

## **Le avanguardie dell'atmosfera: breve storia della meteorologia**

*di Francesco Ginanneschi, studente del Master in Divulgazione Scientifica dell'Università di Siena*

*Revisione a cura del dott. Luigi Bignami, divulgatore scientifico*

### **- Introduzione**

La meteorologia moderna è la scienza che studia l'atmosfera terrestre e in particolare i fenomeni che avvengono nella parte più bassa di essa, ossia la troposfera<sup>1</sup>. La meteorologia non si limita alla mera ricognizione di quanto avviene sulla verticale di un dato luogo in un certo momento. Se così fosse, perderebbe buona parte del fascino e dell'ambizione che la caratterizza. La vera sfida che ne segna ancora la storia, infatti, è quella di fornire all'uomo la conoscenza del futuro. Una simile suggestione è stata a lungo dominio delle pratiche divinatorie, dalla magia e di tutto l'armamentario proprio delle forme prescientifiche di approccio alla natura. Oggi invece, grazie alla conoscenza delle dinamiche atmosferiche sia da osservazioni a terra che dallo spazio e alla formulazione di modelli fisico-matematici elaborati per mezzo di raffinate strumentazioni informatiche, è possibile prevedere lo stato del tempo in ogni località fino ad alcuni giorni. Essendo però l'atmosfera un sistema caotico di variabili ad elevatissima complessità, le previsioni meteorologiche non possono mai, neppure a brevissimo termine, confezionare un risultato assolutamente certo; esse sono inevitabilmente, per quanto sempre più attendibili, una stima probabilistica.

Il racconto di come l'uomo abbia raggiunto la parziale padronanza del tempo meteorologico è una storia avventurosa che, partendo dalle ancestrali credenze dei nostri antenati, si è dipanata attraverso l'ingegno di autentici pionieri del progresso tecnologico.

### **- Preistoria, Antichità e Medioevo**

Si può supporre che nei tempi remoti l'osservazione del tempo atmosferico fosse sia una curiosità dettata dalla meraviglia che una necessità imposta dalle esigenze dell'alimentazione e della sopravvivenza. Prestare attenzione al regime delle temperature, dei venti e delle piogge, alla portata dei corsi d'acqua e alla disponibilità delle risorse voleva dire occuparsi dei fattori da cui dipendevano l'abbondanza dei raccolti, la possibilità di sfamare la comunità e di contare sulle ricchezze derivanti dal commercio. Quanto considerato è peraltro tuttora valido, perché la stabilità economica dipende ancora in larga misura dalla variabile climatica.

---

<sup>1</sup> Cfr. <https://www.youtube.com/watch?v=9LrZXMtaLkE>

Ma le energie del cielo divennero presto centrali anche in una prospettiva superiore. Infatti, molte delle più potenti divinità oggetto di culto nei risalenti pantheon esercitavano la loro signoria sugli elementi atmosferici. Il fenomeno è attestato ai quattro angoli del globo.

È stato ipotizzato che i primordi della divinizzazione delle forze del cielo possa collocarsi nell'epoca del cosiddetto Dryas recente, una fase durata poco più di mille anni intorno all'11000- 9000 a.C., in cui, successivamente a un'epoca più mite e stabile, il contesto climatico tornò a farsi severo, con un notevole raffreddamento e condizioni di sussistenza in drastico deterioramento per le comunità umane. Fu l'ultima fase della Glaciazione di Wurm. Successivamente è attestata l'apparizione di culti orientati verso le intemperie, che nei millenni a seguire entrarono nelle mitologie e nelle religioni di diverse civiltà<sup>2</sup>. Senza pretese di completezza, si possono ricordare alcune delle entità soprannaturali di tipo climatico che emersero presso popoli pagani molto lontani tra loro: Enlil, il signore delle tempeste e dei venti sumero il cui culto fu in seguito abbracciato presso tutte le società dell'antica Mesopotamia in posizione preminente rispetto agli altri dei; Indra, la divinità vedica adorata in India che regnava sul cielo e controllava i fulmini e le piogge; Tlaloc, il dio azteco della pioggia e della fertilità, responsabile tanto delle alluvioni che delle siccità; Taranis, la divinità celtica del tuono, munita di ruota e venerata anticamente nell'Europa occidentale, dal Piemonte alle Isole Britanniche; Thor, il dio scandinavo armato del leggendario martello e personificazione del tuono, della tempesta e della folgore, il cui passaggio era non a caso segnalato dal fragore degli elementi atmosferici; infine la variante mediterranea e greco-latina del medesimo concetto di divinità suprema legata alla potenza del cielo, ossia Zeus/Giove, re dell'Olimpo e governatore delle turbolenze aeree, iconicamente raffigurato nell'atto di scagliare saette.

È comprensibile, dunque, che se la sofisticata tecnica predittiva del tempo è materia assai giovane, l'interesse dell'uomo per i fenomeni atmosferici e i tentativi di spiegarli secondo concezioni prescientifiche sono invece enormemente più antichi. Le grandi civiltà, infatti, oltre a costruire credenze religiose e ad attribuire agli dei la capacità di plasmare il cielo, tentarono di avventurarsi nella teorizzazione di meccanismi che rendessero comprensibile il funzionamento della natura alle alte quote sopra la superficie della Terra.

Andando a ritroso sino al II millennio a.C., si trova notizia di osservazioni meteorologiche compiute con una certa regolarità in Asia, sotto le dinastie imperiali della Cina e in Mesopotamia. Ai cinesi di quel tempo interessava prevedere l'avvicendamento delle stagioni studiando i movimenti delle stelle<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Cfr. W. Behringer, *Storia culturale del clima – Dall'era glaciale al riscaldamento globale*, Torino, Bollati Boringhieri, 2010, pagg. 65 e 66.

<sup>3</sup> Cfr. <http://www.centrometeo.com/articoli-reportage-approfondimenti/tributo-baroni/4126-storia-meteorologia>

e sono giunte a noi cronache dettagliate della nuvolosità e del comportamento dei venti, parametri di cruciale importanza anche nei moderni studi sul sistema terre emerse – mari – aria.

Dall' Oriente babilonese provengono invece testimonianze archeologiche sotto forma di tavolette di argilla su cui venivano trascritti i fenomeni osservati e sintetiche interpretazioni filtrate dalle cognizioni allora in possesso dei proto-meteorologi. Una, in particolare, riporta: “*Quando il Sole è circondato da un alone, sta per cadere la pioggia. Quando le nuvole oscurano il cielo, sta per soffiare il vento.*”<sup>4</sup>

È evidente il carattere empirico di simili osservazioni, che tuttavia ci restituiscono tutto il fascino di un antichissimo interesse che accompagna l'uomo da millenni.

Se da un lato lo studio dei fenomeni naturali scaturiva da necessità pratiche (ad esempio la temperatura e le piogge influenzavano l'agricoltura mentre dai venti e dalle tempeste dipendeva la navigazione), è vero d'altra parte come a un certo punto esso sia entrato a far parte di indagini filosofiche sul mondo fisico.

I filosofi greci posero come basi della realtà materiale i canonici quattro elementi: acqua, aria, terra e fuoco. Nei primi secoli dell'età classica, i filosofi presocratici avanzarono varie teorie empiriche fondate sull'osservazione per spiegare in che modo gli elementi si combinassero tra loro per muovere gli ingranaggi della materia. Fu però solo con Aristotele (384 a.C. – 322 a.C.) che si formalizzò la prima trattazione organica del tema meteorologico, in un'opera dal titolo eloquente e per secoli riferimento dominante, ossia la *Meteorologia*. In questo trattato, le concezioni elaborate in precedenza dai filosofi naturalisti greci e nelle società del vicino oriente, come quella egizia e quella babilonese, sono esposte, combinate e in qualche caso confutate per descrivere l'architettura della Terra e dell'universo. La Terra aristotelica è il fulcro di una serie di sfere concentriche le cui rotazioni producono gli avvicendamenti nella volta celeste; la Luna è il corpo di confine, la frontiera tra il cosmo e la Terra. Di conseguenza i fenomeni meteorologici, verificandosi più in basso rispetto alle sedi degli astri, appartengono alla regione sublunare e alla Terra. I quattro elementi classici, secondo questo disegno, agirebbero con continui vicendevoli scambi di energie che determinano i fenomeni che si osservano nell'aria.<sup>5</sup>

In epoca romana, le riflessioni sull'atmosfera non misero in dubbio gli insegnamenti aristotelici. L'opera più ampia e corposa è probabilmente la *Naturalis Historia* di Plinio il Vecchio (23 d.C. – 79 d.C.), un monumentale trattato in 37 libri che tocca molte ramificazioni del sapere scientifico dell'epoca e dedica un significativo spazio anche alla meteorologia. Sempre nel primo secolo d.C.,

---

<sup>4</sup> Cfr. In collaborazione con il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, *Atlante del clima e della meteorologia*, Milano, Giunti, 2025, pag. 114.

<sup>5</sup> Cfr. [https://www.treccani.it/enciclopedia/le-teorie-meteorologiche\\_\(Storia-della-civilt%C3%A0-europea-a-cura-di-Umberto-Eco\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/le-teorie-meteorologiche_(Storia-della-civilt%C3%A0-europea-a-cura-di-Umberto-Eco)/)

più o meno coevo all'opera di Plinio è il trattato *Naturales quaestiones* di Seneca (4 a.C. – 65. d.C.), altra pietra miliare della sapienza classica. Intrisa di morale stoica, l'opera invita allo studio della natura (in cui rientrano i fenomeni propri del cielo e dell'atmosfera) per amore di conoscenza, per innalzare l'animo e contribuire alla liberazione dell'uomo dalla superstizione, esortando a uno stile di vita virtuoso fondato sulla pratica razionale<sup>6</sup>.

Nell'Alto Medioevo non si registrarono significativi sviluppi sul tema, se non la prosecuzione (mai interrotta, a dire il vero) delle osservazioni del tempo trascritte nelle cronache. Dopo l'anno 1000, nel generale contesto della ripresa economica e civile dell'Europa e di apertura del Vecchio Continente verso i nuovi mondi da raggiungere via terra o via mare, nel rapporto con l'atmosfera si affacciarono nuovi sussulti. Risultano significative le osservazioni effettuate tra il 1337 e il 1344 dall'inglese William Merle e il suo tentativo di dare uno slancio predittivo, partendo comunque dai grandi pensatori dell'Antichità.<sup>7</sup>

Sul finire del Medioevo, alcuni eventi epocali impressero una svolta duratura al modo di affrontare il discorso intorno alla meteorologia. L'epoca delle grandi scoperte geografiche, segnata dall'apertura di nuove rotte transoceaniche, è quella in cui gli intrepidi equipaggi delle flotte salpate dall'Europa tengono registri di bordo in cui descrivono con dovizia di particolari le condizioni atmosferiche incontrate. Questo crea conoscenze accurate relativamente alla circolazione dei venti e delle correnti marine al variare della latitudine. Ma per la prima volta nella storia, tali conoscenze trovano la possibilità di raggiungere un pubblico più ampio sfruttando una grande innovazione tecnologica, ossia la stampa a caratteri mobili. Nel moltiplicarsi delle pubblicazioni, riscuotono un vasto successo gli almanacchi, con le loro collezioni di notizie sulla natura.

## - **Età Moderna**

L'Età Moderna è ricordata come l'epoca in cui l'affermazione della fisica sostituisce le millenarie speculazioni filosofiche sul funzionamento della materia con leggi precise e meccaniche. Nei suoi circa trecento anni, si sono concretizzate tante delle invenzioni e delle intuizioni che hanno preparato il terreno per la meteorologia operativa del Ventesimo secolo. Se ne può fare una cronologia, per forza di cose parziale e limitata ai contributi più significativi: intorno al 1480 (agli sgoccioli del Medioevo) compare il disegno di un igrometro (lo strumento per la misurazione dell'umidità dell'aria) nel Codice Atlantico di Leonardo da Vinci (1452 – 1519)<sup>8</sup>, ma prototipi del medesimo strumento circolavano già

---

<sup>6</sup> Cfr. [https://www.treccani.it/enciclopedia/le-teorie-meteorologiche\\_\(Storia-della-civilt%C3%A0-europea-a-cura-di-Umberto-Eco\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/le-teorie-meteorologiche_(Storia-della-civilt%C3%A0-europea-a-cura-di-Umberto-Eco)/)

<sup>7</sup> Cfr. <http://www.centrometeo.com/articoli-reportage-approfondimenti/tributo-baroni/4126-storia-meteorologia> e <https://www.encyclopedia.com/science/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/william-merle>

<sup>8</sup> Cfr. <https://museoleonardiano.it/opera/igrometro/>

da alcuni decenni; nel 1607 Galileo Galilei (1564 – 1642) inventa il primo rudimentale termometro, o meglio termoscopio, funzionante con un fluido sensibile al calore ma privo di scala graduata, mentre alcuni anni dopo il medico Santorio Santori (1561 – 1636) costruisce il primo termometro clinico in grado di misurare la temperatura corporea<sup>9</sup>; la rilevazione della pressione atmosferica mediante barometro ad acqua esordisce invece nel 1641 ad opera di Giovanni Battista Baliani (1582 – 1666), mentre appena due anni dopo compare il primo barometro a mercurio, la cui paternità appartiene ad Evangelista Torricelli (1608 – 1647)<sup>10</sup>; nel 1654 il Granduca di Toscana Ferdinando II de' Medici (1610 – 1670) istituisce a Firenze una stazione meteorologica che diventa capofila della prima rete italiana ed europea di osservatori atmosferici, che basandosi su procedure uniformi nella raccolta coordinata e su vasta scala di dati provenienti da punti geografici diversi, inaugura per così dire la meteorologia sinottica<sup>11</sup>; la fecondità del contesto toscano seicentesco in campo fisico si consolida ulteriormente con i lavori dell'Accademia del Cimento a Firenze, i cui membri, tra le altre cose, completano il termometro galileiano dotandolo di scala di misurazione e compiono vari esperimenti ispirandosi al metodo del maestro pisano; nel 1659 il fisico irlandese Robert Boyle (1627 – 1691) formula l'omonima legge di trasformazione dei gas a temperatura costante, cruciale per la comprensione del comportamento delle masse d'aria; in Europa fioriscono le accademie e le società scientifiche: oltre alla già citata Accademia del Cimento, nel 1660 viene fondata la Royal Society britannica, nel 1666 l'Accademia francese delle scienze e nel 1780 la Società Meteorologica Palatina a Mannheim, ma vanno costituendosi anche nuove reti di stazioni meteorologiche che si scambiano i dati in una cornice di libera circolazione della conoscenza; nel 1724 il fisico tedesco Daniel Fahrenheit (1686 – 1736) propugna il moderno termometro a mercurio ed è il padre dell'omonima scala di temperatura, mentre l'altra fondamentale scala termometrica è figlia dello scienziato svedese Anders Celsius (1701 - 1744), altresì ideatore del grado centigrado<sup>12</sup>; nel 1735 il fisico inglese George Hadley (1685 – 1768) fornisce un contributo decisivo allo sviluppo della scienza meteorologica in un articolo per la Royal Society in cui illustra il meccanismo dei venti alisei, da cui discende la teoria sulla circolazione generale dell'atmosfera mediante la comprensione di quella che in suo onore è stata battezzata Cella di Hadley, ossia il processo di tipo convettivo che governa gli spostamenti delle masse d'aria comprese tra l'Equatore e le fasce a latitudini tropicali<sup>13</sup>; nel 1738 il matematico svizzero Daniel Bernoulli (1700 – 1782) applica per primo la teoria cinetica dei gas<sup>14</sup>; è del 1752 uno dei più

---

<sup>9</sup> Cfr. [https://www.storicang.it/a/1611-santorio-inventa-il-termometro-clinico\\_14899](https://www.storicang.it/a/1611-santorio-inventa-il-termometro-clinico_14899)

<sup>10</sup> Cfr. A. Giuffrida, G. Sansosti, *Manuale di meteorologia*, Roma, Gremese, 2016, pag. 37.

<sup>11</sup> Cfr. <https://brunelleschi.imss.fi.it/itinerari/itinerario/meteorologiafirenze.html>

<sup>12</sup> Cfr. <https://scienzapertutti.infn.it/rubriche/biografie/756-daniel-gabriel-fahrenheit>

<sup>13</sup> Cfr. <https://www.britannica.com/science/Hadley-cell> e <https://www.isac.cnr.it/dinamica/davolio/tmp/Didattica/15-Circolazione.pdf>

<sup>14</sup> Cfr. <https://www.aif.it/fisico/daniel-bernoulli/>

iconici e rischiosi esperimenti della storia, quando Benjamin Franklin (1706 – 1790) fa volteggiare un aquilone tra le nubi temporalesche, dimostrando la natura elettrica delle folgori e preconstituendo le basi per l'approntamento dei futuri parafulmini a protezione degli edifici<sup>15</sup>.

#### - **Dal XIX secolo ai giorni nostri**

Nell'Ottocento si prosegue a grandi passi sul sentiero di progresso delle conoscenze scientifiche che conduce la meteorologia ad avvicinarsi alla realtà odierna: nel 1805, l'ammiraglio ed esploratore britannico Francis Beaufort (1774 – 1857) crea un sistema di misura, che tuttora porta il suo nome, per quantificare la forza dei venti; nel 1835 il fisico francese Gaspard Gustave de Coriolis (1792 – 1843) presenta la teoria sull'omonima forza, legata alla rotazione terrestre e da cui dipende lo spostamento delle masse d'aria<sup>16</sup>; nel 1856 il meteorologo statunitense William Ferrel (1817 – 1891), combinando i contributi di Hadley e di Coriolis, perviene alla scoperta del sistema convettivo di rimescolamento dell'aria in azione alle medie latitudini, intitolato in suo onore Cella di Ferrel, da cui anche l'omonima legge sulla deviazione dei corpi in movimento<sup>17</sup>; nell'ultimo quarantennio del XIX secolo inizia la conquista dell'aria, con i primi equipaggi che si librano in volo a bordo di palloni sonda dotati di strumentazioni per la rilevazione dei parametri fisici; sul finire del secolo, su impulso dei religiosi Filippo Cecchi (1822 – 1887) e Francesco Denza (1834 – 1894), viene fondata la Società Meteorologica Italiana. Istituito nel 1865 presso il Ministero della Marina del neonato Regno d'Italia un Ufficio Centrale di Meteorologia con compiti di raccolta e coordinamento delle osservazioni provenienti dalle stazioni sparse lungo la Penisola e nelle Isole, nel 1876 è la volta del Regio Ufficio Centrale di Meteorologia deputato all'osservazione del tempo, all'analisi sinottica e a primitive forme di previsione, mentre a partire dal 1880 l'Istituto Idrografico della Marina prende in carico i servizi meteo legati alla navigazione. Dagli anni '10 e '20 del Novecento, la storia del servizio pubblico meteorologico italiano si lega indissolubilmente con quella dell'Aeronautica militare<sup>18</sup>.

Tornando al discorso prettamente storico-scientifico, è stato il Novecento il secolo del trionfo della meteorologia operativa. Con questa locuzione si intende quella branca preposta a realizzare le due caratteristiche principali della scienza meteorologica contemporanea, ossia la capacità predittiva circa lo stato del tempo in un ragionevole arco di tempo futuro e la spendibilità delle informazioni ricavate per applicazioni pratiche nei vari aspetti della vita quotidiana.

Le premesse sono state gettate da alcune scuole di pensiero. Subito dopo la Prima Guerra Mondiale, nasce la cosiddetta Scuola norvegese, con epicentro nella città di Bergen, che vede all'opera un

---

<sup>15</sup> Cfr. <https://www.uninettunouniversity.net/allegati/1/ricercatori/assante/abstract%20pubblicazioni/Fulminologia.pdf>

<sup>16</sup> Cfr. <https://www.meteosvizzera.admin.ch/chi-siamo/meteosvizzera-blog/it/2024/03/coriolis.html>

<sup>17</sup> Cfr. <https://www.meteosvizzera.admin.ch/chi-siamo/meteosvizzera-blog/it/2023/08/circolazione-globale-pt2.html>

<sup>18</sup> Cfr. <https://www.meteoam.it/it/cenni-storici>

gruppo di fisici guidati da Vilhelm Bjerknes (1862 – 1951). Costoro intuirono che per una meteorologia capace di compiere un avanzamento in termini previsionali è necessario ampliare la base sinottica, quindi disporre di dati provenienti da aree geografiche molto vaste e svilupparli in mappe e modelli di evoluzione dello stato dell'atmosfera. Alla Scuola di Bergen fa capo la fondamentale teoria del fronte polare (la linea di demarcazione, nell'Emisfero Boreale, tra l'aria fredda in discesa dal Polo Nord e quella calda in risalita dal Tropico del Cancro) e della formazione dei cicloni extratropicali<sup>19</sup>.

Negli anni '30 e '40, l'inglese Reginald Sutcliffe (1904 -1991) introduce il concetto di sviluppo baroclinico, con cui i presupposti dei norvegesi sono portati ad esiti ulteriori. Cercando di sintetizzare al massimo, un'atmosfera si dice di tipo baroclinico quando la sua densità dipende dalle variabili della pressione e della temperatura. Ciò è tipico dei climi delle medie latitudini e delle zone polari, in contrapposizione alle fasce tropicali, barotropiche, ossia connotate da un comportamento della densità atmosferica collegato unicamente alla pressione. Ora, la teoria baroclinica è cruciale per spiegare l'innescare delle perturbazioni e dei centri di bassa pressione nelle fasce fredde e temperate, ossia la ciclogenesi. Rispetto alla Scuola norvegese classica, la nuova teoria evidenzia come la produzione di instabilità nei bassi strati atmosferici (ossia al suolo) sia il risultato della propagazione di un impulso lungo la colonna d'aria innescato ad alta quota. La distribuzione delle differenze di temperatura dell'aria alle varie quote (il gradiente termico) porta alla formazione del sistema frontale e del vortice ciclonico<sup>20</sup>.

La Seconda Guerra Mondiale rappresentò un banco di prova e una svolta per le capacità di analisi e di previsione del tempo atmosferico. Le due principali operazioni anfibe del conflitto (nonché le più grandi mai organizzate nella storia), cioè gli sbarchi in Sicilia e in Normandia, furono decise anche dall'abilità dei comandi alleati di sfruttare le contingenze atmosferiche. Per quanto riguarda le manovre navali nel Mediterraneo, la squadra meteorologica angloamericana con base a Malta aveva previsto sin dall'8 luglio 1943 il passaggio sull'Italia di una massa polare. La ventilazione era intensa e lo stato di agitazione del mare sembrò in un primo momento lasciar propendere per il rinvio dell'assalto, vista la difficoltà dei convogli di affrontare le onde. Ciò risultò fatale per le forze dell'Asse, che si illusero che l'operazione nemica non avrebbe avuto luogo. Ma il calo dei venti e il ritorno del mare a condizioni praticabili permisero alle flotte alleate di salpare in sicurezza e di abbordare le coste sicule, dando il via all'Operazione Husky il 10 luglio. A risultare decisiva fu la

---

<sup>19</sup> Cfr. [https://www.meteorologia.it/meteocuriosando/storia\\_delle\\_previsioni\\_del\\_tempo.htm](https://www.meteorologia.it/meteocuriosando/storia_delle_previsioni_del_tempo.htm)

<sup>20</sup> Cfr. [https://www.meteorologia.it/meteocuriosando/storia\\_delle\\_previsioni\\_del\\_tempo.htm](https://www.meteorologia.it/meteocuriosando/storia_delle_previsioni_del_tempo.htm) e <https://www.meteoam.it/it/in-primo-piano/il-parametro-termico-frontale---un-utile-tracciante-dei-sistemi-frontali>

capacità dei meteorologi di prevedere con precisione le tempistiche del peggioramento e di garantire il ritorno delle condizioni ottimali per rendere possibile il coronamento dell'impresa<sup>21</sup>.

Nel 1944, la realizzazione dell'Operazione Overlord necessitava di alcune precondizioni ambientali fortemente auspicabili: bassa marea, luna piena e mare calmo o poco mosso. Nella data inizialmente prescelta per lo sbarco, il 5 giugno, sul Canale della Manica il tempo era perturbato a causa del passaggio di un fronte collegato a una bassa pressione in movimento sulle Isole britanniche. Il Comandante Supremo delle Forze Alleate in Europa, il generale Eisenhower (1890 – 1969), acconsentì a rinviare di 24 ore lo sbarco, sulla base dei bollettini meteorologici che indicavano ampie schiarite per il giorno 6. In realtà, il 6 giugno lo stato del tempo era ancora piuttosto incerto, pur se in miglioramento. La decisione di dare avvio all'operazione fu accolta con sorpresa dalle forze naziste, che ancora una volta risultarono tratte in errore, con conseguenze per loro letali<sup>22</sup>.

La storia della meteorologia vista sin qui è stata contrassegnata da un approccio perlopiù empirico nei riguardi delle previsioni del tempo, ossia basato sull'osservazione presente e sul tentativo di indovinare lo stato futuro attraverso un meccanismo, per così dire, analogico: se in un giorno passato la dinamica è stata *analogica* a quella che si vede oggi, si può supporre che domani evolva come in passato<sup>23</sup>. I limiti di questo approccio sono evidenti: rintracciare una situazione analoga è un'impresa defaticante, spesso non è possibile individuarla e in ogni caso non esiste alcuna certezza fisicamente fondata del fatto che l'evoluzione debba coincidere. Il primo scienziato che provò a scardinarlo, tentando nel 1922 il primo ricorso a un sistema modellistico basato su equazioni, fu il fisico e matematico inglese Lewis Fry Richardson (1881 – 1953). Richardson propose un radicale cambio di paradigma. La previsione sullo stato futuro del sistema atmosferico non doveva fondarsi su improbabili (e pressoché impossibili) ricerche a ritroso sino a individuare una configurazione identica a quella attuale, bensì sull'applicazione delle formule matematiche della termodinamica e dell'idrodinamica ai movimenti dell'aria. Partendo quindi dai valori attuali di una serie di parametri (pressione, temperatura, umidità, ecc...), la tendenza diventa ricavabile risolvendo le equazioni raggruppate preliminarmente in un insieme<sup>24</sup>. A quei tempi, però, uno sforzo di calcolo così intenso era proibitivo. Sarebbe diventato praticabile e normale solo decenni dopo, con la disponibilità di calcolatori sempre più potenti.

---

<sup>21</sup> Cfr. V. Levizzani, *Storia del mondo in dieci tempeste – Nebbia, uragani e grandi battaglie*, Milano, Il Saggiatore, 2025, pagg. 156-160.

<sup>22</sup> Cfr. V. Levizzani, *op. cit.*, pagg. 163-167; <https://www.meteo.expert/news/curiosita/d-day-sbarco-normandia-meteorologi/>; <https://www.old.unina.it/-/1329659-eisenhower-la-storia-e-le-previsioni-del-tempo>

<sup>23</sup> Cfr. <http://tnt.phys.uniroma1.it/twiki/pub/TNTgroup/AngeloVulpiani/Richardson-PRISTEM.pdf>

<sup>24</sup> Cfr. A. Giuffrida, G. Sansosti, *op. cit.*, pagg. 108 e 109; <http://tnt.phys.uniroma1.it/twiki/pub/TNTgroup/AngeloVulpiani/Richardson-PRISTEM.pdf>

Dopo la Seconda guerra mondiale, le esigenze di calcolo a fini militari emerse nel conflitto portarono all'apparizione, nel 1946, del primo prototipo di supercomputer: ENIAC (*Elettronic Numerical Integrator and Computer*). Tramite questa macchina, nel 1950 fu possibile realizzare la prima previsione meteorologica su base numerica rivolta alle successive 24 ore. Fu dunque fissato lo standard metodologico della previsione numerica in vigore tutt'oggi, articolato in quattro fasi scandite secondo un preciso iter procedurale: la raccolta delle osservazioni, la determinazione dello stato iniziale del tempo, la previsione tramite il modello di equazioni e la verifica della stessa<sup>25</sup>.

Le osservazioni si realizzano attraverso una rete planetaria, sotto il coordinamento dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale<sup>26</sup>, che a sua volta esprime il Sistema Globale di Osservazione, nei termini dell'accordo internazionale noto come Veglia Meteorologica Mondiale<sup>27</sup>. Questa rete monitora lo stato dell'atmosfera, del suolo e degli oceani attraverso una miriade di strumentazioni montate su stazioni a terra, navi, boe, palloni sonda, aerei, radar e satelliti. Lo strumento più importante è costituito dalla numerosa flotta di satelliti che, a varie quote, sorvola la Terra, fornendone immagini continue e ad alta risoluzione imprescindibili per monitorare la nascita e gli spostamenti dei sistemi nuvolosi e dei fenomeni che da essi si generano. Solitamente, si distingue tra satelliti geostazionari e satelliti polari: i primi percorrono un'orbita equatoriale a un'altezza di circa 36.000 km, impiegando per ultimare la rivoluzione intorno alla Terra lo stesso periodo che questa impiega per ruotare attorno al proprio asse (in altri termini, la rivoluzione del satellite coincide con il giorno terrestre), così da inquadrare sempre la stessa porzione del pianeta<sup>28</sup>; i satelliti polari, invece, viaggiano su orbite notevolmente più basse, inferiori ai 1000 km, tagliando il corpo celeste in senso longitudinale passando sopra entrambi i Poli e sono utilizzati per l'osservazione in dettaglio dei fenomeni geofisici come eruzioni vulcaniche, copertura glaciale e forestale, correnti marine<sup>29</sup>.

Il popolamento dello spazio con i satelliti per il telerilevamento meteorologico risale al 1960 per gli Stati Uniti (lancio del satellite polare Tiros -1), mentre l'Europa concepisce nel 1977 il programma di satelliti geostazionari Meteosat (facenti capo prima all'Agenzia Spaziale Europea – ESA e poi all'organizzazione EUMETSAT), tuttora operativo e giunto alla sua terza generazione di apparecchi, sempre più sofisticati e performanti<sup>30</sup>.

I dati raccolti dai potenti mezzi osservativi sono espressi in forma grafica e riassuntiva in mappe o carte di analisi del tempo, che possono riferirsi a piccole estensioni di territorio come a interi

---

<sup>25</sup> Cfr. In collaborazione con il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, *op. cit.*, pagg. 150 e 151

<sup>26</sup> Cfr. <https://wmo.int/all-activities>

<sup>27</sup> Cfr. <https://wmo.int/world-weather-watch>;

<sup>28</sup> Cfr. <https://sorvegliatispaziali.inaf.it/orbita-geostazionaria-geo/>

<sup>29</sup> Cfr. <https://www.lamma.toscana.it/meteo/osservazioni-satellite/polari/legenda>

<sup>30</sup> Cfr. <https://www.eumetsat.int/our-satellites/meteosat-series>

continenti. Esse possono riportare linee isobare (che congiungono i punti caratterizzati dalla stessa pressione), isoterme (stessa temperatura) o isoipse (stessa pressione ma diversa altezza, quindi con geopotenziale).

Una volta raccolti i dati dalla rete osservativa e determinato lo stato di partenza del tempo, la previsione è elaborata da computer che risolvono le molte equazioni dei sistemi combinati aria – terra-oceani. Grande importanza è rivestita in ogni caso dall’esperienza del previsore umano, capace di interpretare i dati. L’attendibilità delle previsioni, chiaramente, decade all’allungarsi dell’arco temporale cui si riferiscono, a causa della condizione caotica dell’atmosfera. Ancora oggi, nonostante la potenza dei calcolatori e le conoscenze scientifiche in nostro possesso, una previsione ragionevole per una specifica località difficilmente potrà farsi oltre i cinque giorni. Al di là di questo orizzonte, la previsione sfuma in una tendenza. Questo dipende, come detto, dalla caoticità dell’atmosfera, esempio principe di sistema dinamico complesso, in cui la molteplicità delle variabili fa sì che non si determinino mai due condizioni esattamente uguali, mentre allo stesso tempo una seppur minima variazione di parametro è in grado di amplificare il proprio effetto con ripercussioni anche a grandissima distanza: è il cosiddetto “effetto farfalla”, teoria sul caos introdotta dal meteorologo statunitense Edward Norton Lorenz (1917-2008)<sup>31</sup>. Tali caratteristiche strutturali fanno sì che sia sostanzialmente impossibile realizzare previsioni precise e particolareggiate per periodi di settimane o mesi; questa speranza, a lunga accarezzata, probabilmente deve essere definitivamente archiviata perché velleitaria. Ciò che invece è possibile fare, è sviluppare tecniche previsionali probabilistiche che affianchino la classica procedura deterministica. Cosa significa? La previsione deterministica è utilizzata per anticipare che tempo farà nel breve termine (al massimo pochi giorni) e consiste nel produrre un’unica simulazione del modello di equazioni; quando si vuole invece diradare l’incertezza che avvolge un futuro un po’ più lontano (diciamo, di una o due settimane), si prendono in considerazione molteplici scenari atmosferici possibili e alternativi, ossia si producono varie “corse” modellistiche che potranno essere tra loro simili oppure presentare divergenze marcate (è la cosiddetta tecnica *ensemble*, la cui rappresentazione grafica è un diagramma a “spaghetti”)<sup>32</sup>.

Spingersi ancora più in là è possibile, ma abbandonando la dimensione della previsione per addentrarsi nella tendenza a lunghissimo termine, sfruttando la capacità dei calcolatori di ultima generazione di elaborare responsi probabilistici. È il caso delle proiezioni stagionali, nelle quali si tenta di dominare un quantitativo di dati di partenza su scala estremamente grande, includendo l’insieme degli scambi e delle interazioni tra i fattori solari, stratosferici, troposferici ed oceanici: si

---

<sup>31</sup> Cfr. In collaborazione con il Servizio Meteorologico dell’Aeronautica Militare, *op. cit.*, pag 161 e <https://pasini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2012/07/12/leffetto-farfalla-e-il-clima/>

<sup>32</sup> Cfr. <https://www.lamma.toscana.it/en/meteo/la-previsione> e <https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/bollettini/neve/spaghetti-ensemble>

tratta delle teleconnessioni, i cui indici si manifestano, ad esempio, nell'azione del vortice polare e nel ciclico riproporsi di fenomeni quali El Nino<sup>33</sup>.

## - Conclusioni

Oggi la meteorologia è posta davanti alla sfida epocale del cambiamento climatico, che ha reso più frequenti e distruttivi gli eventi meteorologici severi, esponendo a grave pregiudizio la vita e i beni delle persone. Inoltre, accanto ai media tradizionali e agli enti che svolgono il ruolo di previsori istituzionali e di diffusori dei bollettini ufficiali e delle allerte (in Italia il Dipartimento della Protezione Civile e l'Aeronautica Militare), da anni sono fiorite nella Rete quelle possibilità che hanno reso le previsioni del tempo un servizio estremamente capillare e accessibile con pochi click, tramite siti, applicazioni, blog, forum e pagine social sia di soggetti pubblici che privati.

Se l'imporsi di nuovi mezzi di comunicazione e l'evoluzione del servizio vanno incontro al crescente bisogno di previsioni consultabili in qualsiasi momento ma anche concorrenti tra loro, la scienza deve progredire per ampliare la comprensione di dinamiche da sempre intimamente connesse con i cicli della vita nelle società umane, svolgendo come mai in passato un ruolo decisivo nell'informare le persone e mitigare i danni.

## FONTI

- W. Behringer, *Storia culturale del clima – Dall'era glaciale al riscaldamento globale*, Torino, Bollati Boringhieri, 2010
- In collaborazione con il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, *Atlante del clima e della meteorologia*, Milano, Giunti, 2025
- A. Giuffrida, G. Sansosti, *Manuale di meteorologia*, Roma, Gremese, 2016
- V. Levizzani, *Storia del mondo in dieci tempeste – Nebbia, uragani e grandi battaglie*, Milano, Il Saggiatore, 2025
- <https://www.youtube.com/watch?v=9LrZXMTaLkE>
- <http://www.centrometeo.com/articoli-reportage-approfondimenti/tributo-baroni/4126-storia-meteorologia>
- [https://www.treccani.it/enciclopedia/le-teorie-meteorologiche\\_\(Storia-della-civilt%C3%A0-europea-a-cura-di-Umberto-Eco\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/le-teorie-meteorologiche_(Storia-della-civilt%C3%A0-europea-a-cura-di-Umberto-Eco)/)
- <https://www.encyclopedia.com/science/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/william-merle>

<sup>33</sup>

Cfr. <https://www.meteo.unina.it/images/pdf/Seminario%20Integrato%20Teleconnessioni.pdf>; <https://meteobook.it/teleconnessioni/>; <http://www.centrometeolombardo.com/content.asp?ContentId=4626>

- <https://museoleonardiano.it/opera/igrometro/>
- [https://www.storicang.it/a/1611-santorio-inventa-il-termometro-clinico\\_14899](https://www.storicang.it/a/1611-santorio-inventa-il-termometro-clinico_14899)
- <https://brunelleschi.imss.fi.it/itinerari/itinerario/meteorologiafirenze.html>
- <https://scienzapertutti.infn.it/rubriche/biografie/756-daniel-gabriel-fahrenheit>
- <https://www.britannica.com/science/Hadley-cell>
- <https://www.isac.cnr.it/dinamica/davolio/tmp/Didattica/15-Circolazione.pdf>
- <https://www.aif.it/fisico/daniel-bernoulli/>
- <https://www.uninettunouniversity.net/allegati/1/ricercatori/assante/abstract%20pubblicazioni/Fulminologia.pdf>
- <https://www.meteosvizzera.admin.ch/chi-siamo/meteosvizzera-blog/it/2023/08/circolazione-globale-pt2.html>
- <https://www.meteoam.it/it/cenni-storici>
- [https://www.meteorologia.it/meteocuriosando/storia\\_delle\\_previsioni\\_del\\_tempo.htm](https://www.meteorologia.it/meteocuriosando/storia_delle_previsioni_del_tempo.htm)
- <https://www.meteoam.it/it/in-primo-piano/il-parametro-termico-frontale---un-utile-tracciante-dei-sistemi-frontali>
- <https://www.meteo.expert/news/curiosita/d-day-sbarco-normandia-meteorologi/>
- <https://www.old.unina.it/-/1329659-eisenhower-la-storia-e-le-previsioni-del-tempo>
- <http://tnt.phys.uniroma1.it/twiki/pub/TNTgroup/AngeloVulpiani/Richardson-PRISTEM.pdf>;
- <https://wmo.int/all-activities>
- <https://wmo.int/world-weather-watch>
- <https://sorvegliatispaziali.inaf.it/orbita-geostazionaria-geo/>
- <https://www.lamma.toscana.it/meteo/osservazioni-satellite/polari/legenda>
- <https://www.eumetsat.int/our-satellites/meteosat-series>
- <https://pasini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2012/07/12/leffetto-farfalla-e-il-clima/>
- <https://www.lamma.toscana.it/en/meteo/la-previsione>
- <https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/bollettini/neve/spaghetti-ensemble>
- <https://www.meteo.unina.it/images/pdf/Seminario%20Integrato%20Teleconnessioni.pdf>
- <https://meteobook.it/teleconnessioni/>
- <http://www.centrometeolombardo.com/content.asp?ContentId=4626>