto il contenitore delle vaschette oscillanti.

Foto di Gianni Fasano.

⁷⁰ Lucien VIDI (Nantes 1805 – ivi 1866), fisico francese che nel 1844 presentò il suo barometro aneroide. Lo strumento ebbe successo e L. Vidi riuscì a trarne profitto, nonostante le diverse battaglie legali contro, altri costruttori di strumenti simili; in particolare contro Eugène Bourdon, che nel 1849 progettò un barometro simile.

⁷¹ Robert FITZROY (Ampton Hall 1805 – Norwood 1865), ammiraglio inglese. Compì alcune importanti esplorazioni scientifiche sulle coste dell'America Meridionale, visitando in particolare la Terra del Fuoco (1827-1830). In un secondo viaggio (1831-1836) fu nuovamente in Patagonia, dove percorse la regione del Porto di San Giuliano, e quindi nelle Isole Falkland; a questo viaggio partecipò

anche Charles Darwin. R. Fitzroy è considerato uno dei pionieri della meteorologia, egli infatti diede inizio alla meteorologia sinottica. Nel 1854 istituì quello che in seguito fu chiamato *Met Office* e stabilì procedure per dare informazioni meteorologiche utili alla sicurezza di marinai e pescatori.

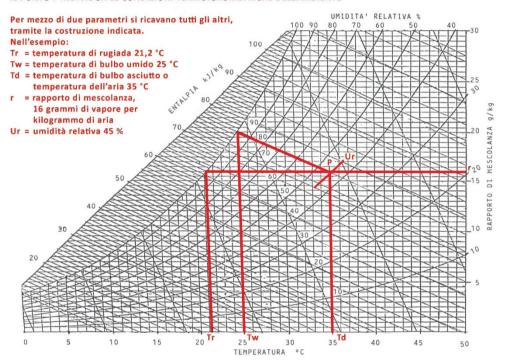
- ⁷² Horace Benedict de SAUSSURE (Conches 1740 Ginevra 1799), scienziato svizzero, considerato il fondatore dell'alpinismo. Il Saussure condusse studi anche sul clima montano ed effettuò osservazioni meteorologiche, spesso sulle cime delle Alpi. Egli misurava pressione atmosferica e temperatura dell'acqua quando questa bolliva alle diverse quote sulle montagne; rilevava inoltre, alle diverse altezze, l'umidità dell'atmosfera, la sua temperatura, la radiazione solare, la composizione dell'aria e la sua trasparenza. Inoltre studiò sia la temperatura della Terra, a tutte le profondità a cui poteva portare i suoi termometri, sia la temperatura di corsi d'acqua, ghiacciai, laghi e persino del mare.
- ⁷³ Oggi l'Organizzazione Meteorologica Mondiale OMM (*Organisation Météorologique Mondiale, Organización Meteorológica Mundial, World Meteorological Organization WMO, Weltorganisation für Meteorologie*) prescrive che i capelli siano di donna bionda castano chiaro in quanto questi capelli sono più sottili e lisci di quelli scuri e di conseguenza la loro sezione è quasi circolare; per queste caratteristiche rispondono più efficacemente alle variazioni di umidità con un incremento di lunghezza da 2 a 2,5 % quando l'umidità relativa passa da 0 a 100 % [120].
- ⁷⁴ Jaques (o Jacques) PAUL (Ginevra 1733 ivi 1796), artigiano svizzero, abile costruttore di strumenti scientifici. Lavorò per gli scienziati Jean-André Deluc (vedi nota 57) e Horace Bénédict de Saussure (vedi nota 72), che lo stimarono molto e per i quali spesso realizzò apparecchi come barometri e igrometri. Il figlio Théodore-Marc propose un igrometro a massima e a minima.
- ⁷⁵ Lo stato igrometrico dell'aria determina tre temperature di questa: di bulbo asciutto (o temperatura dell'aria *tout court*); di bulbo umido, che si rileva con un termometro avente il bulbo umidificato; di rugiada ovvero *la temperatura a cui bisogna raffreddare un volume d'aria, senza alterarne la pressione, per fare iniziare la condensazione del vapor d'acqua in essa contenuto.* Vedi nota 82.
- ⁷⁶ John Frederic DANIELL (Londra 1790 ivi 1845), fisico e chimico inglese. Membro a 24 anni della *Royal Society* di Londra, inventore dell'igrometro a condensazione e di un pirometro, è soprattutto noto per la realizzazione di una delle prime pile a due liquidi, ancora oggi in uso, oltre che per i suoi studi sull'elettrolisi, nei quali individuò le specie ioniche che partecipano ai processi ossido-riduttivi. Si interessò proficuamente di studi meteorologici e anche di orticoltura [3].
- ⁷⁷ Henri Victor RÉGNAULT (Aquisgrana 1810 Parigi 1878), chimico francese. Si dedicò particolarmente allo studio dei coefficienti di dilatazione dei gas, ai calori specifici e alla loro variazione con la temperatura, ai calori di fusione e di evaporazione, alla densità dei gas. Determinò il peso atomico di numerosi elementi (argento, bismuto) utilizzando le leggi di Dulong e Petit sui calori specifici. Ideò tabelle igrometriche, un tipo di calorimetro ad acqua, un tipo di termometro ad aria a volume costante. Si occupò di chimica organica e di chimica fisiologica. [3]
- ⁷⁸ Ernst Ferdinand AUGUST (Prenzlau 1795 1870 Berlino), geometra e meteorologo tedesco. Come geometra è noto specialmente per la pubblicazione della traduzione in tedesco dell'opera di Euclide (1826-1829). Come meteorologo fu tra i primi a dare una teoria e un modello matematico abbastanza esatto dello psicrometro, strumento per la valutazione dell'umidità relativa dell'aria, mediante la misura delle temperature segnate da un termometro a bulbo asciutto e da uno con il bulbo bagnato (1825).
- ⁷⁹ Richard ASSMANN (Magdeburgo 1845 Giessen 1918), fisico e meteorologo tedesco. Ricoprì l'incarico di capo dell'Istituto meteorologico di Berlino e fondò e diresse (1899-1914) l'osservatorio aerologico di Lindenberg, uno tra i più importanti centri di studi dell'atmosfera. Organizzò e diresse le grandi ascensioni aerostatiche della fine del secolo. Si ricorda anche per l'invenzione (1892) dello psicrometro ventilato che porta il suo nome. [3]
- 80 L'equazione psicrometrica consente di calcolare la pressione parziale del vapor d'acqua presente in aria (solitamente indicata con la lettera e) alla temperatura di bulbo asciutto T e temperatura di bulbo

umido Tu, quando sia nota la pressione di saturazione del vapore alla temperatura Tu, indicata con es(Tu), calcolabile con una formula o ricavabile da apposite tabelle. Con lo stesso procedimento si deduce es(T), pressione di saturazione del vapore alla temperatura T. Il rapporto fra es(Tu) ed es(T) dà l'umidità relativa dell'aria alla temperatura di bulbo asciutto T e bulbo umido Tu.

⁸¹ William FERREL (Bedford - Pennsylvania 1817 – Marywood - Kansas 1891), fisico del servizio geologico degli USA e poi al *Signal Service* di Washington. Studiò specialmente la circolazione atmosferica e delle maree Nel 1856 pubblica un Saggio sui venti e le correnti dell'oceano, in cui espone un modello della circolazione dell'atmosfera fondato sulla teoria del moto relativo di Gustave-Gaspard Coriolis, e successivamente propone due ulteriori versioni sulla circolazione generale dell'atmosfera che pongono le basi per lo sviluppo della futura meteorologia dinamica.

82 Diagramma psicrometrico

IL PUNTO P INDIVIDUA LE CONDIZIONI TERMOIGROMETRICHE DELL'AMBIENTE



⁸³ Willis Haviland CARRIER (Angola - New York 1876 – New York City 1950), ingegnere e inventore statunitense; conosciuto per essere stato l'inventore del condizionatore d'aria e l'uomo che ha dato il nome al diagramma psicrometrico.

⁸⁴ Christopher WREN (East Knoyle 1632 – Londra 1723), architetto, fisico, matematico inglese. Si occupò anche di idraulica, astronomia e meccanica, raggiungendo risultati di rilievo. Fu membro della *Royal Society* e ne divenne presidente (1680); si occupò anche di meteorologia: nel 1662 inventò il pluviometro a vaschetta oscillante e nel 1663 progettò un "orologio meteorologico" che fu perfezionato, nel 1679, da R. Hooke (nota 85).

⁸⁵ Robert HOOKE (Freshwater 1635 – Londra, 1703), fisico, biologo, geologo e architetto inglese. Fu assistente personale di Robert Boyle (vedi nota 38). Presso la *Royal Society* fu creato per lui il ruolo di

Curatore degli esperimenti, che fece di R. Hooke il primo scienziato pagato al solo scopo di svolgere ricerche. Negli anni successivi R. Hooke affiancò al lavoro sperimentale svolto per la Royal Society un'intensa attività di teorico, architetto e inventore. Fu uno dei più grandi scienziati del Seicento e una delle figure chiave della rivoluzione scientifica. È del 1675 la formulazione della legge fisica sui corpi elastici che porta il suo nome: "Ut tensio, sic vis" (come l'estensione, così la forza). Dopo il grande incendio di Londra fu impegnato nella ricostruzione della città. Dal 1677 svolse anche il compito di segretario della Royal Society. Gli ultimi anni furono segnati dal disaccordo con Newton, che provocò il suo crescente isolamento nell'ambiente scientifico. L'attività di R. Hooke come inventore e perfezionatore di strumenti scientifici fu estremamente ricca, qui accenniamo solo agli strumenti meteorologici: barometro a ruota, anemometro, igrometro. È sua l'idea di usare le misure di pressione atmosferica per prevedere il tempo e quella di usare la temperatura del ghiaccio fondente come zero della scala termometrica.

- ⁸⁶ Louis Léon PAJOT D'ONS EN BRAY (Parigi 1678 Bercy 1754), fu direttore generale delle Poste di Francia e membro onorario dell'Accademia reale delle scienze. Delle numerose memorie presentate all'Accademia ricordiamo un anemometro registratore per tracciare la direzione e l'intensità del vento.
- ⁸⁷ John Thomas Romney ROBINSON (Dublino 1792 Armagh 1882), astronomo e fisico irlandese. Per molto tempo fu direttore dell'*Armagh Astronomical Observatory*, uno dei principali osservatori astronomici del suo tempo nel Regno Unito. La sintesi dei suoi lavori relativi alla meteorologia può essere trovata in: *Collection of Articles on Meteorology and Magnetism* (1846), di cui è stato coautore. È ricordato come un inventore dell'anemometro a quattro coppe.
- ⁸⁸ James WATT (Greenock 1736 Birmingham 1819), ingegnere e inventore scozzese. È stato uno dei più grandi studiosi delle macchine a vapore. Nel 1782 costruì il primo motore a vapore applicabile a tutte le macchine industriali. «Il vapore è il primo esempio di Dio che si sottomette all'uomo». Dirà, laicamente blasfemo, J. Watt con consapevole orgoglio per la valenza delle sue invenzioni. Egli dotò il suo motore di una valvola di regolazione (nota ancora oggi come "regolatore di Watt", regolatore centrifugo) per mantenere costante la velocità della macchina e trovò il modo di trasformare il moto rettilineo alternato dello stantuffo nel moto rotatorio continuo di un volano. Watt, a ragione, è considerato il padre della macchina a vapore e oggi il suo nome è legato indissolubilmente all'unità della misura della potenza del Sistema Internazionale. Il motore a vapore trasformò la natura e l'organizzazione del lavoro umano, ma il mutamento più radicale si ebbe nel modo di viaggiare, esplorare, colonizzare. Nel 1801 Richard Trevithick costruì il *Puffing devil* (diavolo sbuffante) la prima locomotiva a vapore, ovvero il primo mezzo di trasporto non trainato da cavalli.
- ⁸⁹ Antonio PACINOTTI (Pisa 1841 ivi 1912), fisico, docente all'Università di Cagliari poi a quella di Pisa, inventò la dinamo nel 1860. Questa macchina elettrica rotante è *reversibile*, ovvero se posta in rotazione è un generatore di corrente elettrica continua proporzionale al numero di giri nell'unità di tempo; se alimentata da una corrente elettrica continua mette in rotazione il rotore a un numero di giri proporzionale alla tensione applicata. Nel suo funzionamento come generatore può essere strutturata in modo da rendere rigorosamente lineare, in una ampia gamma di velocità, il legame fra numero di giri e velocità di rotazione da cui il nome di *tachimetrica* (*tachýtita*: velocità, più il suffisso *metro*: misura).
- ⁹⁰ Henri PITOT (Aramon 1695 ivi 1771), ingegnere e fisico francese. Cominciò la sua carriera come astronomo e matematico. Fu eletto membro dell'Accademia francese delle scienze nel 1724. Cominciò a interessarsi al problema del flusso delle acque nei canali e nei fiumi e scoprì presto come molte concezioni dell'epoca fossero sbagliate. Sviluppò un dispositivo, che da lui prese il nome di *tubo di Pitot*, per misurare, con buona precisione, la velocità dei fluidi. Lo strumento è tutt'ora in uso per la misura dell'intensità della velocità di liquidi e di aeriformi.
- ⁹¹ Giovanni Battista VENTURI (Bibbiano-Reggio nell'Emilia 1746 Reggio nell'Emilia 1822), sacerdote e fisico italiano. Dal 1776 insegnò fisica generale e dal 1786 fisica sperimentale presso l'Università di Modena. E fino al 1796, ricoprì anche le cariche sia di ingegnere e matematico ducale sia di verificatore della zecca. Fra le sue opere più importanti abbiamo le *Ricerche sperimentali sul principio della trasmissione laterale, entro i fluidi, applicata alla spiegazione dei diversi fenomeni*

idraulici. Importante è il suo contributo allo studio della meccanica dei fluidi in particolare per il legame tra velocità e pressione di un fluido in un condotto, che fu in seguito denominato effetto Venturi. Una famosa applicazione di tale effetto è il cosiddetto tubo di Venturi che si impiega per la misura della velocità di un fluido in una condotta. Fu importante storico della scienza e della tecnologia in senso moderno, fra le sue opere ricordiamo: i Commentarj sopra la storia e le teorie dell'ottica e le Memorie e lettere inedite finora o disperse di Galileo Galilei.

- ⁹² Samuel CROSLEY (dati anagrafici introvabili), ingegnere inglese del XIX secolo. Brevettò svariati apparecchi tecnici fra i quali due pompe per misurare i gas, da queste prese spunto per realizzare una pompa per misurare i liquidi, che gli suggerì come realizzare un *rain-gauge* (pluviometro) a doppia vaschetta oscillante nel quale il movimento stesso delle vaschette azionava gli ingranaggi per la registrazione, sopra un quadrante, della quantità di pioggia caduta [62], [74].
- ⁹³ Qui si usa la parola *precisione* in senso lato e non nello stretto senso metrologico che definisce la precisione come l'errore assoluto massimo che lo strumento può compiere in una qualsiasi misura. In altre parole la precisione è la massima differenza che può verificarsi tra il risultato della misura e il valore vero della grandezza considerata.
- ⁹⁴ John HERSCHEL (Slough 1792 Collingwood 1871), astronomo e chimico inglese; la sua descrizione delle attività delle macchie solari e le sue misure della radiazione solare mediante uno strumento da lui inventato nel 1825, attinometro, contribuì allo sviluppo degli studi sistematici del Sole come parte importante dell'astrofisica. Il suo nome è legato anche allo sviluppo della logica induttiva.
- 95 Claude POUILLET (Cusance 1790 Parigi 1868), fisico francese. Professore di fisica alla École polytechnique, direttore del Conservatorio di arti e mestieri a Parigi (1831-46), membro dell'Académie des sciences; autore di ricerche: sulle proprietà elettriche dei conduttori, di elettrochimica e sull'irraggiamento termico solare. Realizzò vari strumenti di misurazione fra questi è celebre il suo pireliometro. In bibliografia come anno di nascita si trova anche 1791. Per avere una documentazione certa ci siamo riferiti alla lapide posta sulla sua tomba che qui trascriviamo:

Claude Servais Mathias POUILLET, membre de l'académie des sciences, ancien professeur à la faculté des sciences de Paris, ancien directeur du conservatoire des arts et métiers, officier de la légion d'honneur, né à Cusance (Doubs) le 15 février 1790, baptisé le 16 février 179[illisible] à Notre Dame de [illisible], décédé à Paris le 13 juin 1868. Il attend son amie. [77], [1053].

- ⁹⁶ Il termine pir/piro-eliometro è formato da tre parole greche *pŷr/pŷrós* = fuoco-calore, *hélios* = sole, e *métron* = misura, ovvero misuratore di riscaldamento prodotto dal Sole (sulla Terra).
- ⁹⁷ Calorimetro: strumento per misurare quantità di calore scambiate tra corpi in condizioni controllate, e quindi anche per misurare capacità termiche, calori specifici, calori di trasformazione, ecc.
- ⁹⁸ Una definizione operativa più precisa, stabilita dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale è: l'eliofania in un determinato periodo è la somma dei sottoperiodi durante i quali la componente diretta della radiazione solare supera i 120 Wm⁻² [120].
- ⁹⁹ John Francis CAMPBELL (Islay 1821 Cannes 1885), studioso scozzese del folklore gaelico che pubblicò in volumi sotto il titolo di *Tales of the West Highlands* (1860-1862). F. Campbell si dilettava anche di studi scientifici quali geologia e astronomia, inventò uno strumento per la registrazione dei tempi di presenza del Sole: eliofanografo, *sunshine recorder* in inglese.
- 100 George STOKES (Skreen 1819 Cambridge 1903), fisico e matematico irlandese. Docente dell'Università di Cambridge, diede importanti contributi alla dinamica dei fluidi (per esempio alle equazioni di Navier-Stokes), all'ottica, e alla fisica matematica (si ricorda il teorema di Stokes). Egli fu nominato baronetto per meriti scientifici e fu segretario e successivamente presidente della *Royal Society*. Per quanto riguarda la meteorologia, oltre a modificare il supporto per la carta diagrammale su cui l'eliofanografo di Campbell registrava l'eliofania, egli realizzò un anemometro per la misura delle velocità massime nelle raffiche di vento. Ideò inoltre un sistema ottico per la stima della copertura nuvolosa [73].

- Vladimir Aleksandrovic MICHELSON (Tul'chin, Ucraina, 1860 Mosca 1927), fisico e meteorologo russo. Fu professore di fisica e meteorologia all'Accademia Agraria di Mosca. La sua attività di ricerca riguardò l'attinometria e la meteorologia applicata ai problemi agricoli. Nei suoi studi si occupò anche della distribuzione dell'energia nello spettro del corpo nero, dell'effetto Doppler, della velocità di ascensione delle miscele gassose. Molti suoi lavori di meteorologia, in prevalenza riguardanti la misura della radiazione solare, furono pubblicati dal prestigioso Giornale Meteorologico (Meteorologische Zeitschrift) della società meteorologica di Austria, Germania e Svizzera.
- ¹⁰² Termocoppia: dispositivo elettronico formato da due conduttori di natura diversa saldati insieme a un estremo. In esso l'energia termica fornita nel punto di giunzione si rileva sotto forma di energia elettrica agli estremi dei conduttori. Più termocoppie collegate in serie costituiscono una termopila.
- ¹⁰³ Sono assoluti, o primari, gli strumenti in cui la costante, o coefficiente, strumentale è determinata in base a considerazioni fisiche intrinseche ovvero che legano il misurando, tramite relazioni analitiche note, ad altre grandezze fisiche misurabili. Sono relativi, o secondari, gli strumenti per i quali la costante strumentale non è determinabile per mezzo di considerazioni intrinseche ma va determinata tramite taratura, ad esempio per confronto con uno strumento primario.
- 104 Max ROBITZSCH (Höxter 1887 Brotterode 1952), meteorologo tedesco. Partecipò a una spedizione nell'Artico scandinavo per studiare i fenomeni atmosferici, trascorrendo l'inverno 1912-13 a Spitsbergen, in Norvegia. La sua missione era di istituire un osservatorio meteorologico per l'Osservatorio geofisico tedesco. Durante la lunga permanenza invernale, furono eseguiti numerose misure con palloni sonda. Fra gli strumenti da lui realizzati ricordiamo un piranometro che da lui prende il nome.
- ¹⁰⁵ Termopila: vedi termocoppia (nota 102).
- Władisław MOLL-GORCZYNSKI (Bramki 1879 Poznań 1953), geofisico polacco. Compì gli studi in Francia, dove fu allievo di Pierre Curie, e nel 1919 fu nominato direttore dell'allora costituito *Istituto meteorologico* di Varsavia. Notevoli i suoi contributi nel campo dell'attinometria, con una numerosa serie di osservazioni eseguite in Polonia, in Francia e in Tunisia, con strumenti da lui perfezionati (piroeliometri, solarimetri, spettro-piroeliometri) e da lui ideati (solarimetro a termopila, ecc.).
- ¹⁰⁷ Fotocella: dispositivo elettronico, basato sull'effetto fotoelettrico, che converte l'energia radiante (nei solarimetri quella solare) in energia elettrica. Lo studio dell'effetto fotoelettrico del 1905 valse nel 1921 il premio Nobel ad Albert Einstein.
- ¹⁰⁸ Michael August Friedrich PRESTEL (Gottinga 1809 Emden 1880), matematico, meteorologo e cartografo tedesco. Oltre all'attività di insegnamento si dedicò a osservazioni meteorologiche e pubblicò alcuni lavori di meteorologia pratica come l'Atlante del mare e delle correnti d'aria.
- ¹⁰⁹ Albert PICHE (Chartres 1840 Pau 1907), climatologo e inventore francese. Fu segretario e in seguito presidente della Commission météorologique des Basses-Pyrénées.
- Heinrich WILD (Uster-Zurigo 1833 Zurigo 1902), meteorologo svizzero. Direttore dell'osservatorio dell'Università di Berna, nel 1868 fu chiamato dall'Accademia delle Scienze di San Pietroburgo per riorganizzare l'osservatorio astrofisico. In Russia istituì la rete meteorologica e nel 1876 fondò l'osservatorio magnetometeorologico di Pavlovsk che diresse fino al 1895. Si dedicò, inoltre, a migliorare e a realizzare strumenti per le misure meteorologiche e per la misurazione del magnetismo terrestre.
- ¹¹¹ Burton Edward LIVINGSTON (Grand Rapids 1875 Baltimora 1948), fisiologo vegetale statunitense. Svolse la sua attività di ricerca presso la *Chicago University*; in seguito fu professore di fisiologia vegetale alla *Johns Hopkins University*. Fu segretario dell'American Association for the Advancement of Science.

Capitolo Terzo

- 112 Matthew Fontaine MAURY (Fredericksburg 1806 Lexington 1873), oceanografo statunitense, promotore della Prima Conferenza Meteorologia Internazionale (1853). Fu professore di meteorologia alla Scuola militare della Virginia. Soprintendente nello *U.S. National Observatory* organizzò osservazioni sinottiche di grandezze oceanografiche (temperature superficiali e correnti) e meteorologiche connesse (venti), facendole rilevare sulle rotte delle navi statunitensi. Maury creò anche una forma standard di registrazione dei dati di navigazione, che fu utilizzata da tutta la marina americana. Ottenne la collaborazione dei mercantili mettendo a disposizione le nuove carte nautiche in cambio dei diari di bordo. Infine, escogitò un metodo di rilevazione di nuovi dati grazie a bottiglie che i comandanti lasciavano in acqua a intervalli regolari, contenenti un biglietto con informazioni su posizione, periodo dell'anno, venti e correnti. Le bottiglie venivano recuperate durante la navigazione, fornendo dati sui percorsi e sulla velocità delle correnti. Il suo lavoro fu anche alla base della posa del primo cavo telegrafico transatlantico.
- ¹¹³ Heinrich W. DOVE (Liegnitz 1803 Berlino 1879), físico e meteorologo prussiano. Nel 1849 divenne direttore dell'*Istituto meteorologico prussiano*. L'attività di H. Dove ha molto influenzato la scienza meteorologica ed è stato considerato da alcuni un pioniere della climatologia della scuola di Alexander von Humboldt (vedi nota 148). Heinrich Dove fu fra i primi a studiare la distribuzione del calore sulla superficie della Terra e l'effetto del clima sulla crescita delle piante; osservò inoltre che i cicloni tropicali ruotano in senso antiorario nell'emisfero settentrionale, ma in senso orario nell'emisfero opposto.
- ¹¹⁴ Émilien RENOU (Vendôme 1815 Parc Saint-Maur 1902), geologo e meteorologo francese. Dal 1872 fino alla sua morte, diresse l'osservatorio di Saint-Maur dove furono effettuati studi meteorologici e climatologici per determinare il clima della regione di Parigi, evidenziando l'effetto isola di calore urbano. Studioso delle nuvole, contribuì alla loro classificazione. Divenne membro onorario nel 1875 della *Royal Meteorological Society* di Londra.
- ¹¹⁵ Edme Hippolyte MARIÉ-DAVY (Clamecy 1820 Dornecy 1893), chimico e inventore francese. Fra le sue invenzioni ricordiamo il periscopio navale, un motore elettromagnetico, la batteria elettrica che da lui prende il nome. Nel 1860 fu vicedirettore dell'Osservatorio di Parigi, incaricato della meteorologia. Si dedicò allo studio dei temporali locali, in seguito alla tempesta distruttiva del 14 novembre 1854, durante la guerra di Crimea (1853 1856; vedi nota 145).
- ¹¹⁶ Wladimir KÖPPEN (San Pietroburgo 1846 Graz 1940), geografo, botanico e climatologo tedesco, laureato a Lipsia con una tesi di dottorato riguardante gli effetti della temperatura sulla crescita delle piante. W. Köppen fu impiegato nel servizio meteorologico russo. Nel 1875 tornò in Germania e divenne il capo della nuova Divisione di Meteorologia Marina dell'Osservatorio Navale Tedesco ad Amburgo, dove istituì un servizio di previsioni meteorologiche per la Germania nord-occidentale e le contigue aree marine. Dopo quattro anni di servizio, lasciò l'ufficio meteorologico e si dedicò completamente alla ricerca pura dedicando gran parte della sua vita al problema della classificazione dei climi. Per raccogliere dati dagli strati superiori dell'atmosfera si servì di palloni sonda meteorologici. La sua prima pubblicazione riguardo alle zone climatiche del mondo basate su degli intervalli di temperatura apparve nel 1884. La prima versione completa della classificazione apparve nel 1918 e, dopo alcune migliorie, la versione finale fu pubblicata nel 1936. Fu anche coautore del primo Atlante delle nubi, pubblicato nel 1890.
- ¹¹⁷ Knut Johan ÅNGSTRÖM (Uppsala, 1857 ivi 1910), fisico svedese, figlio dell'astronomo Anders Jonas Ångström che per primo, nel 1867, esaminò lo spettro dell'aurora boreale, di cui individuò e misurò la caratteristica linea brillante nella regione giallo-verde nello spettro elettromagnetico (vedi pag. 54); col nome di A. Ångström fu chiamata l'unità con cui si si misurava la lunghezza d'onda della luce: 1 Å = 10⁻¹⁰ m. Knut Ångström insegnò fisica all'Università di Uppsala dal 1896 e fu membro dell'Accademia Svedese dal 1893. Egli è noto per le sue ricerche sulla radiazione solare, la radiazione termica proveniente dal Sole e il suo assorbimento da parte dell'atmosfera terrestre. Per le sue ricerche, Knut escogitò diversi metodi e strumenti, compreso il pireliometro a compensazione elettrica, inventato nel 1893, con cui determinò la costante solare (vedi pag. 47), nel 1895 realizzò un apparato per ottenere una rappresentazione fotografica dello spettro infrarosso.

- ¹¹⁸ Pietro MOSCATI (Milano 1739 ivi 1824) vedi Appendice Seconda al Capitolo Terzo.
- 119 Marsilio LANDRIANI (Milano 1751 Vienna 1815), chimico-fisico italiano. Esordì con l'opera destinata a renderlo celebre, le *Ricerche fisiche intorno alla salubrità dell'aria*, in cui descrisse un nuovo strumento, l'eudiometro di sua costruzione (dal greco *éudios*, chiaro, sereno e *-metro*). Fu in contatto con i più famosi scienziati dell'epoca, tra cui L. Galvani, A. Volta, J. Priestley, B. Franklin. In particolare, fra il 1787 ed il 1788. Guyton de Morveau e Antoine-Laurent Lavoisier tentarono di convincere Landriani a convertirsi alla nuova chimica, ma lo scienziato lombardo non seppe mai decidersi ad abbandonare del tutto la "teoria del flogisto" per abbracciare quella dell'ossigeno. Dopo il 1790 si dedicò esclusivamente alle applicazioni chimiche dei fenomeni elettrici, e al perfezionamento di strumenti fisici e meteorologici.
- ¹²⁰ Elettrografo: all'epoca chiamato *cerannografo*, parola derivante dal greco composta da *keravnós* (fulmine) e *grafo* (dal verbo *gráphein*, scrivere).
- 121 Giovanni Battista BECCARIA (Mondovì 1716 Torino 1781), monaco scolopio fisico e matematico italiano. Fu uno degli studiosi che contribuì a trasformare l'elettrologia da semplice oggetto di curiosità in disciplina scientifica, difendendo apertamente la teoria di Benjamin Franklin. Per merito suo le teorie basilari della fisica moderna, quali l'ottica newtoniana o la meccanica galileiana incominciarono finalmente ad attecchire anche negli ambienti accademici italiani, in sintonia con ciò che stava accadendo nel resto d'Europa. Inizialmente i suoi interessi scientifici riguardarono quasi esclusivamente l'elettrologia, in seguito, si occupò anche di meteorologia e di idraulica.
- ¹²² Benjamin MARTIN (Worplesdon 1704 Londra 1782), linguista inglese, produsse uno dei primi dizionari della lingua inglese, *Lingua Britannica Reformata: Or a New English Dictionary* (1749). Era anche professore di scienze e produttore di strumenti scientifici. Cominciò a produrre quadranti di Hadley (un predecessore del sestante) e strumenti ottici, molto apprezzati furono i suoi occhiali da vista. Fu anche editore del periodico *Martin's magazine* noto come "Rivista Generale delle Arti e delle Scienze".
- ¹²³ John SMEATON (Whitkirk 1724 ivi 1792), ingegnere e fisico britannico. Ideò e migliorò numerosi strumenti scientifici. Negli anni '50 del XVIII secolo studiò i porti e le vie d'acqua olandesi, e progettò numerosi ponti, porti e canali. Nel 1759 pubblicò un'opera fondamentale relativa alla forza motrice dell'acqua e del vento.
- ¹²⁴ La declinazione magnetica è l'angolo tra la componente orizzontale del campo magnetico e la direzione del nord geografico.
- 125 L'inclinazione del campo magnetico è l'angolo rispetto a un piano orizzontale formato da un ago magnetico giacente su un piano verticale.
- ¹²⁶ Padre Pietro Angelo SECCHI (Reggio Emilia 1818 Roma 1878) vedi Appendice Seconda al Capitolo Terzo.
- 127 Claude CHAPPE (Brûlon 1763 Parigi 1805), inventore francese. Compì gli studi nel Collegio Reale di La Flèche e fu nominato abate. All'inizio della sua carriera si occupò prevalentemente di elettrologia e tentò di codificare simboli alfabetici e numerici tramite impulsi elettrici da trasmettere mediante l'uso di cavi elettrici. Viste le difficoltà pratiche da lui incontrate per realizzare un telegrafo elettrico, si indirizzò verso un sistema ottico. Claude Chappe e il fratello Ignace lavorarono allo sviluppo di un sistema telegrafico basato su una catena di segnalatori visivi.
- 128 «La comunicazione è l'essenza di un rapporto all'interno delle società ed Enea Tattico, inventore greco militare, nel 340 a. C., a tal proposito tentò un primo approccio di ricerca di una maggior efficienza, descrivendo di una macchina meccanica, il telegrafo idraulico, un sistema nuovo ma tuttavia limitato dai modi di trasmissione fino ad allora conosciuti. Era un dispositivo composto da due vasi cilindrici (un trasmettitore e un ricevitore e viceversa) perfettamente identici e posti in due colline distanti. Riempiti della stessa quantità di acqua. Avevano un'asta galleggiante verticale al centro della stessa altezza del

cilindro, con segni convenzionali su di esso. Per comunicare era sufficiente diminuire l'altezza dell'asta mediante lo svuotamento dell'acqua nei vasi fino al punto desiderato. Prima di inviare un messaggio, l'operatore doveva utilizzare una torcia per segnalare che si apprestava ad inviare un messaggio all'operatore che doveva ricevere. Una volta che i due si fossero sincronizzati, il mittente alzando la torcia avrebbe dato il via all'apertura contemporanea dei rubinetti del telegrafo idraulico, posti in basso nei rispettivi contenitori. L'acqua sarebbe fuoriuscita e l'asta abbassata fino a quando il livello di riferimento corrispondente al bordo superiore del cilindro avrebbe raggiunto il codice desiderato, a questo punto il mittente doveva abbassare la torcia e gli operatori dovevano chiudere contemporaneamente i loro rubinetti. La durata della torcia del mittente era visibile e questo tempo veniva, mediante il telegrafo idraulico, correlato a specifici codici predeterminati e messaggi. L'inizio e la fine della trasmissione veniva dunque sottolineato mediante segnalazione con torce di fuoco.» [25], [1052]

¹²⁹ Le torri erano attive per circa 6 ore al giorno, ovviamente molto dipendeva dalla visibilità, gli esperimenti per la trasmissione notturna risultarono del tutto fallimentari. Due telegrafisti restavano in osservazione per tutto il tempo, i messaggi cominciavano con un segnale convenzionale, poi partiva la trasmissione vera e propria, cambiando la posizione alla struttura sovrastante la torre con un sistema di leve e contrappesi. I telegrafisti si servivano di un manuale e pur potendo inviare migliaia di parole, per semplificare e rendere più veloce la decodifica, si decise di restringere l'ambito a 96 posizioni che, in realtà, indicavano direttamente parole intere o frasi sulla base di tabelle ben definite. I codici erano segreti e dovevano essere distrutti in caso di assalto. Solo i telegrafisti conoscevano la reale decodificazione.

¹³⁰ Quando Napoleone Bonaparte conquistò il potere favorì la costruzione di varie linee e nel 1804 la rete arrivò a Milano transitando per Digione, Lione e Torino. Il sistema ebbe successo e nei decenni seguenti si sviluppò una rete di centinaia di tali segnalatori telegrafici che collegavano Parigi con le zone periferiche della Francia e oltre, seguendo l'espansione dell'impero napoleonico.

A Populonia (Grosseto), quel che rimane oggi della casetta, indicata dal cartello presente nella zona come stazione radio moderna, in realtà ospitava i due telegrafisti che prestavano servizio nella vicina "torre per il telegrafo", una stazione piombinese napoleonica del telegrafo ottico di Chappe. Con la fine di Napoleone, in Francia, il sistema Chappe non fu dismesso ma continuò a operare fino al 1850 quando venne adottata la telegrafia elettrica più veloce ed efficiente. Fra il 1852 e il 1856 si concluse la dismissione della rete ottica che aveva interessato buona parte dell'Europa, con centinaia di stazioni. Ancora oggi le torri per il telegrafo dei fratelli Chappe, che ogni comune francese aveva per comunicare col governo centrale a Parigi, sono ben conservate come attrazioni turistiche.

131 Il lettore si accorgerà che nel seguito non viene attribuita una paternità alla realizzazione del telegrafo; ciò è dovuto al fatto che con il termine telegrafo si sono chiamati svariati dispositivi alcuni dei quali erano poco più che "esperimenti" che da subito mostrarono l'impossibilità di sviluppi applicativi. È del 1753 un telegrafo elettrostatico avente un filo per ogni lettera dell'alfabeto. Ancora con un filo per ogni lettera è un telegrafo elettrico del 1774 che riusciva a trasmettere da una stanza all'altra della casa dell'inventore. Seguono, nei primi anni dell'Ottocento, telegrafi elettrochimici multifilari. Negli anni '20 dell'Ottocento fu proposto un telegrafo che in relazione al campo magnetico prodotto dal dispositivo faceva indicare all'ago di una bussola una lettera dell'alfabeto. In quegli anni veniva riproposto anche un sistema con un filo per lettera ciascuno collegato a un galvanometro. Con questi apparati si raggiungeva l'inutile distanza di 60 metri. Si arriva così agli anni '30 in cui, in una rapidissima sequenza, una innumerevole schiera di fisici si cimenta nel realizzare il telegrafo nel senso moderno. Ciascuno propone e brevetta particolari soluzioni, o accorgimenti, o applicazioni. Le attività su questo tema, in quel periodo in tutta Europa, sono così sovrapposte e intersecate, dove ognuno si attribuisce la paternità, che le uniche affermazioni certe sono: nel 1837 S. Morse (nota 132) ha proposto per un proprio telegrafo un codice di trasmissione e, nello stesso anno, C. Wheatstone (nota 136) è stato il primo a proporre una applicazione meteorologica per un telegrafo simile, da lui realizzato, [25], [67].

¹³² Samuel MORSE (Charlestown Massachusetts 1791 – New York 1872), inventore e pittore statunitense. Studiò pittura in Inghilterra. Tornato in America lavorò come pittore di storia e fu soprattutto apprezzato ritrattista. Interessato alle tecnologie dell'epoca acquisì fama internazionale con il suo telegrafo e il relativo codice di trasmissione (vedi nota 131).

¹³³ Joseph HENRY (Albany 1797 – Washington 1878), professore di matematica e fisica prima ad Albany e poi al *College* di New Jersey (attuale Università di Princeton); segretario della *Smithsonian Institution*; socio corrispondente straniero dei Lincei (1866). Compì numerose ricerche di elettromagnetismo: per primo ebbe l'idea di isolare i fili conduttori e avvolgerli quindi in bobine, perfezionando in modo quasi definitivo la costruzione degli elettromagneti. Costruì un modello di motore elettrico e, contemporaneamente a M. Faraday, compì ricerche sulle correnti indotte in un circuito da magneti in movimento; dette poi le basi fisiche del telegrafo elettromagnetico realizzato da S. Morse.

¹³⁴ Leonard D. GALE (Millbury 1800 – 1883 Washington), poco si sa sulla vita del chimico L. Gale, in biografia è citato come amico di J. Henry (vedi nota 133) che con questi collaborò alla realizzazione e affermazione del telegrafo Morse (vedi note 131 e 132). Dati anagrafici tratti da [1055].

135 Codice Morse - tavola antica (rielaborazione da [1048]):

Una linea ha la durata di tre punti. Lo spazio tra i simboli costituenti una lettera/cifra ha la durata di un punto.

Lo spazio tra due lettere/cifre ha la durata di tre punti.

Lo spazio tra due parole/numeri ha la durata di cinque punti.



¹³⁶ Sir Charles WHEATSTONE (Gloucester 1802 – Parigi 1875), fisico e inventore inglese. Professore di fisica sperimentale al King's College di Londra, effettuò importanti studi in diversi campi (stereoscopia, ottica, acustica, ecc.) ma i suoi maggiori lavori furono nel campo dell'elettrotecnica e della telegrafia (invenzione del telegrafo ad ago, sviluppo della telegrafia sottomarina, sistemi a trasmissione automatica, ecc.). Mise a punto un metodo (noto in seguito come ponte di Wheatstone) per la misura del valore dei resistori elettrici. Fece parte della Royal Society di Londra, dell'Académie des sciences e fu socio corrispondente dell'Accademia dei Lincei. Ottenne il titolo di Sir e la Légion d'honneur per aver realizzato il telegrafo automatico.

137 François VAN RYSSELBERGHE (Gand 1846 – Anversa 1893), fisico, matematico e inventore belga. Professore di astronomia nautica alla Scuola di Navigazione di Ostenda, realizzò (1868) un nuovo tipo di telemeteorografo basandosi sulle esperienze di Secchi, Wheatstone e altri, che fu messo in servizio fra Ostenda e Bruxelles. Nel 1875 Realizzò un mareografo che fu installato a Ostenda. Lavorò dal 1875 come meteorologo presso *Observatoire royal de Belgique* a Bruxelles, dove sviluppò un piano per un sistema meteorologico internazionale. Nel 1881, durante il Congresso sull'elettricità di Parigi, presentò una nuova versione del suo telemeteorografo che fu messo in funzione, usando la linea telegrafica fra Bruxelles e Parigi. Divenne in seguito professore di *Elettricità applicata* all'Università di Gand. Le sue ricerche si concentrarono sulla telefonia a lunga distanza e sulla telegrafia simultanea. Per i suoi studi e per le sue invenzioni ottenne la *Légion d'honneur* e il titolo di *chevalier de l'ordre de Léopold*.

138 Eduard Heinrich von BAUMHAUER (Bruxelles 1820 – Haarlem 1885), chimico e fisico olandese. Studiò chimica all'Università di Utrecht. Il suo principale campo di studio fu la chimica analitica, ma si occupò anche di mineralogia e di meteorologia. Per questa ultima disciplina realizzò oltre a un telemeteorografo, un igrometro in cui si registravano le variazioni di peso di un volume di pietra pomice imbevuta di acido solforico, fortemente igroscopico, quando su questa veniva convogliata l'aria umida [73]. Fu membro della Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen (Accademia reale olandese delle Scienze), dell'American Philosophical Society e della Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina. Fu segretario della Società di Scienze Naturali Olandesi.

139 Hendrik OLLAND (Groningen 1825 – Utrecht 1901), costruttore di strumenti olandese. Fondò nel 1853 a Utrecht una fabbrica per la produzione di strumenti scientifici e bilance di precisione. Costruì molti strumenti meteorologici per il Reale Istituto Meteorologico Olandese (*Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*). Basandosi sulle esperienze di von Baumhauer e van Rysselberghe, realizzò nel 1875 un primo telemeteorografo che trasmetteva all'Ufficio Meteorologico di Utrecht, utilizzando il filo del telegrafo, le misure effettuate da un anemometro e un barometro posti su una torre distante circa 1 km dall'Ufficio. Dopo un lungo periodo di sperimentazioni, modifiche e superando grandi difficoltà, Olland realizzò (1895) un nuova versione telemeteorografo in grado di operare con successo inviando i dati a più di 160 km di distanza fra Flushing e Utrecht [73]. Costruì, inoltre, un misuratore di livello delle maree telegrafico che fu installato a Hoek van Holland vicino a Rotterdam.

¹⁴⁰ Alexander BAIN (Watten 1811 – Broomhill 1877), inventore e ingegnere scozzese. Realizzò e brevettò un orologio elettrico (1840), un "fac-simile" (1843) e un telegrafo elettro-chimico (1846).

¹⁴¹ Giovanni CASELLI (Siena 1815 – Firenze 1891), abate chimico-fisico che dal 1849 insegnò fisica presso l'Università di Firenze. Nel 1855 - 1856 G. Caselli conseguì i primi risultati pratici del suo Pantelegrafo. Per reperire mezzi finanziari per effettuare altre esperienze si recò a Parigi dove con il fisico Léon Foucault (1819 - 1868) contattarono un costruttore di motori elettrici presso il quale poté perfezionare l'apparecchio. Nel 1858 il pantelegrafo fu presentato all'*Accademie des Sciences*. Nel 1860 per interessamento di Napoleone III il pantelegrafo poté servirsi delle linee telegrafiche dello Stato per compiere esperienze su grandi distanze, in particolare sulla linea Parigi - Amiens lunga 140 km. In occasione della Prima Esposizione del Regno d'Italia svoltasi a Firenze nel 1861, nei locali della Stazione Leopolda, il Caselli partecipò, presentando alcuni pantelegrafi che collegavano Firenze a Livorno. Anche in altri paesi il pantelegrafo ottenne notevoli successi collegando: Londra con Liverpool 1863, Pietroburgo con le residenze imperiali russe 1864 e varie località della Cina 1885. [59]

¹⁴² Prussiato giallo di potassio: denominazione molto antica dell'esacianoferrato (II) di potassio, commercialmente denominato ferrocianuro giallo di potassio. Composto inorganico solubile in acqua, leggermente velenoso.

¹⁴³ In bibliografia si trovano due versioni di questo apparato: una, che sembra essere la prima, produceva copie con scritti e disegni "bianchi" su fondo blu (come fossero copie negative) l'altra dava copie con scritti e disegni blu su sfondo "bianco" (ovvero copie uguali all'originale"). Il "bianco" era il colore originario del foglio, il blu era una modificazione del prussiato giallo di potassio in blu di prussia per effetto della corrente inviata dall'elettrodo in platino del trasmettitore all' elettrodo in acciaio del ricevitore.

¹⁴⁴ Urbain LE VERRIER (Saint-Lô 1811 – Parigi 1877), astronomo e meteorologo francese. Si occupò dapprima di chimica e successivamente di astronomia conducendo ricerche teoriche e calcoli che gli permisero di ricostruire l'edificio completo della meccanica celeste. Notorietà gli fu data dalla scoperta, tramite calcoli, di un altro pianeta nel sistema solare. Nonostante le riserve con cui questa scoperta fu accolta dagli astronomi, J. G. Galle, dell'osservatorio di Berlino, su richiesta di Le Verrier, intraprese la ricerca dell'astro sconosciuto, che trovò a soli 52' dalla posizione indicata dal calcolo; il pianeta fu in seguito chiamato Nettuno. Per questa scoperta, Le Verrier ebbe la cattedra di astronomia all'Università di Parigi. Successivamente fu direttore dell'osservatorio di Parigi e dal 1861 fu socio corrispondente dei Lincei. Le sue opere sono contenute nei primi 14 volumi delle *Annales de l'observatoire de Paris*.

¹⁴⁵ Il meteorologo Le Verrier dimostrò che sarebbe stato possibile prevedere l'andamento della perturbazione relativa alla tempesta di Balaklava del 14 novembre 1854 se vi fosse stato un buon servizio meteorologico internazionale, con scambi telegrafici dei bollettini [11].

In conseguenza di questa tempesta, prevedibile, Le Verrier organizzò e attivò, nel 1857, un servizio di trasmissioni telegrafiche dei bollettini meteorologici coinvolgente numerose città europee e la Tunisia. Nel 1873 a Vienna si elesse un Comitato Permanente per la Meteorologia che nel 1879, a Roma, assunse una forma più strutturata e prese il nome di Organizzazione Meteorologica Internazionale (OMI). Nel 1947 a Washington (USA), con ratifica del 17 marzo 1951 a Parigi, l'OMI fu affiliata all'ONU con il nome di Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM / WMO - World Meteorological Organization).



In figura la tempesta di Balaklava, 14 novembre 1854 (avvenuta durante la guerra di Crimea; 1853-1856), in cui affondarono o furono danneggiate numerose navi francesi e inglesi. Nel disegno, di A. Layland [11], sono numerati, da sinistra a destra, i relitti delle navi inglesi coinvolte nella tempesta. Una nostra ricerca sulla vita e l'opera di Layland, condotta anche presso istituzioni britanniche, non ha dato nessun risultato sulla sua esistenza, questo ci porta a pensare che in [11] il nome sia stato scritto in modo errato e che l'autore del disegno possa essere A. Layard (1817 – 1894), archeologo (celebri i suoi scavi di Ninive) e disegnatore, che come sottosegretario agli affari esteri fece parte della Commissione di indagine sulla guerra di Crimea [1021].

146 Alexander BUCHAN (Kinnesswood 1829 – Edimburgo 1907), meteorologo, oceanografo e botanico scozzese. Fu segretario della Scottish Meteorological Society; fece parte del Meteorological Council e delle Royal Society di Edimburgo e di Londra. Nel 1902 la Royal Meteorological Society gli conferì la prima Symons Gold Medal come più eminente meteorologo britannico. Realizzò carte delle isobare e del vento per le previsioni del tempo, dando un importante contributo alla moderna meteorologia previsionale. Formulò, inoltre, delle semplici, ma fondamentali, regole come, ad esempio, che i venti soffiano in senso antiorario intorno a un'area di bassa pressione nell'emisfero settentrionale e che la velocità del vento è proporzionale alla distanza fra le isobare (gradiente barometrico). Nel 1867 pubblicò Handy Book of Meteorology, che fu a lungo il manuale di riferimento per gli studi di meteorologia. Di grande importanza fu il suo articolo del 1869 The Mean Pressure of the Atmosphere, and the Prevailing Winds for the Months and for the Year dove erano riportati grafici delle circolazioni atmosferiche che sono tutt'oggi in gran parte validi. Buchan si dedicò, inoltre, allo studio della climatologia delle Isole Britanniche.

¹⁴⁷ « Fu dalla seconda metà del XIX secolo con la fondazione dell'OMI che le osservazioni, prima in zone relativamente limitate, si estesero a vaste regioni della Terra con dati raccolti ed elaborati in modo comparabile. Il moltiplicarsi e le modificazioni che si verificarono nell'atmosfera e l'attività sempre più complessa dei ricercatori crearono la scienza di osservazione detta Climatologia » [11].

Da allora sono state date svariate definizioni di clima:

- J. F. von Hann (1839 1921) (vedi nota 151): lo definì "lo stato medio dell'atmosfera al di sopra di un luogo, ossia l'insieme dei fenomeni meteorologici che caratterizzano le condizioni medie dell'atmosfera in ciascun luogo della Terra";
- W. Köppen (1846 1940) (vedi nota 116): "l'andamento abituale del tempo meteorologico sulla regione"; L. De Marchi (1857 1936) (vedi nota 157): "il complesso di condizioni atmosferiche che lo rendono più o meno confacente al benessere dell'uomo e allo sviluppo di quelle piante che gli servono";
- F. Eredia (1877 1948) "l'insieme delle condizioni normali e anormali, del tempo, che caratterizzano una località".

Diversi altri autori hanno proposto proprie definizioni o integrazioni a quelle già esistenti [11], [83]. Negli anni Duemila è stata data la seguente definizione di clima: le condizioni meteorologiche e ambientali che caratterizzano una regione geografica per lunghi periodi di tempo, determinandone la flora e la fauna, e influenzando anche le attività economiche, le abitudini e la cultura delle popolazioni che vi abitano [85]. A fini climatici il WMO prescrive la raccolta dei dati meteorologici per periodi, tra loro disgiunti, di trent'anni.

- ¹⁴⁸ Alexander von HUMBOLDT (Berlino 1769 ivi 1859), naturalista e geografo tedesco. Da sempre dedito alla lettura delle descrizioni dei grandi viaggi di esplorazione; egli stesso compì numerosi viaggi in varie parti del mondo. La straordinaria molteplicità di indagini di A. Humboldt procede da una visione armonica e organica dell'universo. Questa concezione è già chiara nella più popolare delle sue opere (1808) *Ansichten der Natur* (tradotta in diverse lingue) e si sviluppa in forma più compiuta in *Kosmos*, quattro volumi usciti tra il 1845 e il 1858, essenzialmente diffusi nella traduzione francese, una descrizione fisica del mondo, come von Humboldt definì l'opera.
- ¹⁴⁹ Alfred ANGOT (Parigi 1848 ivi 1924), fisico, meteorologo e climatologo francese. Dopo alcune importanti missioni scientifiche all'estero, nel 1879 entrò al *Bureau central météorologique* (l'attuale *Météo-France*) di cui fu direttore dal 1907 al 1921. Effettuò importanti studi sulla distribuzione delle piogge in Europa e del calore sulla superficie terrestre, in relazione alla trasparenza atmosferica. Progettò un nivometro tuttora utilizzato in molte stazioni meteorologiche.
- 150 Samuel Pierpont LANGLEY (Roxbury 1834 Aiken 1906), fisico, astronomo e pioniere dell'aviazione statunitense. Si occupò di fisica solare: scoprì e studiò la regione infrarossa dello spettro solare servendosi di strumenti da lui stesso ideati (bolometro, spettrobolometro ecc.). Fondò l'osservatorio astrofisico dello *Smithsonian Institution*, dove effettuò un ciclo sistematico di misurazioni della costante solare (vedi pag. 47), che gli permisero di evidenziare la dipendenza di questa grandezza dal ciclo dell'attività solare. Si occupò anche di aeronautica; dal 1896 progettò modelli di aeroplani con i quali condusse interessanti esperienze. Fu socio straniero dei Lincei dal 1901. In suo onore fu chiamata l'unità di misura della densità superficiale di energia: 1 langley (Ly) = 1 cal 1 cm⁻² (corrisponde a 41868 J m⁻² nel Sistema Internazionale).
- 151 Julius Ferdinand von HANN (Wartberg ob der Aist 1839 Vienna 1921), meteorologo austriaco. Nel 1866 fondò la rivista Zeitschrift für Meteorologie; l'anno successivo fu assunto al Meteorologische Zentralanstalt, di cui fu direttore dal 1877 al 1897. Nel 1874 divenne professore di geografia fisica all'Università di Vienna dove tenne corsi di meteorologia, climatologia e oceanografia. In seguito insegnò meteorologia all'Università di Graz e fisica cosmica a quella di Vienna. I suoi studi riguardarono i fenomeni meteorologici dell'area alpina e dell'Adriatico, i movimenti ciclonici e anticiclonici, la distribuzione della pressione atmosferica nell'Europa centro-meridionale. Nel 1883 pubblicò Handbuch der Klimatologie in cui descrisse l'azione combinata dei singoli fattori meteorologici sul clima delle varie regioni terrestri.
- ¹⁵² Johann Friedrich Wilhelm von BEZOLD (Monaco di Baviera 1837 Berlino 1907), fisico e meteorologo tedesco. Dal 1861 insegnò meteorologia a Monaco di Baviera e poi, dal 1868, al *Technische Universität München*. Nel 1875 divenne componente della *Bayerische Akademie der Wissenschaften*. Dal 1885 al 1907 fu direttore dell'Istituto di Meteorologia Prussiano dell'Università di Berlino. Le sue ricerche riguardarono la fisica dell'atmosfera e in particolare la termodinamica atmosferica; diede inoltre un forte contributo alla teoria delle tempeste elettriche.

¹⁵³ Heinrich Rudolf HERTZ (Amburgo 1857 – Bonn 1894), fisico tedesco. Fu lettore di fisica teorica all'Università di Kiel e successivamente ottenne la cattedra al Politecnico di Karlsruhe e all'Università di Bonn. Fece parte della *Royal Society* di Londra. Per primo provò sperimentalmente l'esistenza delle onde elettromagnetiche, vedi pag. 54, (previste teoricamente da J. C. Maxwell alcuni anni prima) utilizzando un apparato di sua costruzione, successivamente determinò la velocità, e le varie modalità di propagazione, delle onde elettromagnetiche. In suo onore nel Sistema Internazionale la frequenza è misurata in hertz. Hertz ebbe inoltre un profondo interesse per la meteorologia, probabilmente derivato dai suoi contatti con J. F. Bezold (che fu suo professore al *Technische Universität München*). I suoi articoli in questo ambito riguardarono la ricerca sull'evaporazione di liquidi, un nuovo tipo di igrometro e un mezzo grafico per determinare le proprietà dell'aria umida quando viene sottoposto ai cambiamenti adiabatici.

¹⁵⁴ Anton OBERBECK (Berlino 1846 – ivi 1900), físico tedesco. Conseguì il dottorato nel 1868 presso l'Università di Berlino. Dal 1870 al 1878 fu insegnante al *Sophien-Realgymnasium* di Berlino, quindi ebbe la cattedra di física all'Università di Halle (1879), poi a quelle di Greifswald (1885) e di Tubinga (1895). Fra le altre cose si occupò anche di meteorologia eseguendo studi sulle dinamiche dei cicloni e dando un notevole contributo allo sviluppo della meteorologia previsionale. Fece parte della *Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina*.

155 Max MARGULES (Brody, Ucraina, 1856 – Perchtoldsdorf, Austria, 1920), matematico, fisico, chimico e meteorologo austriaco. Dal 1885 al 1906 lavorò al Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik di Vienna. Nelle sue ricerche si occupò di elettrodinamica, di idrodinamica e di problemi fisico-chimici. Dal 1900 i suoi interessi scientifici si concentrarono sulla meteorologia teorica effettuando le prime analisi dei processi energetici atmosferici, studi che influenzarono profondamente i successivi lavori su tali processi. Formulò una teoria sul fronte polare, sulle onde di pressione dell'aria, sulla distribuzione della temperatura nell'atmosfera e nelle correnti aeree. Nel 1903 pubblicò Sull'energia delle tempeste che è considerata una delle opere classiche della meteorologia. Per le sue opere Margules può essere considerato uno dei padri della meteorologia teorica.

156 Lord John William Strutt, barone di RAYLEIGH (Langford Grove 1842 – Witham 1919), fisico inglese. Nel 1879 successe a J. C. Maxwell nella cattedra di fisica sperimentale nell'Università di Cambridge; lasciò l'insegnamento, dal 1884 al 1887, per dedicarsi totalmente alla ricerca scientifica; quindi, dal 1887 al 1905, fu professore di filosofia naturale alla *Royal Institution* di Londra. Socio (1873) della *Royal Society* ne fu poi segretario e nel 1905 presidente. Fu socio straniero dell'Accademia dei Lincei (1891). Nel 1908 divenne rettore dell'Università di Cambridge. I suoi interessi scientifici abbracciarono molti settori della fisica. Nell'ambito della meteorologia studiò le proprietà ottiche e la composizione dell'atmosfera, fra l'altro spiegando la colorazione del cielo e scoprendo il primo gas nobile presente nell'atmosfera: l'àrgon.

Luigi DE MARCHI (Milano 1857 – Pavia 1936), geofisico e geografo italiano. Studiò fisica e matematica all'Università di Pavia. Dal 1886 al 1902 diresse la Biblioteca Universitaria di Pavia, quindi la Biblioteca Alessandrina a Roma e infine la Biblioteca nazionale di Brera a Milano. Nel 1902 divenne professore di geografia fisica all'Università di Padova, dove si occupò di oceanografia, idrografia, glaciologia, meteorologia e climatologia (vedi nota 147). Studiò le cause delle ere glaciali e gli effetti dell'accumulo dei ghiacci sui continenti in relazione alle variazioni del livello marino. Fu tra i primi ad effettuare ricerche di geofisica marina nell'Adriatico; studiò i meccanismi della propagazione delle onde sismiche. Tra le opere principali Meteorologia generale (1888 con successive edizioni 1905 e 1920), Climatologia (1890, con nuova edizione nel 1932), Trattato di geografia fisica (1902), Fondamenti di geografia politica (1929). Fu socio dell'Accademia Nazionale dei Lincei e dell'Accademia Nazionale delle Scienze e dal 1934 Senatore del Regno.

¹⁵⁸ Léon Philippe TEISSERENC DE BORT (Parigi 1855 – Cannes 1913), meteorologo francese. Fu uno dei pionieri della scienza dell'atmosfera e scopritore, con Richard Assmann (vedi nota 79), della stratosfera. Iniziò a lavorare nel 1880 al *Bureau Central Météorologique*, dove realizzò carte della distribuzione della pressione a 4000 metri di altezza e si occupò di geofisica realizzando mappe

magnetiche del Nord Africa. Stanco della mancanza di fondi del *Bureau* si dimise e nel 1896 fondò l'osservatorio meteorologico di Trappes, vicino a Versailles, dove condusse ricerche sulle nuvole, utilizzando per primo palloni sonda riempiti di idrogeno, i cui risultati furono pubblicati nell'*Atlas international des nuages*. A partire dal 1898, compì ricerche sull'alta atmosfera, con l'uso sistematico di palloni sonda, che lo portarono a individuare per primo quella regione dell'atmosfera terrestre intorno agli 8÷17 km di altezza dove il gradiente termico verticale raggiunge il valore zero, oggi nota come tropopausa. Dopo ulteriori ricerche effettuate con i palloni sonda, nel 1902 ipotizzò che l'atmosfera fosse divisa in due strati, che chiamò "troposfera" e "stratosfera". Condusse ricerche in Svezia, in Olanda, nel Mediterraneo, nelle regioni tropicali dell'Oceano Atlantico dove utilizzò un vascello speciale per studiare la relazione tra le correnti marine e i venti alisei. La *Royal Meteorological Society* di Londra lo elesse come suo socio nel 1903 e gli conferì nel 1908 la *Symons Gold Medal*. Nel 1910 divenne membro dell'*Académie des sciences*.

159 John AITKEN (Falkirk 1839 – Manchester 1919), geofisico, meteorologo e ingegnere navale scozzese. Viene considerato uno dei padri della fisica delle nuvole e degli studi sull'aerosol atmosferico. Visse a Falkirk, dove svolse ricerche: sul pulviscolo atmosferico in relazione alla formazione di nuvole e di nebbie (1882), sui processi di condensazione del vapore acqueo atmosferico (1885) e sulle leggi dei cicloni (1891). Progettò il primo apparecchio, *koniscope* o *contatore di Aitken*, per misurare il numero di particelle di pulviscolo atmosferico in un volume di riferimento. Inventò, inoltre, nuovi tipi di schermi termometrici. Con il suo nome sono indicati i nuclei di condensazione (*nuclei di Aitken*) con raggio inferiore a 0,1 μm di cui fanno parte le particelle appena formatesi, dopo il processo di nucleazione, di cui Aitken aveva dimostrato l'esistenza. Fece parte della *Royal Society* di Edimburgo, che gli conferì la *Keith Medal* (1886) e il *Gunning Prize* (1897), e della della *Royal Society* di Londra che lo premiò con la *Royal Medal* (1917).

¹⁶⁰ Francesco CARLINI (Milano 1783 – Crodo 1862), astronomo, geodeta e meteorologo italiano. Dopo la laurea nel 1803 in matematica all'Università di Pavia, lavorò all'osservatorio di Brera che diresse dal 1832. Pubblicò nel 1807 delle tavole di rifrazione astronomica, basate sulla teoria di Laplace e sulle osservazioni che aveva effettuato con il circolo moltiplicatore di E. Lenoir (vedi nota 170), e nel 1810 delle tavole solari per il meridiano di Milano che correggevano gli errori presenti in quelle di J. B. Delambre. A partire dal 1813 elaborò, in collaborazione con G. Plana, una teoria del movimento della Luna, che gli valse nel 1820 un premio dell'Académie des science di Parigi. Sempre con Plana, si occupò della misura del tratto di parallelo tra Andrate (Torino) e Mondovì, confermando le anomalie locali rilevate da G. Beccaria. Compì inoltre osservazioni meteorologiche pubblicando, nel 1826, il volume Sulla legge delle variazioni orarie del barometro. Sotto la sua direzione, le osservazioni meteorologiche di Brera furono migliorate impiegando strumenti più precisi ed effettuando misure triorarie. Si impegnò per la realizzazione di una rete di osservatori meteorologici negli Stati Italiani, come era stato proposto nella Prima riunione degli scienziati italiani svoltasi a Pisa nel 1839. A tal scopo fu istituita a Milano nel 1843 una commissione con il compito di stabilire la tipologia degli strumenti e le procedure per la loro calibrazione in modo da rendere confrontabili le misure dei diversi Osservatori della rete. Fece parte di varie accademie straniere e italiane.

161 Giovanni Virginio SCHIAPPARELLI (Savigliano 1835 – Milano 1910), ingegnere italiano, astronomo e storico della scienza. Studiò astronomia con J. F. Encke all'Osservatorio di Berlino e poi con O. Struve all'Osservatorio Imperiale Russo di Pulkovo. Nel 1860 iniziò a lavorare all'Osservatorio di Brera di Milano, di cui ne fu direttore dal 1862 al 1900. Considerato uno dei maggiori astronomi del XIX secolo dedicò, a lungo, i suoi studi alla superficie di Marte, di cui tracciò delle mappe, per l'epoca assai accurate, anche se i celebri *canali* che descrisse, e ritenuti da altri una prova dell'esistenza di vita intelligente sul pianeta, si rivelarono successivamente, con le foto della superfice marziana fatte dalla sonda spaziale Mariner 4 nel 1965, una illusione ottica. Si dedicò anche allo studio della rotazione di Venere e di Mercurio. Uno dei più importanti risultati fu la scoperta dell'associazione tra sciami meteorici e comete. Fu un attento osservatore di stelle doppie e un pioniere della statistica stellare. Effettuò anche studi matematici, geodetici, geofisici e ricerche di storia dell'astronomia antica.

Nel 1889 fu nominato senatore del Regno. Fece parte dell'Accademia dei Lincei, dell'Accademia delle Scienze di Torino e del Regio Istituto Lombardo.

- ¹⁶² IPPOCRATE (Kos-isola del Dodecaneso 460 a.C. circa Larissa 377 a.C.), medico, geografo e aforista greco, considerato il padre della medicina.
- ¹⁶³ PLINIO SENIORE (Como 23 Stabiae oggi Castellammare di Stabia 79) più noto come Plinio il Vecchio (*Gaius Plinius Secundus*), scrittore, ammiraglio e naturalista romano.
- ¹⁶⁴ Poco si sa della biografia di Jean BERRYAT (1718 1754), medico francese curatore scientifico dei primi due volumi *Collection académique* [1037], [1038].
- ¹⁶⁵ Una articolata definizione dei parametri del magnetismo terrestre può essere trovata in [69].
- ¹⁶⁶ Angelo Secchi si riferisce all'astronomo Urbain Le Verrier (vedi nota 144).
- ¹⁶⁷ Karl Friedrich GAUSS (Brunswick 1777 1855 Gottinga), matematico, fisico, astronomo e geodeta tedesco, considerato uno dei più grandi genî scientifici di tutti i tempi. Nel 1801, ritornato a Brunswick, pubblicava l'opera monumentale della sua giovinezza: le Disquisitiones aritmeticae, il primo trattato moderno di teoria dei numeri, che gli procurò di colpo un posto eminente nel mondo scientifico. Nel 1809 pubblicò il grande trattato Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium e nel 1813 la memoria sulle perturbazioni secolari dei pianeti. Il trattato è una teoria completa del moto dei corpi del sistema solare, che sviluppa non solo il caso delle orbite ellittiche, ma anche quelli delle orbite iperboliche e paraboliche. Per molti anni egli collaborò alla preparazione scientifica e tecnica di operazioni geodetiche; da questi problemi pratici fu condotto allo studio del magnetismo terrestre per la misura del quale inventò un nuovo e ingegnoso strumento. Nel 1833 fondò un osservatorio magnetico, in cui ebbe parte attiva su vari fronti: nelle misurazioni inerenti la declinazione magnetica, nella promozione di iniziative analoghe in altri paesi e nella costituzione del Magnetischer Verein, i cui risultati erano raccolti in un periodico diretto da lui e da Wilhelm Weber. È dello stesso anno l'invenzione di un magnetometro bifilare, descritto brevemente da Gauss nella traduzione tedesca della sua lettura Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata [1035]. È del 1836 la memoria Erdmagnetismus und Magnetometer. Una descrizione più divulgativa del magnetometro fu curata dallo stesso Gauss sulla sua rivista nel 1837. Del 1839 la memoria Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus. A questa fece seguire un atlante sul magnetismo terrestre e, quasi a coronamento di così lunga e appassionata attività, i teoremi generali relativi alle azioni fra poli magnetici, tra i quali le proposizioni fondamentali della teoria del potenziale, legati al suo nome. Si occupò anche del problema della telegrafía elettromagnetica, e si deve a un contributo suo e di W. Weber se più tardi Karl August Steinheil poté trovare soluzioni pratiche costruendo una rete telegrafica dentro la città di Gottinga e installando, nel 1835, una linea telegrafica lungo la prima rete ferroviaria tedesca. [3]
- ¹⁶⁸ In geofisica l'intensità del vettore campo magnetico veniva misurato in gauss, con l'introduzione del Sistema Internazionale delle unità di misura [15] l'intensità del vettore campo magnetico si esprime in ampere/metro ovvero in newton/weber.
- ¹⁶⁹ Humphrey LLOYD (Dublino 1800 ivi 1881), sacerdote, professore di fisica nell'Università di Dublino, membro della *Royal Society*. Si occupò di ottica fisica, in particolare dei cristalli biassici, della rifrazione conica (scoperta nella aragonite) e dell'interferenza. Quando fu fondato l'osservatorio magnetico del *Trinity College* di Dublino, Lloyd ne assunse la direzione e gli strumenti necessari furono da lui ideati e costruiti sotto la sua supervisione. Fu membro del comitato della *British Association* che, per migliorare la conoscenza del magnetismo terrestre, faceva pressioni sul governo affinché istituisse stazioni di osservazione. Egli stesso curò, a Dublino, la preparazione degli ufficiali incaricati di gestire i suddetti osservatòri.
- ¹⁷⁰ Etienne LENOIR (Mer près de Bloi 1744 Parigi 1832), costruttore francese di strumenti scientifici per l'astronomia e la geodesia. Nel 1786 il re di Francia gli conferì il titolo di *Ingénieur du Roi* per la

sua fama come costruttore di strumenti. Dal 1792 lavorò per la *Commission des Poids et Mesures* e per la *Commission du Metre*. Nel 1793, realizzò in ottone il metro campione standard provvisorio e successivamente un comparatore per la misurazione del metro standard definitivo. Fu membro della *Commission temporaire des Arts* e del *Bureau des Longitudes*; nel 1814 ricevette la *Légion d'honneur*.

- ¹⁷¹ Fasce di James Alfred VAN ALLEN (Mount Pleasant 1914 Iowa City 2006) prendono il nome dal fisico statunitense loro scopritore e costituiscono una regione della magnetosfera terrestre ricca di particelle ad alta energia. Esse sono costituite da due fasce di forma toroidale, disposte simmetricamente con l'asse geomagnetico comune. Queste particelle, trattenute nel campo geomagnetico per effetto della forza di Lorentz, sono costituite da protoni prodotti dall'interazione di raggi cosmici con l'atmosfera (fascia interna) o da elettroni prodotti dal vento solare (fascia esterna). I moti di queste particelle subatomiche causano tempeste magnetiche e alcuni fenomeni ottici come le aurore polari. Inoltre l'elevata energia coinvolta rende queste fasce una zona particolarmente critica sia per la salvaguardia dei satelliti artificiali, sia per la salute degli astronauti in missione.
- 172 Georg HARTMANN (Eggolsheim 1489 Norimberga 1564), presbitero, matematico e costruttore di strumenti tedesco. Effettuò misure di declinazione magnetica in diverse località (ad esempio Norimberga e Roma) con buona approssimazione. Realizzò numerosi strumenti matematici di buona qualità (orologi solari, bussole, astrolabi, sfere armillari ecc.) e strumenti militari come calibri da cannonieri.
- 173 William GILBERT (Colchester 1544 Londra 1603), medico, filosofo naturale e fisico inglese. Si dedicò inizialmente alla professione di medico con notevole successo, tanto da essere scelto dalla regina Elisabetta I come medico di corte. Il suo volume *De magnete* (1600), dove analizzava le proprietà delle calamite e dei fenomeni elettrici, fu letto con interesse da Galileo Galilei. In questo stesso lavoro Gilbert studiò, anche, l'elettricità statica generata dall'ambra, e dal nome greco di questo materiale (ηλεκτρον electron) coniò il termine latino electricus.
- ¹⁷⁴ Henry GELLIBRAND (Londra 1597 ivi 1637), matematico inglese. I suoi studi furono dedicati principalmente al campo magnetico terrestre e alla navigazione. Nel 1634 scoprì che la declinazione magnetica non è costante nel tempo. Completò il volume *Trigonometria Britannica* di Henry Briggs, rimasto incompiuto per la morte di quest'ultimo. Nel volume erano riportate tavole di logaritmi in base dieci di funzioni trigonometriche. Fu professore di astronomia al *Gresham College* di Londra.
- ¹⁷⁵ Con variazione secolare si indica l'insieme delle variazioni del campo geomagnetico che si verificano in periodi di tempo compresi tra pochi anni e qualche decina di migliaia di anni. L'ampiezza delle variazioni di declinazione e di inclinazione, per un dato luogo di osservazione, oscilla da qualche primo a qualche decina di primi l'anno.
- ¹⁷⁶ George GRAHAM (Kirklinton 1673 Londra 1751), orologiaio, inventore e geofisico inglese; membro della *Royal Society*.
- ¹⁷⁷ Olof Petrus (or Peter) HIORTER (o Hjorter) (Rödöns 1696 Uppsala 1750), astronomo svedese. Dopo aver studiato nei Paesi Bassi, nel 1732 divenne docente all'Università di Uppsala. Dal 1737 si dedicò, insieme a Celsius, allo studio dell'aurora boreale e di alcuni temi di astronomia (eclissi solare, comete, misurazioni della latitudine ecc.
- ¹⁷⁸ Charles-Augustin de COULOMB (Angoulême 1736 Parigi 1806), fisico francese, ufficiale del genio e studioso di meccanica. Si occupò di lavori di fortificazione; pubblicò studi sulla stabilità delle volte, su questioni varie di statica, sui mulini a vento e sull'elasticità di torsione dei metalli (1784). Queste ultime ricerche lo portarono a ideare una bilancia di torsione (*bilancia di Coulomb*) per la misura diretta di forze anche debolissime. Avvalendosi di questo strumento, Coulomb realizzò le sue classiche esperienze sull'attrazione e sulla repulsione elettrostatica (*Legge di Coulomb*) di cui pubblicò, fra il 1784 e 1789, i risultati in sette memorie. Dimostrò fra l'altro che le cariche elettriche si distribuiscono unicamente sulla superficie di un conduttore. Fu membro dell'*Académie des sciences* (1784) e

intendente generale delle acque. Per i suoi studi teorici e applicati, Coulomb viene considerato il fondatore della teoria matematica dell'elettrostatica e del magnetismo. In suo onore l'unità di misura della carica elettrica, nel Sistema Internazionale, si chiama coulomb.

- ¹⁷⁹ Charles Augustus YOUNG (Hanover 1834 ivi 1908), astronomo statunitense. Nel corso della sua carriera, ha ricevuto numerosi titoli onorari e premi, tra cui la Medaglia di Janssen dell'*Académie des sciences* francese (1891) per il suo lavoro in spettroscopia solare. È stato membro dell'Accademia Nazionale delle Scienze, della Società Filosofica Americana e membro associato della *Royal Astronomical Society* britannica.
- ¹⁸⁰ «[...] A riguardo di questo argomento il mondo astronomico è diviso in due fazioni quasi ostili [...]. Una parte sostiene che lo stato della superficie del Sole è un fattore determinante per la meteorologia terrestre, dato che condiziona la temperatura, la pressione barometrica, le precipitazioni, i cicloni, i raccolti e persino la nostra finanza [...]. L'altra parte sostiene che non c'è, e non può esserci, alcuna influenza sensibile sulla terra prodotta da tali leggere variazioni della luce e del calore solari, sebbene, naturalmente, tutti ammettano la connessione tra le macchie solari e le condizioni magnetiche della terra. Sembra abbastanza chiaro che non siamo ancora in grado di optare in un modo o nell'altro, per stabilirlo ci vorrà un periodo di osservazioni mirate molto più lungo. Ad ogni modo, con i dati ora in nostro possesso, uomini di grande valore scientifico e tecnico traggono conclusioni opposte [...]».
- ¹⁸¹ Walter Orr ROBERTS (West Bridgwater 1915 Boulder 1990), astronomo statunitense; professore di Astrogeofisica dell'Università del Colorado; è stato primo direttore del *National Center for Atmospheric Research* e membro di numerose organizzazione americane e internazionali come la *American Geophysical Union*, la *Royal Astronomical* Society e il *Council on International Relations*.
- ¹⁸² Le macchie solari sono zone oscure, che cambiano nel tempo sulla superficie del Sole. Nel 1908 l'astronomo americano George E. HALE (Chicago 1868 Pasadena 1938) usò il suo magnetografo per dimostrare che le macchie sono giganteschi campi magnetici mille volte maggiori di quello terrestre, che si estendono sul Sole per superfici più grandi di quella della Terra. Le macchie solari si manifestano nella loro massima estensione con un ciclo di undici anni.
- ¹⁸³ John EDDY (Pawnee City 1931 Tucson 2009), astrofisico statunitense del *National Center for Atmospheric Research*.
- ¹⁸⁴ Le alte temperature della parte più esterna dell'atmosfera del Sole provocano il vento solare, costituito da particelle subatomiche elettricamente cariche.
- ¹⁸⁵ Correnti telluriche: sono correnti elettriche, che percorrono la superficie terrestre, prodotte da differenze di potenziale sulla superficie stessa. Esse sono estremamente variabili nel tempo e nella loro intensità e direzione.
- ¹⁸⁶ Angelo Silvio NOVARO (Diano Marina-Imperia 1866 Oneglia-Imperia 1938), poeta e scrittore: "Che dice la pioggerellina di marzo, che picchia argentina sui tegoli vecchi del tetto, sui bruscoli secchi dell'orto, sul fico e sul moro ornati di gèmmule d'oro? [...]" (1930).

Capitolo Quarto

- ¹⁸⁷ Trasduttore: dispositivo che trasforma una grandezza fisica non direttamente misurabile, per esempio la temperatura, in un'altra direttamente misurabile, per esempio lo spostamento di un indicatore.
- ¹⁸⁸ Strumenti digitali: apparecchi e dispositivi che trattano grandezze espresse in forma numerica, ovvero convertono le grandezze acquisite dalla forma analogica a quella numerica, di solito quella binaria, prima di procedere alla loro elaborazione.
- ¹⁸⁹ Bronzo sinterizzato: bronzo sottoposto al processo di sinterizzazione, ovvero al trattamento termico, ad elevata temperatura, che trasforma un materiale polverulento in un aggregato di particelle più grandi,

quasi sferiche, compatto e indivisibile, a cui può essere data, durante il trattamento, forma e dimensioni determinate e con caratteristiche fisiche e meccaniche prestabilite. La sinterizzazione permette di ottenere materiali con densità pari a circa il $90 \div 95$ % del valore teorico.

- ¹⁹⁰ Istituto di Analisi ambientale e Telerilevamento applicato all'Agricoltura, di Firenze, del Consiglio Nazionale delle Ricerche che nel 2000, nell'ambito della ricomposizione degli Istituti CNR, divenne l'Istituto di Biometeorologia, con sedi a Firenze, Sassari e Bologna.
- ¹⁹¹ Sensori analogici sono dispositivi che trasformano grandezze fisiche, a cui sono sensibili, in grandezze analoghe, ma di altra natura, ovvero che si evolvono nel tempo con lo stesso andamento.
- ¹⁹² L'effetto termoelettrico studiato da Peltier è il fenomeno per cui una corrente elettrica che attraversa una sezione di intimo contatto fra due diversi metalli o semiconduttori, *giunzione Peltier*, produce sulla giunzione un assorbimento o una emissione di calore a seconda del verso con cui essa viene attraversata dalla corrente [57].
- ¹⁹³ Jean-Charles-Athanase PELTIER (Ham 1785 Parigi 1845), fisico francese. Dopo aver lavorato come orologiaio, dal 1815 si dedicò completamento a ricerche sull'elettricità e sulla meteorologia. Nel 1834 scoprì il fenomeno termoelettrico che prende il suo nome (*effetto Peltier*, vedi nota 192). Nell'ambito della meteorologia cercò di spiegare l'origine dell'elettricità atmosferica; nel 1840 pubblicò un lavoro sulle cause e sulla formazione degli uragani.
- ¹⁹⁴ Le onde acustiche sono classificate in tre categorie: *infrasuoni* (*infra*, prefisso indicante: inferiore, al di sotto, ecc.) con frequenza inferiore a circa 16 Hz, *suoni* ovvero percepibili dall'orecchio umano, aventi frequenza compresa fra 16 Hz e 20 kHz, *ultrasuoni* (*ultra*, prefisso indicante: oltre, al di là, ecc.) con frequenza superiore a circa 20 kHz.
- Lazzaro SPALLANZANI (Scandiano Reggio Emilia 1729 Pavia 1799), gesuita e biologo italiano. Dopo aver insegnato greco nel Seminario di Reggio Emilia e fisica e matematica all'Università di Reggio Emilia, fu docente di filosofia e retorica all'Università di Modena e matematica e greco presso il Collegio San Carlo di Modena. Nel 1765 pubblicò il Saggio di osservazioni Microscopiche sul Sistema della Generazione de' Signori di Needham e Buffon in cui confutava, grazie a un esperimento ripreso in seguito da Louis Pasteur, la teoria della generazione spontanea. Dal 1769 fino alla morte insegnò storia naturale presso l'Università di Pavia. Nel 1771 fondò a Pavia il Museo di Storia Naturale. Si occupò di circolazione sanguigna e di riproduzione, ottenendo la prima fecondazione artificiale (1777) usando uova di rana e di rospo. Si dedicò, inoltre, a ricerche inerenti la digestione e la respirazione. Effettuò numerose spedizioni scientifiche in varie località del Mediterraneo con lo scopo di acquisire reperti biologici per il Museo nonché per studiarne la biologia marina. Inoltre si occupò di vulcanologia. Fu socio di molte accademie e società scientifiche. Negli ultimi anni della sua vita effettuò osservazioni sugli organi sensoriali dei chirotteri (vedi pag. 93 e note 196 e 197).
- ¹⁹⁶ I Chirotteri, comunemente detti pipistrelli, sono stati per molti anni suddivisi in due sottordini, basati su evidenti differenze anatomiche, come la forma dell'orecchio esterno, la struttura dell'articolazione dell'omero, la conformazione dentaria, e soprattutto la modalità di percezione sensoriale dominante, visiva nei Megachirotteri e supportata dall'ecolocazione nei Microchirotteri. La classificazione è stata per molti anni soggetta a revisioni e miglioramenti fino ad arrivare agli ultimi studi filogenetici del 2005 [115].
- ¹⁹⁷ Il gesuita L. Spallanzani ipotizzò, per i microchirotteri, un sesto senso che venne indagato anche dal chirurgo, naturalista e fisico, svizzero Louis JURINE (Ginevra 1751 Chougny1819) [82] il quale, ripetendo gli esperimenti del gesuita, scoprì che bisognava chiudere meglio gli orecchi dei pipistrelli per renderli incapaci di orientamento notturno. L'ecclesiastico confermò l'osservazione ma morì prima di poter approfondire il fenomeno.
- ¹⁹⁸ Donald R. GRIFFIN (Southampton 1915 Lexington 2003), etologo e zoologo statunitense. Fu docente di zoologia alla *Harvard University* e direttore dell'Istituto di ricerche sul comportamento degli animali alla *Rockfeller University* di New York. Nelle sue ricerche si occupò di fisiologia comparata e

del comportamento degli animali. In particolare i suoi studi riguardarono l'udito dei pesci, le tecniche di ecolocazione dei pipistrelli e degli uccelli troglofili e il volo degli uccelli migratori.

¹⁹⁹ Robert Alexander WATSON-WATT (Brechin 1892 – Inverness 1973), fisico e radiotecnico britannico. Nel 1935 realizzò i primi apparati radar di pratico funzionamento. Dal 1941 fece parte della *Royal Society*. Durante la seconda guerra mondiale ricoprì importanti incarichi nell'organizzazione della difesa nazionale. Negli anni 1960 si oppose alla proliferazione delle armi nucleari.

²⁰⁰ Nikola TESLA (Smiljan, 1856 – New York 1943), ingegnere serbo naturalizzato statunitense. Arrivato in USA nel 1884 fondò, nel 1887, una società di produzione di alternatori, poi confluita nel gruppo Westinghouse. Realizzò (nello stesso periodo di Galileo Ferraris) il motore a campo magnetico rotante e molte altre invenzioni. Progettò e realizzò la prima centrale idroelettrica a corrente alternata sulle cascate del Niagara (1895-1896). Nella sua lunga carriera ottenne circa 700 brevetti.

²⁰¹ Christian HÜLSMEYER (Eydelsted 1881 – Ahrweiler 1957), inventore e imprenditore tedesco. Di modeste origini, si appassionò alla fisica durante gli studi al *Lehrerseminare* di Brema. Dopo aver lavorato per due anni alla Siemens-Schuckert, dove si occupava di apparati elettrici per navi, aprì un negozio dove realizzava e commercializzava apparecchi elettrici e ottici, molti dei quali di propria invenzione per i quali presentò diverse domande di brevetto. Nel 1904 realizzò il *telemobiloskop*, il primo dispositivo brevettato che utilizzava onde radio (vedi pag. 54) per rilevare la presenza di oggetti metallici distanti; il sistema era in grado di segnalare la presenza di navi distanti non più di 3 km.

²⁰² Guglielmo Giovanni Maria MARCONI (Bologna 1874 – Roma 1937), inventore, imprenditore e politico italiano. Nel 1894 iniziò a compiere esperimenti con le onde elettromagnetiche (vedi pag. 54) al fine di utilizzarle come mezzo per inviare segnali telegrafici a distanza senza la necessità delle linee bifilari del telegrafo. Un primo sistema messo a punto nel 1895 gli permise di ricevere segnali telegrafici intelligibili sino a 2400 metri. Nel 1896 si trasferì in Inghilterra per sviluppare la sua invenzione ottenendo il brevetto e dove nel 1900 fondò la Marconi's Wireless Telegraph Company. Nel 1898 inventò il sistema sintonico, che gli permise di risolvere il grave problema dell'interferenza tra più stazioni emittenti. Con apparati sintonici estese gradualmente la portata delle comunicazioni; dapprima (1899) a qualche centinaio di chilometri poi, nel dicembre del 1901, stabilì il primo collegamento telegrafico transatlantico senza filo. L'anno successivo fu inaugurato il servizio radiotelegrafico regolare Europa-America. Negli anni '20 condusse, nel suo laboratorio mobile a bordo dello yacht Elettra, importanti esperimenti sulle onde corte cui seguirono, nei primi anni '30, quelli sulle microonde che contribuirono allo sviluppo e al perfezionamento dei moderni sistemi radio. Nel 1909 ottenne, insieme a Karl Ferdinand Braun, il premio Nobel per la fisica in riconoscimento dei loro contributi allo sviluppo della telegrafia senza fili. Nel 1914 fu nominato senatore del Regno d'Italia; dal 1927 al 1937 fu presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR); dal 1930 fu presidente dell'Accademia d'Italia e dal 1934 anche dell'Enciclopedia Italiana. Il giorno prima di morire aveva riferito al CNR i risultati dei propri studi sulle proprietà delle onde ultracorte. Per la sua attività scientifica e tecnologica ricevette molte lauree honoris causa.

²⁰³ Arthur E. BENT (dati anagrafici introvabili), tecnologo e meteorologo statunitense. Lavorò come ricercatore negli anni '30 e '40 del Novecento al *Radar Laboratory del Massachusetts Institute of Technology* e successivamente al *Blue Hill Meteorological Observatory* dell'*Harvard University*. La sua attività riguardò la messa a punto di sistemi per la radarmeteorologia.

²⁰⁴ Edward Victor APPLETON (Bradford 1892 – Edimburgo 1965), fisico britannico. Dal 1924 fu professore di fisica al *King's College London*, quindi nel 1936 professore di filosofia naturale in quella di Cambridge e infine dal 1949 rettore dell'Università di Edimburgo. Studiò la propagazione delle onde elettromagnetiche scoprendo l'esistenza nella ionosfera di uno strato (detto *di Appleton*) capace di riflettere le onde corte. La scoperta fu di fondamentale importanza per lo sviluppo delle radiocomunicazioni poiché grazie alle proprietà riflettente dello strato di Appleton i messaggi radio possono superare la curvatura della Terra e giungere anche a stazioni poste al di là dell'orizzonte. La scoperta di Appleton fu fondamentale anche per lo sviluppo del radar. Studiò inoltre l'emissione di onde

corte con origine nella Via Lattea e nel 1947 ottenne una eco radar per riflessione sulla Luna. Per questi studi nel 1947 ricevette il Premio Nobel per la fisica. Fu membro della *Royal Society* di Londra.

²⁰⁵ Radiazione infrarossa (vedi pag. 54): è la radiazione elettromagnetica, con lunghezze d'onda compresa fra 0,75 ÷ 0,80 μm (limite della radiazione visibile rossa) e 1000 μm (limite delle microonde più corte). Si definisce *infrarosso termico* quello con lunghezze d'onda compresa fra 8 e 14 μm poiché è in questa gamma che hanno il massimo di emissione i corpi alle temperature ambientali naturali.

²⁰⁶ Le memorie allo stato solido sono costituite da circuiti integrati a base di silicio.

PROM: Programmable Read Only Memory "memoria programmabile di sola lettura", è un tipo di memoria programmabile una sola volta.

EPROM: Erasable Programmable Read Only Memory, memoria di sola lettura programmabile e cancellabile, tramite raggi ultravioletti.

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, memoria non volatile, usata nei computer e altri dispositivi elettronici per memorizzare dati che devono essere mantenuti anche quando viene tolta l'alimentazione elettrica. Le operazioni di scrittura, cancellazione e riscrittura hanno luogo elettricamente.

- ²⁰⁷ Le norme internazionali del sistema di misura, SI, [15] non danno indicazioni cogenti su come scrivere i prefissi per le grandezze espresse nel sistema di numerazione binaria, come ad esempio i bit e i byte (1 byte = 8 bit). L'SI rimanda a una norma stabilita dall'IEC (*International Electrotechnical Commission*), vedi Appendice Prima al Capitolo Quarto.
- 208 GSM Sistema globale per comunicazioni mobili in inglese Global System for Mobilecommunications.
- ²⁰⁹ In telecomunicazioni il *General Packet Radio Service* (GPRS) è una delle tecnologie di telefonia mobile cellulare. Viene convenzionalmente definita di generazione 2.5, vale a dire una via di mezzo fra la seconda generazione (GSM) e la terza (UMTS).
- ²¹⁰ Le batterie di accumulatori in tampone consentivano di erogare energia al sistema, di notte o di giorno in assenza di soleggiamento; all'epoca raramente si arrivava a due settimane di autonomia.
- ²¹¹ Si ricordi quanto detto a pagina 65, a proposito della trasmissione telegrafica dei bollettini meteo...i grafici andavano tradotti manualmente, da un operatore, in forma numerica e ciò richiedeva sia di selezionare i valori più significativi e quelli rilevati ad ore prestabilite sia di eseguire delle pre-elaborazioni, per ridurre la quantità dei dati trasmessi...
- ²¹² Per inquinamento dell'acqua marina si intende la presenza consistente, in essa, di batteri fecali, di alterazione dei suoi parametri fisici (quali trasparenza, colore e acidità), di presenza di sostanze chimiche (quali oli minerali, tensioattivi e fenoli). La presenza di materiali galleggianti (quali buste di plastica, bottiglie, alghe ecc.) non rappresenta necessariamente un indicatore di inquinamento, ma è altrettanto nociva all'ambiente. A questo fine citiamo l'isola *Pacific Trash Vortex* (l'isola di immondizia del Pacifico) la cui superficie a seconda delle correnti marine varia da 0,7 a 10 milioni di kilometri quadrati.

Capitolo Quinto

- ²¹³ In metrologia si definiscono grandezze di influenza tutti i parametri che in qualche modo possono intervenire nel processo di misurazione alterando il valore del misurando. Esse possono essere dovute alla procedura di misura, all'utilizzatore, all'ambiente [21]. Le grandezze che più spesso intervengono come grandezze di influenza sono la temperatura, la pressione, l'umidità. Nel caso di apparati elettronici il fattore di influenza di gran lunga più importante è la temperatura.
- ²¹⁴ Leonhard EULER (latinizzato Eulero) (Basilea 1707 San Pietroburgo 1783), matematico e fisico svizzero. Fu, probabilmente, il più importante matematico del Settecento e uno dei maggiori della storia.

Fu autore di numerose e fondamentali innovazioni, sia concettuali sia simboliche, in molti settori della matematica, della fisica e dell'astronomia. La sua opera scientifica fu caratterizzata dalla varietà dei nuovi metodi che propose, dall'ingegnosità delle sue idee e dalla pubblicazione di numerosissimi articoli e volumi. Dopo aver completato nel 1726 gli studi di matematica all'Università di Basilea, l'anno successivo accettò un incarico presso l'Accademia delle scienze di San Pietroburgo, dove, dopo pochi anni, divenne professore. Nel 1738 e nel 1740 ricevette il gran premio dell'*Académie des sciences* di Parigi e la sua fama si diffuse in tutti gli ambienti accademici europei. Su invito di Federico II di Prussia, si recò a Berlino, e qui, dal 1744 al 1766, curò l'ampliamento della *Königlich Preuβische Akademie der Wissenschaften* e pubblicò circa 380 articoli e due trattati fondamentali di analisi matematica (*Introductio in analysin infinitorum*, nel 1748, e *Institutiones calculi differentialis* nel 1755). Nel 1766, su invito della zarina Caterina II, ritornò a San Pietroburgo, dove continuò a lavorare fino a tarda età, nonostante che dal 1771 fosse divenuto completamente cieco.

²¹⁵ Daniel BERNOULLI (Groningen 1700 – Basilea 1782), matematico svizzero, membro di una celebre famiglia di matematici; il padre, Johann, fu precettore di Eulero. Nel 1725 si trasferì a San Pietroburgo dove fu insegnante di matematica dei figli dello zar e fece parte dell'Accademia delle Scienze. Tornato nel 1733 in Svizzera insegnò a Basilea anatomia, botanica e poi fisica. Nel 1738 pubblicò il volume *Hydrodynamica*, dove è presente il celebre teorema (o principio) di Bernoulli, in cui viene formulata la prima teoria cinetica dei gas. I suoi studi riguardarono inoltre le maree, il calcolo delle probabilità che applicò a problemi concreti. Lavorò con Eulero, di cui fu amico, in diverse campi della matematica e della fisica, in particolare sulla teoria dell'elasticità dei corpi.

²¹⁶ Joseph Louis (nato Giuseppe Lodovico) LAGRANGE (Torino 1736 – Parigi 1813), matematico e astronomo italiano, naturalizzato francese. I suoi studi riguardarono la teoria delle funzioni, la soluzione delle equazioni numeriche e la meccanica e costituirono un punto di arrivo nella sistemazione delle conoscenze matematiche. Fu professore di matematica nella Scuola di artiglieria a Torino (1755) e nel 1766, su proposta di Eulero e di D'Alembert, fu chiamato a Berlino da Federico II di Prussia succedendo a Eulero come presidente del corso di Matematica dell'Accademia, dove rimase fino alla morte del sovrano. Nel 1787 si trasferì a Parigi su invito di Luigi XVI, che lo nominò Direttore della sezione matematica dell'Accadémie des sciences. Fu presidente della commissione incaricata di stabilire un nuovo sistema di pesi e misure, il sistema metrico decimale. Dal 1797 fu professore di matematica all'École polytechnique. La fama rimase comunque immutata sia durante la Rivoluzione sia dopo la presa del potere di Napoleone Bonaparte. Lagrange, infatti, ottenne la Légion d'honneur, venne eletto al Senato di Francia e nominato conte dell'impero.

²¹⁷ Akio ARAKAWA (Fukui 1927 – vivente), fisico e meteorologo giapponese. Dopo aver studiato fisica all'Università di Tokio, è stato ricercatore presso l'Agenzia Meteorologica Giappone e successivamente docente al *Department of Atmospheric and Oceanic Sciences* della *University of California, Los Angeles (UCLA)*, dove attualmente è professore emerito. Nelle sue ricerche si è dedicato alla realizzazione di modelli numerici della circolazione globale atmosferica studiando in particolare le interazioni tra processi dinamici e fisici. La sua attività ha portato fondamentali contributi ai modelli numerici per gli studi sul clima. Nel 1977 ha ricevuto il *Carl Gustaf Rothby Research Award* dall'*American Meteorological Association* per aver formulato una metodologia che consente di includere nei modelli di circolazione atmosferica sia i processi convettivi sia lo strato limite planetario.

²¹⁸ Verner Edward SUOMI (Eveleth 1915 – Madison 1995), meteorologo e inventore statunitense di origine finlandese, considerato come il padre della meteorologia satellitare. Progettò lo *Spin Scan Radiometer* che equipaggiò per molti anni i satelliti meteorologici geostazionari per lo studio dei corpi nuvolosi. Dal 1948 fece pare del dipartimento di meteorologia dell'*University of Wisconsin–Madison*. Nel 1965 fondò con il professore di ingegneria elettrica Robert Parent, lo *Space Science and Engineering Center* dove fu sviluppato il primo satellite geostazionario, messo in orbita il 6 dicembre 1966.

Indice delle grandezze (indicate in corsivo) e degli strumenti

Eliofania	
-	48; 50; 85; 90; 132
3	, , , ,
Evaporazione	21; 51
-	
	21; 51; 52; 53; 59; 71; 118; 126
	53
Precipitazioni	
-	94
*	89
	67
	94; 95; 140
	85; 128
	88; 89
	20; 21; 45; 46; 59; 71; 88; 91; 92; 117; 130; 132
•	
•	39
barometro	26; 27; 28; 29; 32; 35; 36; 59; 71; 86; 92; 116; 118; 124; 125; 127;
	128; 129; 131; 138
D. P. Commission and the second	47. (7. 12)
	e
9	
-	
solarimetro – radiometro	
Tamparatura	21
-	40; 41; 129; 130
•	40, 41, 129, 130
-	37; 38; 39; 40; 129; 130
5 5	14; 21; 22; 23; 25; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 39; 41; 46; 47; 48;
termometro	54; 58; 59; 71; 85; 86; 91; 92; 116; 118; 119; 120; 126; 127; 129
termosconio	14; 21; 22; 23
willoscopio	14, 21, 22, 23

Umidità dell'aria	
Umidità relativa	39
igrometro	14; 35; 37; 39; 46; 53; 59; 71; 85; 86; 91; 92; 93; 118; 129; 131
igroscopio	
psicrometro	40; 41; 46; 59; 74; 126; 129; 130
termoigrografo	
Vento	9; 113
velocità del vento	
direzione del vento	
intensità del vento	
vento sfilato	
	11; 12; 14; 42; 43; 44; 45; 53; 59; 60; 71; 84; 91; 92; 93; 94; 113
	118; 127; 131; 132; 138
anemoscopio (o banderuola)	
gonioanemometro (o banderuo	la)

Indice dei Nomi

(in corsivo le biografie)

A'd I 1 (7 142	0 1 0 1 45 122
Aitken, John	Crosley, Samuel
Alberto Magno9	Dalrymple, Alexander
Andronico di Cirro	Daniell, John Frederick
Angot, Alfred	Danti, Ignazio12; 13; 42; 46; 88; 115
Ångström, Knut Johan	Da Ponte, Lorenzo
Antinori, Luigi	Della Porta, Giovanni Battista
Appleton, Edward V96; 147	Deluc, Jean-André
Arakawa, Akio	De Marchi, Luigi
Aristotele3; 7; 8; 9; 17; 18; 113; 122	Denza, Francesco
Assmann, Richard41; 129; 141	Dove, Heinrich W
August, Ernst Ferdinand40; 129	Eddy, John78; 145
Bacone, Francesco25; 29; 122	Empedocle7
Bain, Alexander63; <i>138</i>	Esiodo5
Baumhauer, Eduard Heinrich von63; 138	Eulero, Leonhard108; 148; 149
Bausch, Johan23; 120	Fahrenheit, Daniel Gabriel59; 119
Beaufort, Francis	Federico I di Hohenzollern27; 124
Beccaria, Giovanni Battista59; 135; 142	Federico II di Hohenzollern27; 124; 149
Bellani, Angelo32; 33; 51; 86; 126	Ferdinando II de' Medici19; 23; 37; 38;
Bent, Arthur E96; 147	93; 116; 122; 123
Bernoulli, Daniel108; 125; 149	Ferrel, William41; <i>130</i>
Berriat, Jean71; 143	Filòpono, Giovanni9
Bezold, Johann Friedrich Wilhelm von67;	Fitzroy, Robert36; 128; 129
<i>140</i> ; 141	Folli, Francesco14; 25; 37; 123
Boyle, Robert25; 122; 130	Fontana, Felice34; 35; 59; 126
Bravieri, Dino29	Fortin, Jean Nicolas26; 27; 124
Buchan, Alexander66; 139	Gale, Leonard D63; 137
Buridano, Giovanni9	Galilei, Galileo17; 20; 21; 22; 26; 27; 62;
Campbell, John Francis48; 132	116; 117; 118; 121; 122; 123; 144
Carlini, Francesco	Gauss, Karl Friedrich74; 75; 76; 77; 143
Carrier, Willis Haviland41; 130	Gellibrand, Henry77; 144
Caselli, Giovanni	Gilbert, William77; 144
Castelli, Benedetto20; 21; 45; 46; 51;	Graham, George77; 144
95; <i>116</i> ; 117	Griffin, Donald R93; 146
Cavendish, Charles	Guericke, Otto von
Cavendish, Henry29; 30; 31; 126	Guzzi, Rodolfo105
Cecchi, Filippo	Hale, George E145
Celsius, Anders23; 69; 77; 119; <i>120</i> ; 144	Halley, Edmond25; 47; 51; <i>123</i>
Cesi, Federico	Hann, Julius Ferdinand von
Chappe, Claude	Hartmann, Georg77; 144
Colbert, Jean-Baptiste25; <i>123</i>	Henry, Joseph
Coulomb, Charles-Augustin de77; 144; 145	Herschel, John
Contollo, Charles Hagasalli de / /, 177, 173	77, 132

Hertz, Heinrich Rudolf67; 95; 141	Peltier, Jean Charles93; 146
Hiorter, Olof Petrus77; 144	Piche, Albert51; 52; 133
Hooke, Robert12; 42; 59; 130; 131	Pitot, Henry45; 131
Hülsmeyer, Christian95; 147	Plinio Seniore70; 143
Humboldt, Alexander von67; 134; 140	Poleni, Giovanni21; 118
Ippocrate70; 143	Pouillet, Claude47;48; 132
Jurine, Louis146	Prestel, Michael A. F51; 52; 133
Keith, Alexander32; 33; 126	Rayleigh, John William Strutt, Lord67; 141
Kelvin, William Thomson, Lord15; 119; 120	Réaumur, René-Antoine de119; 120
Köppen, Wladimir57; 67; 134; 140	Régnault, Henri Victor39; 129
Lagrange, Joseph Louis108; 149	Renou, Émilien57; 134
Landriani, Marsilio	Richmann, Georg Wilhelm51
Langley, Samuel Pierpont67; 140	Roberts, Walter Orr78; 145
Leibniz, Gottfried Wilhelm27; 124	Robinson, Thomas43; 69; 84; 131
Lenoir, Etienne76; 142; 143	Robitzsch, Max49; 85; 133
Leonardo da Vinci11; 12; 13; 14; 25; 37; 115	Rutherford, Daniel32; 126
Leopardi, Giacomo80	Santorio, Santorre21; 62; 118
Leopoldo de' Medici23; 24; 121	Saussure, Horace Bénédict de37; 59; 129
Leutmann, Johann Georg51	Schiapparelli, Giovanni Virginio70; 142
Le Verrier, Urbain65; 66; 73; 101; 138;	Secchi, Angelo21; 59; 61; 62; 65; 72; 73;
139; 143	74; 75; 76; 77; 79; 135; 137; 143
Livingston, Burton Edward51; 53; 133	Six, James31; 32; 33; 126
Lloyd, Humphrey75; 143	Smeaton, John59; 135
Magalotti, Lorenzo121	Spallanzani, Lazzaro93; 146
Marconi, Guglielmo95; 147	Stokes, George48; 132
Margules, Max67; 141	Suomi, Verner E108; 149
Marié Davy, Edme Hippolyté57; 134	Targioni Tozzetti, Giovanni29; 126
Martin, Benjamin	Teisserenc de Bort, Léon Philippe67; 141
Maupertuis, Pierre-Louis Moreau de 27; 124	Tesla, Nikola95; 147
Maury, Matthew Fontaine55; 57; 73; 134	Tolomeo8; 113
Mesmer Franz Anton79; 80	Torricelli, Evangelista3; 17; 18; 26; 116; 123
Michelson, Vladimir48; 133	Van Allen, James Alfred76; 144
Moll-Gorczynski, Władisław50; 133	Van Rysselberghe, François63; 137; 138
Montelatici, Ubaldo29; 125; 126	Venturi, Giovanni Battista45; 131; 132
Morse, Samuel63; 65; 136; 137	Vidi, Lucien36; 128
Moscati, Pietro21; 59; 60; 62; 70; 71;	Viñas, Josè Miguel81
72; 76; 77; 79; 135	Vitruvio Pollione, Marco11; 115
Mozart, Wolfang Amadeus80	Viviani, Vincenzo26; 116; 123
Newton, Isaac26; 27; 120; 123; 124; 131	Watson-Watt, Robert Alexander95; 147
Novaro, Angelo Silvio145	Watt, James44; 131
Oberbeck, Anton67; 141	Wheatstone, Charles63; 136; 137
Olland, Hendrik63; <i>138</i>	Wild, Heinrich51; 52; 69; 133
Pacinotti, Antonio131	Wren, Christopher42; 45; 59; 130
Pajot d'Ons en Bray, Louis Léon42; 43; 131	Ximenes, Leonardo27; 28; 29; 125; 127
Parent, Robert108; 149	Young, Charles Augustus77; 78; 145
Paul Jacques 37: 129	

Bibliografia

- [1] AA.VV. Dizionario Biografico degli Italiani, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani http://www.treccani.it/biografico
- [2] AA.VV. Dizionario Sinonimi e Contrari Treccani, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani http://www.treccani.it/sinonimi/
- [3] AA.VV. Enciclopedia Italiana di scienze, lettere ed arti on-line Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani http://www.treccani.it/enciclopedia/
- [4] AA.VV. Vocabolario Treccani, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani http://www.treccani.it/vocabolario/
- [5] AA.VV. (1816) Encyclopaedia Perthensis or Universal Dictionary of the Arts Sciences, Literature, Vol. XXII, stampato da John Brown, Edimburgh https://archive.org/details/bub_gb_2FAKAQAAMAAJ (04/05/17)
- [6] AA.VV. (1970) Techniques d'étude des facteurs physiques de la biosphère, ed. INRA, Parigi
- [7] AA.VV. (1977) Scienza e tecnica dalle origini al Novecento, volume I, edizioni EST, editore Mondadori, Milano
- [8] AA.VV. (1977) Scienza e tecnica dalle origini al Novecento, volume II, edizioni EST, editore Mondadori, Milano
- [9] Accademia dei Georgofili (1989) I due secoli e mezzo dell'Accademia dei Georgofili, Firenze
- [10] Accademia del Cimento (1667) Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del Cimento, G. Cocchini per l'Insegna della Stella Firenze

 https://books.google.it/books?id=VTaUK65YQpgC&printsec=frontcover&hl=it&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (08/09/17)
- [11] Affronti F. (1977) Atmosfera e Meteorologia, editore S.T.E.M. Mucchi, Modena
- [12] Agnoli F., Bartelloni A. (2013) Scienziati in tonaca: da Copernico, padre dell'eliocentrismo, a Lemaître, padre del Big Bang, ed. La Fontana di Siloe, Torino pp. 134
- [13] Aguilar E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T. C., Wieringa, J. (2003) Guidelines on climate metadata and homogenization. World Meteorological Organization, WMO-TD No. 1186, WCDMP n.53, Geneva, Switzerland, p.55 http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/wcdmp/series/documents/WCDMP-53.pdf (23/11/18)
- [14] American Association for the Advancement of Science (1884) *Notes and News*, in Science, vol. 3, n. 64, p. 527, https://archive.org/details/science31884amer (07/07/2017)
- [15] Anonimo (2014) SI Brochure: The International System of Units (SI), 8th edition, BIPM, Sèvres http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/ (05/09/17)
- [16] Antinori V, a cura di, (1858) Archivio meteorologico centrale italiano nell'I. e R. Museo di Fisica e Storia naturale, Tipografia sulle Logge del Grano, Firenze https://books.google.it/books?id=0yFWAAAAcAAJ (04/01/18)
- [17] Arakawa A. (1966) Computational design for long-term numerical integration of the equations of fluid motion: Two-dimensional incompressible flow. Part I, Journal of Computational Physics, Volume 1, Issue 1, pp. 119-143
- [18] Aristotele (2002) Il Cielo, editore Bompiani, Milano
- [19] Aristotele (2003) Meteorologia, editore Bompiani, Milano
- [20] Aristotele (2015) Fisica, editore Bompiani, Milano
- [21] Arri E., Sartori S., a cura di, (1984) Le misure di grandezze fisiche. Manuale di metrologia, Paravia Torino
- [22] Battista P., Benincasa F., Fasano G. (1990) *Pluviointensimetro a microporocessore*, Elettronica Oggi n. 110, pp 123-132
- [23] Battista P., Benincasa F., Materassi A. (1994) Progetto e realizzazione di un impattometro a microprocessore, Riv. Ing. Agr. 1, 27-33
- [24] Baumhauer E. H. von (1880) A Universal Meteorograph Designed for Detached Observatories, Annual Report of The Board of Regents of The Smithsonian Institution For The Year Ending 1879, translated from the French by C. B. Young, pp. 519-534 http://radiosondemuseum.org/wp-content/uploads/images/Universal-Compiled.jpg (09/05/2017)
- [25] Beauchamp, K. (2001) History Of Telegraphy, The Institution Of Electrical Engineers, London

- [26] Bekiashev K. A., Serebriakov V. V. (1981) World Meteorological Organization (WMO) in Bekiashev K. A., Serebriakov V. V. International Marine Organizations - Essays on Structure and Activities, Springer Netherlands pp. 540-552
- [27] Benincasa F., a cura di (2003) L'acqua sulla Terra. Quaderno n. 13 Collana tecnico-scientifica IBIMET, Firenze
- [28] Benincasa F., a cura di (2013) L'Unificazione Metrologica, le vicende non concluse di un complesso percorso storico e geografico, ed. CNR-IBIMET, Firenze
- [29] Benincasa F., Carboni D., De Vincenzi M. (2012) Il Sole come fattore determinate nella genesi, diffusione e affermazione dell'homo sapiens sapiens, ed. CNR-IBIMET, Firenze
- [30] Benincasa F., Fasano G., Materassi A. (1984) Brevetto CNR n.9555 A/84 del 30/11/1984
- [31] Benincasa F., Fasano G., Materassi A. (1984) Un sistema automatico per il rilevamento dei parametri meteorologici, Agronomia anno XVIII, n.3-4, pp. 220-224
- [32] Benincasa F., Fasano G., Materassi A. (1986) Brevetto CNR n.9508 A/86 del 31/10/1986
- [33] Benincasa F., Fasano G., Materassi A. (1986) Eliofanometro a fotocelle, Elettronica Oggi, n. 26, pp. 133-137
- [34] Benincasa F., Fasano. G, Maracchi G., Materassi A.(1991) Stazione agrometeorologica didattica, Quaderno CeSIA n. 9
- [35] Benincasa F., Fasano. G, Materassi A. (1994) *Ieto-pHmetro con campionatore di precipitazioni secche*, Riv. Ing. Agr.n. 4 pp. 242-247
- [36] Benincasa F., Maracchi G., Rossi P. (1991) Agrometeorologia, Pàtron Editore, Bologna
- [37] Bent A. E. (1946) Radar detection of precipitation, Journal of Meteorology Vol. 3, sept., pp. 78-84
- [38] Bernal J. (1969) Storia della Scienza, volume I, Editori Riuniti, Roma
- [39] Bonandrini L. (2009) Pietro Moscati, in Appunti di storia della Medicina pavese http://www.ordinemedicipavia.it/index.php/corsi-e-convegni-per-odontoiatri/doc_view/58-pietro-moscati (25/07/17)
- [40] Borchi E., Macii R. (1997) Termometri e termoscopi, Pubblicazioni dell'Osservatorio Ximeniano, Firenze
- [41] Camuffo D., (2002) Calibration and instrumental errors in early measurements of air temperature, Climatic Change 53: pp. 297-329
- [42] Camuffo D., Bertolin C. (2012) The earliest temperature observations in the world: the Medici Network (1654-1670), Climatic Change 111: pp. 335-363
- [43] Chinnici I. (2002) Secchi Angelo (1818-1878), http://disf.org/Angelo-Secchi (27/07/17)
- [44] Cinelli F., Grippa M. L., Burgassi M., Fasano G., Materassi A. (2010) Misure metaboliche della biocenosi Posidonia Oceanica (l.) Delile attraverso l'utilizzo della camera bentica, Atti del III Simposio "Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura", Livorno 15-16-17 giugno 2010, pp. 474-479
- [45] Ciocca G. (2015) *I tori odiano il rosso: 10 false credenze sugli animali*, Dedalo Editore, Bari https://books.google.it/books?isbn=8822068602 (11/0/2018)
- [46] Comunicazione dell'11/04/2018 dell'Archivum Romanum Societatis Jesu
- [47] Cotte L. (1774) *Traité de météorologie*, Imprimerie Royale, Paris http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94863w (13/09/2017)
- [48] Cotte L. (1788) Mémoires sur la météorologie, Imprimerie Royale, Paris https://books.google.it/books?id=S 6 ifJAM8IC (03/05/2017)
- [49] Coulson K. L. (1975) Solar and Terrestrial Radiation: Methods and Measurements, Academic Press, New York
- [50] Danti E. (1578) Anemografia di maestro Egnatio Danti. Instrumento mostratore de' venti, traduzione dal latino in volgare di Pier Antonio Caetani, Bologna
- [51] Dantis E. (1578) *Anemographia*, apud Ioannem Rossium, Bononiæ http://atena.beic.it/webclient/DeliveryManager?pid=99434&custom-att-2=direct (03/05/17)
- [52] Daston L. (2002) La Rivoluzione scientifica: luoghi e forme della conoscenza. Curiosità e studio della natura in Storia della Scienza ed. Treccani http://www.treccani.it/enciclopedia/la-rivoluzione-scientifica-luoghi-e-forme-della-conoscenza-curiosita-e-studio-della-natura (Storia-della-Scienza) (15/05/18)
- [53] Dobesch H., Dumolard P., Dyras I., editors, (2007) Spatial Interpolation for Climate Data The Use of GIS in Climatology and Meteorology, ISTE Ltd https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780470612262 (24/09/18)

- [54] DuBois J. L., Multhauf R. P., Ziegler C A. (2002) The Invention and Development of the Radiosonde, with a Catalog of Upper-Atmospheric Telemetering Probes in the National Museum of American History, Smithsonian Institution, Smithsonian Institution Press, Washington D.C. https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/2453/SSHT-0053_Lo_res.pdf?sequence=2&isAllowed=y (09/05/17)
- [55] Encyclopædia Britannica, www.britannica.com/topic/Tower-of-the-Winds-building-Athens-Greece (18/01/17)
- [56] Fasano G., Materassi A., Benincasa F. (2010) Benthic chamber for metabolic measurements of underwater flora: a new realization, Atti del III Simposio "Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura", Livorno 15-16-17 giugno 2010, Editore CNR-IBIMET, pp. 559-566
- [57] Fasano G., Materassi A., Zara P. (1999) Sensori e strumenti elettronici per la meteorologia. Quaderno n. 8 Collana tecnico-scientifica INAPA, Firenze.
- [58] Favaro A. (1890) Opere di Galileo Galilei Tipografia Barbera Firenze, vol. XVIII pp. 62-66 https://it.wikisource.org/wiki/Le opere di Galileo Galilei (Favaro) (11/05/17)
- [59] Ferri E. (1978) Giovanni Caselli voce su Dizionario Biografico degli Italiani, Vol. 21, ed. Treccani, http://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-caselli_res-35a51303-87ea-11dc-8e9d-0016357eee51_(Dizionario-Biografico) (09/07/18)
- [60] Fröhlich C. (1991) History of Solar Radiometry and the World Radiometric Reference, Metrologia (28), pp. 111-115
- [61] Ganot A. (1861) Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia, Francesco Pagnoni, Tipografo-Editore, Milano https://books.google.it/books?id=1BsQibxllmYC&printsec=frontcover&hl=it#v=onepage&q&f=false (04/01/18)
- [62] Gill's technological [afterw.] (1828) Gill's scientific, technological & microscopic repository; or, Discoveries and improvements in the useful arts, a continuation of his Technical repository, by T. Gill, Vol. 2 pp. 16-17 https://books.google.it/books?id=KkoEAAAAQAAJ&hl=it&source=gbs_book_other_versions (18/05/18)
- [63] Grimal P.(2006) Enciclopedia della Mitologia, Le Garzantine Garzanti Libri Milano
- [64] Guzzi R. (1984) Intervista sul clima, Franco Muzio &C. editore Padova.
- [65] Halley E. (1687) An estimate of the Quantity of Vapour raised out of the Sea by the warmth of the Sun; Philosophical transactions of the Royal Society of London Transaction Vol. 16 pp. 366-370 https://library.si.edu/digital-library/book/philosophicaltr16roya (24/05/18).
- [66] Hufty A. (1979) La climatologia Collana paperbacks ricerca, scienze n. 17, Newton Compton Editori, Roma
- [67] Huurdeman, A. A. (2003) The Worldwide History of Telecommunications, Wiley-Blackwell, New York
- [68] Istituto e Museo di Storia della Scienza (a cura di) (2001) Scienziati a Corte. L'arte della sperimentazione nell'accademia galileiana del Cimento, 1657-1667 http://brunelleschi.imss.fi.it/cimento/risorse%5Citesticimento.pdf (03/10/16)
- [69] Jankowski J., Sucksdorff C. (1996) Guide For Magnetic Measurements And Observatory Practice, IAGA, Warsaw http://www.iaga-aiga.org/data/uploads/pdf/guides/iaga-guide-observatories.pdf (31/07/17)
- [70] Keith A. (1798) Description of a Thermometer, which marks the greatest of degree of heat and cold from one time of observation to another and may also register its own height at very instant, Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Vol. IV pp. 203-208 https://books.google.com/books?id=5TEeAQAAMAAJ (12/05/17)
- [71] Kingsley P. (2007) Misteri e magia nella filosofia antica. Empedocle e la tradizione pitagorica, Il Saggiatore, Milano
- [72] Knowles Middleton W.E. (1944) A brief history of the barometer, The Journal of Royal Astronomical Society of Canada, vol. 38 n. 2, pp. 41-64 http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1944JRASC..38...41K/0000042.000.html (09/02/17)
- [73] Knowles Middleton W.E. (1969) *Invention of Meteorological Instruments*, The Johns Hopkins Press, Baltimore, USA
- [74] Loudon J. C. (1829) The magazine of naturel history and journal of zoology botany, Vol II London pp. 71 https://books.google.it/books?id=PC6Vx4sD9BoC (16/5/18)

- [75] Maffeo S. (2001) Padre Angelo Secchie la meteorologia, in Presenze scientifiche illustri al Collegio Romano, Celebrazione del 125° anno di istituzione dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria Roma, 26 nov. 2001, pp. 21-31 http://cma.entecra.it/PreScen/Padre Angelo.htm (13/02/17)
- [76] Maracchi G. (a cura di) (1991) A brief history of meteorology in Florence from beginnings to the present, CNR-IATA e Cesia Accademia dei Georgofili, Firenze
- [77] Moiroux J. (1908) *Le Cimetière du Père Lachaise*, S. Mercadier, Paris https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6423517n/ (16/07/18)
- [78] Moscati P. (1790) Descrizione dell'osservatorio meteorologico eretto al fine dell'anno 1780 in "Memorie di Matematica e Fisica della Società Italiana" Tomo V pp. 356-381, stampato per Dionigi Ramanzini, Verona https://books.google.it/books?id=9KMqyJ4miUMC (08/05/17)
- [79] Mosio F. *Alexander von Humboldt*, voce su Enciclopedia on-line Treccani http://www.treccani.it/enciclopedia/alexander-von-humboldt/ (05/07/18)
- [80] Multhauf R. P. (1961) The Introduction of Self-Registering Meteorological Instruments, Contributions from The Museum of History and Technology: Paper 23, pp. 96-116, Washington DC http://www.ajhw.co.uk/books/book254/book254.html (17/02/17)
- [81] Pagano P. (2017) La rete osservativa del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, Parte I, Rivista di Meteorologia Aeronautica n.1, pp. 70-78
- [82] Peschier (1798) Extraits des expériences de Jurine sur les chauve-souris qu'on a privé de la vue, Journal de physique, de chimie, d'histoire naturelle et des arts, Tome III (Vol 46). pp. 145-148, https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015077781493;view=1up;seq=151 (12/01/18)
- [83] Pinna M. (1977) Climatologia, UTET, Torino
- [84] Poli G. S. (1817) Elementi di fisica sperimentale, Tomo IV, stampato da Andrea Santini e figlio, Venezia https://books.google.it/books?id=a4EIAAAAIAAJ&hl=it&pg=PA1#v=onepage&q&f=false (23/05/18)
- [85] Provenzale A. a cura di (2009) Clima, cambiamenti climatici globali e loro impatto sul territorio nazionale, Quaderni del CNR-ISAC, vol. I, Bologna
- [86] Proverbio E. (1997) Sul Gabinetto meteorologico e sulla specola meteorologica e astronomica di Pietro Moscati in Milano, Memorie della Società Astronomia Italiana, Vol. 68, pp. 543-572, http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1997MmSAI..68..543P (26/07/17)
- [87] Renzetti R. (2009) Fisica dell'atmosfera Parte I: da Aristotele a Lavoisier http://www.fisicamente.net/FISICA 1/index-1825.pdf (21/5/18)
- [88] Ricca G. (1976) Radar, in Enciclopedia Europea Garzanti Volume IX.
- [89] Rigge, W. F. (1918) Father Angelo Secchi, in Popular Astronomy, Vol. 26, pp. 589-598, nov. 1918. http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1918PA....26..589R (13/02/17)
- [90] Rivosecchi I. (1975) Osservazioni e strumenti di meteorologia, Vol. I, IFA DP n.5, ed. CNR-IFA, Roma
- [91] Roberts W. O., Landsford H.(1981) Il ruolo del Clima, Zanichelli, Bologna
- [92] Sarukhanian E. I., Walker J.M. (2011) The International Meteorological Organization (IMO) 1879-1950 https://public.wmo.int/en/about-us/who-we-are/history-IMO (23/05/2017)
- [93] Savelli D. (1983) Il Convento di Santa Maria degli Angeli a Firenze, Editoriale Tornatre, Firenze.
- [94] Savelli D., Nencioni R. (2008) Il Chiostro degli Angeli, Storia dell'antico monastero camaldolese di Santa Maria degli Angeli a Firenze, Edizioni Polistampa, Firenze.
- [95] Scherrer P. H. (1979) Solar variability and terrestrial weather, SUIPR Report NO. 786, Institute for Plasma Research, Stanford University, California http://www.dtic.mii/dtic/tr/fulltext/u2/a070962.pdf (31/07/2017).
- [96] Skolnik. M. I. (1972) Introduzione ai sistemi radar, Edizioni Bizzarri, Roma
- [97] Solimene U., Brugnoli A., Minelli E. (2002) Meteoropatie, red edizioni, Novara
- [98] Somenzi V. (1960) La scienza nel suo sviluppo storico, ERI, Torino
- [99] Spallanzani L. (1794) Lettere sopra il sospetto di un nuovo senso nei pipistrelli. Giornale de' letterati. Stamperia Reale, Torino, https://books.google.it/books?id=nYucKchNzIwC (12/01/18)
- [100] Strangeways I. (2010) A history of rain gauges, Weather, May 2010, Vol. 65, No.5, pp 133-138 http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wea.548/pdf (20/01/17)
- [101] Stuart J., Revett N. (1762) The Antiquities of Athens, London https://archive.org/download/antiqvitiesAthe1Stua/antiqvitiesAthe1Stua.pdf (19/01/17)
- [102] Suatoni B., Toreti A. (2005) L'omogeneizzazione delle serie annuali di temperatura, Rivista di Meteorologia Aeronautica n.4/2005, pp. 27-31

- [103] Tagliaferri G., Tucci P. (1990) Gli studi sul magnetismo terrestre in Italia tra 1830 e 1880, in A. Ballio, L. Paoloni (a cura di) Scritti di storia della scienza in onore di Giovanni Battista Marini-Bettolo nel 75° compleanno, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Roma http://media.accademiaxl.it/memorie/S5-VXIV-P1-2-1990/Tagliaferri-Tucci329-342.pdf (27/07/17)
- [104] Targioni Tozzetti G. (1780) Notizie degli aggrandimenti delle Scienze Fisiche accaduti in Toscana nel corso degli anni LX del secolo XVII, Tomo Primo, Firenze https://books.google.it/books?id=ATrPAAAAMAAJ (08/09/17)
- [105] Toraldo di Francia G. (1976) L'indagine del mondo fisico, Giulio Einaudi Editore, Torino
- [106] Tucci P., a cura di, (2000) *I cieli di Brera: astronomia da Tolomeo a Balla*, Collana: Università degli Studi di Milano, ed. Hoepli, Milano
- [107] Uberti M. (2012) Due passi nel mistero il libro! Antiche Civiltà, ed. Uberti
- [108] Ubertini L., Roda C. (2009) Padre Benedetto Castelli, il pluviometro e il lago Trasimeno, GeoItalia n.27, giugno 2009, pp. 17-18
- [109] Various Authors (1828) *Thermometer & Pyrometer*, Society for the diffusion of useful Knowledge, Baldwin and Cradock; London https://books.google.it/books?id=vo9TAAAAYAAJ (23/01/17)
- [110] Various Authors (1829) Arcana of Science, and Annual Register of the Useful Arts, Printed for J. Limbird, London https://books.google.it/books?id=bCMFAAAAQAAJ (11/01/18)
- [111] Vergari D. (2006) Contributo alla storia della meteorologia a Firenze. Le osservazioni meteorologiche fiorentine fra il 1751 e il 1813, in Annali di Storia di Firenze 2006, vol. I, ed. FUP, pp. 99-120
- [112] Viñas J. M. (2017) L'universo meteorologico: Uno scienziato tra le nuvole, EMSE, eBook
- [113] Vitruvio Pollione M. (1790) *De Architettura*, traduzione di B. Galliani, Tipografia Fratelli Terres, Napoli

 http://www.antichefornaci.it/files/biblioteca/Marco_Vitruvio_Pollione_Galiani_De_architectura_tradotto_ecommentato_1790.pdf (17/01/17)
- [114] Vittori O., Mestitz A. (1981) The calibration of the 'Florentine Little Thermometer, Endeavour Vol. 5, n. 3 pp. 113-118
- [115] Wilson D.E., Reeder D.M. (2005) Pteropodidae, in Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference, 3^a ed., Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA
- [116] WMO (1973) One Hundred Years of International Co-Operation in Meteorology. A Historical Review, WMO n. 345, Geneva, Switzerland, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4121 (08/11/2018)
- [117] WMO (1981) Papers presented at the Second WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECIMO II), Mexico City, 13-17 Oct. 1981, Instruments and observing methods Report n. 9, Geneva, Switzerland http://library.wmo.int/pmb_ged/iom_09_en.pdf (12/12/17)
- [118] WMO (1993) Guide on the Global Data-Processing System (GDPS), WMO n. 305, Geneva, Switzerland, https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_305_en.pdf (16/09/18)
- [119] WMO (2012) Manual on Marine Meteorological Services, WMO n. 558, Geneva, Switzerland https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_558_en-v1.pdf (15/12/17)
- [120] WMO (2014) Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO n.8, edition 2014, update 2017, Geneva, Switzerland https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12407#.XFMNbVxKhPZ (06/07/17)
- [121] Ximenes L. (1786) Raccolta delle perizie ed opuscoli idraulici del signor abate Leonardo Ximenes alla quale si aggiungono le perizie di altri professori che hanno scritto sulle stesse materie, Tomo II, Stamperia di Pietro Allegrini alla Croce Rossa, Firenze https://books.google.it/books?id=ukjtO4zTirsC (12/06/18)
- [122] Young C. A. (1898) The Sun, D. Appletown and Company, seconda edizione, New York https://archive.org/details/sunyoung00youn (26/07/17)

Sitografia

- [1001] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sanzio 01.jpg (04/07/2017) pubblico dominio @
- [1002] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meteory_1_wisnia6522.jpg (17/12/16) GNU Free Documentation License, Author Wisniowy
- [1003] https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=317560 (17/01/17) Pubblico dominio
- [1004] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo-sustermans2.jpg (19/10/2017) pubblico dominio ©
- [1005] <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Evangelista Torricelli by Lorenzo Lippi (circa 1647, Galleria Silvano Lodi %26 Due).jpg (04/07/2017) pubblico dominio @
- [1006] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Federico Cesi.jpg (04/07/2017) pubblico dominio @
- [1007] http://www.shorstmeyer.com/msj/geo165/met hist.pdf (22/09/2017)
- [1008] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait_Ferdinando_II_de_Medici.jpg (19/01/17)

 Pubblico dominio ©
- [1009] https://etc.usf.edu/clipart/26200/26251/pluviometer 26251.htm (15/06/2017)
- [1010] https://www.istitutomontani.gov.it/museovirtuale/igrometro_daniell111/ (04/05/2018)
- [1011] http://hairesis.blog.tiscali.it/2008/11/17/la_torre_dei_venti_1945845-shtml/ (04/05/2017)
- [1012] https://su18galileigo.blogspot.it/2015/05/anemometro-e-anemoscopio.html (04/05/2017)
- [1013] http://digilander.libero.it/debibliotheca/Arte/Leonardofly_file/slide0047_image053.jpg (04/07/2017)
- [1014] http://www.arts-et-metiers.net/musee/anemometre-de-pajot-marquant-la-direction-et-la-vitesse-du-vent-sur-2-bandes-de-papier (23/01/2017)
- [1015] https://ich1104grupo45.wordpress.com/presentacion-del-tema/ (23/01/2017)
- [1016] http://www.scientificsales.com/Rain101A-Rainfall-Data-Logging-System-p/rain101a.htm (10/02/2017)
- [1017] http://www.meteo.roma.it/public/meteoroma/immagini/wmo/wmo1.jpg (10/02/2017)
- [1018] https://solar-club.web.cern.ch/solar-club/visites/2004/visite23-OMM.htm (10/02/2017)
- [1019] http://www.directindustry.it/prod/sommer-messtechnik-gmbh/product-187694-1837320.html (04/07/2017)
- [1020] http://www.autorita.bacinoserchio.it/misure_di_livello/caratteristiche_idrometri/singolo/?ids=730959 (04/07/2017)
- [1021] http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Austen Henry Layard (21/06/17)
- [1022] https://public.wmo.int/en/about-us/governance (20/06/17)
- [1023] https://public.wmo.int/en/about-us/members (04/07/2017)
- [1024] http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/IMOP-home.html (20/06/17)
- [1025] http://www.wmo.int/pages/prog/www/BAS/CBS-info.html (20/06/17)
- [1026] http://worldweather.wmo.int/en/home.html (20/06/17)
- [1027] http://worldweather.wmo.int/en/apps.html (20/06/17)
- [1028] http://www.leopoldina.org/de/leopoldina-home/ (05/05/2017)
- [1029] https://royalsociety.org/ (05/05/2017)
- [1030] http://www.academie-sciences.fr (05/05/2017)
- [1031] http://www.bibliotecheoggi.it/pdf.php?filepdf=20080504101.pdf (07/07/2017)
- [1032] http://www.wmo.int/
- [1033] http://cma.entecra.it/PreScen/Padre Angelo.htm Ritratto di Angelo Secchi (25/07/2017)
- [1034] https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/index.html#q11 (31/07/2017)
- [1035] http://www.lombardiabeniculturali.it/scienza-tecnologia/schede/s6010-00011/ Magnetometro di Gauss (31/07/2017)
- [1036] http://www.lombardiabeniculturali.it/scienza-tecnologia/schede/s6010-00010/ Inclinometro di Lenoir (31/07/2017)
- [1037] https://catalog.hathitrust.org/Record/009713833?type%5B%5D=author&lookfor%5B%5D=%2 https://catalog.hathitrust.org/Record/009713833?type%5B%5D=author&lookfor%5B%5D=%2 https://catalog.hathitrust.org/Record/009713833?type%5B%5D=author&lookfor%5B%5D=%2 https://catalog.hathitrust.org/Record/009713833?type%5B%5D=author&lookfor%5B%5D=%2 <a href="https://catalog.hathitrust.org/Record/009713833?type%5B%5D=author&lookfor%5B%5D=%2 <a href="https://catalog.hathitrust.org/Record/009713833?type%5B%5D=author&lookfor%5B%5D=author&lookfor%5B%5D=%2 <a href="https://catalog.hathitrust.org/Record/009713833?type%5B%5D=author&lookfor%5B%5D=
- [1038] http://ader.auction.fr/_fr/lot/collection-academique-hellip-4188679#. WbepMNFLeUk (11/09/2017)

- [1039] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A practictioner of Mesmerism using Animal Mag netism Wellcome V0011094.jpg (15/11/2018) © Creative Commons CC0 [1040] https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k85074c/f3.image.texteImage (19/12/2018) [1041] http://starlight.inaf.it/artwork/roma-magnetometro-a-bilancia/ (12/09/2017) [1042] https://catalogo.museogalileo.it/approfondimento/Igrometro.html (30/11/2017) [1043] https://www.delta-t.co.uk/product/bf5/ (13/12/2017) https://www.antik.it/Strumenti-misura-antichi/2892-Antico-anemometro/ (30/04/2018) [1044] [1045] http://www.fisicamente.net/FISICA 1/index-1836.htm [1046] http://www.mitidelmare.it/FOTO%20GRANDI/Macchine Leonardo c/Targa igrometro.jpg [1047] https://it.wikisource.org/wiki/Lettera a Galileo Galilei (20 agosto 1639) (14/05/2018) [1048] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e9/International Morse code.png (30/04/2018) © Creative Commons CC0 [1049] http://www.georgofili.it (22/05/18) [1050] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/it/5/51/Telegrafo chappe louvre.jpg (06/07/2018) http://i52.tinypic.com/20kqbna.jpg (06/07/2018) [1051] [1052] Ferruzzi F. - Dal telegrafo primordiale https://www.ik0dwj.it/shack/morse/dal-telegrafoprimordiale/ (06/07/2018) [1053] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:P%C3%A8re-Lachaise - Division 4 - Pouillet-Pichon 02.jpg (16/07/2018) [1054] https://pantelegrafo.wordpress.com/ (16/07/2018) [1055] https://www.findagrave.com/memorial/81138245/leonard-dunnell-gale (17/07/2018) [1056] http://orbiter.it/cms/telespazio-per-meteosat-3a-generazione/ (16/02/2017) [1057] https://books.google.it/books?id=nTEeAQAAMAAJ&lpg=PA247&ots=ZpJtOafiz&dq=daniel%20rutherford%20thermometer&hl=it&pg=PA247#v=onepage&q=daniel%20ruth erford%20thermometer&f=false (18/11/2018)
- 0of%20middle%20balilish&f=false (18/11/2018) [1059] http://www.nimbus.it/articoli/anticasmi.htm (21/11/2018)
- [1060] http://disf.org/autori/francesco-denza (21/11/2018)
- [1061] https://www.climatewatchdata.org/ (28/11/2018)

[1058]

- [1062] http://cait.wri.org/docs/CAIT2.0 CountryGHG Methods.pdf (28/11/2018)
- [1063] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc sar wg I full report.pdf (28/11/2018)

https://books.google.it/books?id=HVFBAAAAYAAJ&lpg=PA435&ots=Yx1FCieJok&dq=john%20rutherford%20of%20middle%20balilish&hl=it&pg=PP9#v=onepage&q=john%20rutherford%2