

METEOROLOGIA - PROFILO STORICO

Di Luigi Mariani

Riassunto

Questo breve excursus sulla meteorologia dall'antichità ai giorni nostri ha come scopo principale di mostrare l'evoluzione di una disciplina che fin dall'antichità presenta caratteri paradigmatici rispetto alla storia della scienza, se non altri perché ad essa si sono dedicati scienziati come Aristotele e Galileo. Tale studio è riferito unicamente al mondo occidentale e dunque non vengono se non marginalmente presi in considerazione i contributi alla meteorologia che sono venuti da altre culture. Per quanto riguarda la trattazione della meteorologia nel mondo antico ho un particolare debito di riconoscenza nei confronti del testo di John Vallance (2001) dedicato alla meteorologia nel mondo greco.

Abstract

This overview on meteorology from antiquity to the present day has the main purpose of showing the evolution of a discipline that is exemplary with reference to the history of science, if nothing else because great scholars like Aristotele and Galileo devoted themselves to it. This study refers only to the Western world and contributions coming from other cultures are only marginally taken into account. Regarding my approach to the meteorology in the ancient world I'd like to acknowledge the importance of the contribution to my reflections of the text of John Vallance (2001) dedicated to meteorology in the Greek - Roman context.

Parte 1 – Le origini

Meteorologia nel mondo antico: ambito disciplinare, linguaggio specialistico e rilevanza

La meteorologia deriva il suo nome dal termine *metéōros* (e dalle sue forme affini, inclusa quella di *metársios*), che significa semplicemente ‘che è in alto’ (Vallance, 2001). Secondo l’etimologia, essa avrebbe quindi dovuto occuparsi esclusivamente dello studio dei fenomeni atmosferici, e vi era un consenso unanime nel ritenere che il compito del meteorologo fosse quello di studiare le «cose che accadono nel cielo» (è con questa espressione che il biografo della Tarda Antichità **Diogene Laerzio** (180-240), nel descrivere l’opera dedicata dallo stoico **Posidonio** a questo soggetto, spiegava il termine ‘meteorologia’). In pratica, però, la meteorologia trattava di una vastissima area di problemi naturali: dall’origine delle comete e dall’origine e dalla natura della Via Lattea, delle meteore, dei fulmini, dei venti, dei terremoti, dei vulcani, degli oceani e delle maree, fino alla formazione dei fiumi, delle montagne, delle rocce, dei minerali e dei metalli. Alcuni studiosi si concentravano su particolari tipi di problemi, ma, in generale, il termine ‘meteorologia’ era spesso impiegato per designare l’indagine della Natura nella sua totalità. La meteorologia antica fu pertanto materia di grande vastità e complessità e come tale può essere oggi assunta ad esempio paradigmatico delle scienze fisiche non esatte nel mondo antico (Vallance, 2011).

La nascita di una disciplina scientifica presuppone la presenza di un linguaggio specialistico ed infatti all’epoca di Platone e Aristotele venne conosciuta una terminologia meteorologica che comprendeva ad esempio il vapore (*atmis*), l’esalazione (*anathymiasis*), la trasformazione (*metabolé*), l’umido e il secco (*hygron* e *xeron*), rarefatto e denso (*pyknon* e *manon*) (Vallance, 2011).

Almeno quattro filoni di pensiero posso essere individuati nella meteorologia antica:

- un filone religioso che associa gli eventi meteorologici a cause divine e di cui permane traccia ad esempio nella Bibbia e in varie opere poetiche
- un filone teorico legato ai filosofi della natura
- un filone pratico proprio di agricoltori, marinai e medici

- una filone di contestazione fondata sul luogo comune secondo cui i filosofi sarebbero dei perdigiorno impegnati a *speculare sulle cose del cielo e di sottoterra* e che ha il proprio apice nella commedia *Le nuvole* di Aristofane.

Il filone religioso: eventi meteorologici e cause divine

Scrive acutamente Giacomo Leopardi (1899) che “*Era naturale che i primi uomini, atterriti dalla folgore, e vedendola accompagnata da uno strepito maestoso e da un imponente apparato di tutto il cielo, la credessero cosa soprannaturale e derivata immediatamente dall'Essere supremo. L'agricoltore primitivo fuggendo per una vasta campagna, mentre la pioggia sopraggiunta improvvisamente, strepita sopra le messi e rovescia con un rombo cupo sopra la sua testa; mentre il tuono, che sembra essersi inoltrato verso di lui scoppia più distintamente e gli rumoreggia d'intorno; mentre il lampo, assalendolo con una luce trista e repentina, l'obbliga di tratto in tratto a batter le palpebre; rompendo col petto la corrente di un vento romoroso che gli agita impetuosamente le vesti, e gli spinge in faccia larghe onde di acqua, vede di lontano nella foresta una quercia tocca dal fulmine. Da quel momento egli riguarda quell'albero come sacro, concepisce per esso una venerazione mista di orrore, e non ardisce più avvicinarsi al luogo ove il fulmine è caduto. Il tuono e la folgore furono annoverati fra gli tributi della Divinità e fra gl'indizj più manifesti del suo supremo potere.*” Queste parole ci richiamano al fatto che i fenomeni atmosferici e i loro effetti (alluvioni, siccità, ondate di caldo e di freddo, ecc.) impressionano da sempre l'uomo evocando la presenza della divinità (i fulmini scagliati da Giove, le tempeste prodotte dall'ira di Poseidone, i venti favorevoli non concessi da Artemide e che conducono al sacrificio di Ifigenia, ecc.).

Da una tale temperie è espressione la narrazione del Diluvio, per molti versi simile a quella biblica, tratta da **Gilgamesh**, poema epico dei popoli mesopotamici le cui prime testimonianze scritte risalgono al terzo millennio a.C.: *I venti soffiaron per sei giorni e sei notti; fiumana, bufera e piena sopraffecero il mondo, bufera e piena infuriarono insieme come schiere in battaglia. All'alba del settimo giorno la tempesta dal Sud diminuì, divenne calmo il mare, la piena si acquietò; guardai la faccia del mondo e c'era silenzio, tutta l'umanità era stata trasformata in argilla. La superficie del mare si estendeva piatta come un tetto, aprii un boccaporto e la luce cadde sul mio viso. Poi mi inchinai, mi sedetti e piansi, le lacrime scorrevano sul mio volto poiché da ogni parte c'era il deserto d'acqua. Invano cercai una terra, ma a quattordici leghe di distanza apparve una montagna, e lì si arenò la nave; sul monte Nisir rimase incagliata e non si mosse. Per un giorno rimase incagliata, per un secondo giorno rimase incagliata sul Nisir e non si mosse; per un terzo e per un quarto giorno rimase incagliata sul monte e non si mosse; per un quinto e per un sesto giorno rimase incagliata sulla montagna. All'alba del settimo giorno liberai una colomba e la lasciai andare.*

Il mito del diluvio, proprio di molte popolazioni umane (non solo Ebrei e Sumeri ma anche gli aborigeni australiani e i popoli pre-colombiani) è forse l'esempio più immediato del legame fra fenomeni atmosferici e la volontà divina che i nostri antenati stabilirono in virtù del potere di vita e di morte che i fenomeni atmosferici esercitavano su un'umanità che viveva per lo più all'aperto, in balia delle intemperie. Assai evocativa in tal senso è l'immagine in **figura 1** ove si mostra la divinità suprema degli urriti Teshub che esercitava il proprio imperio sulle tempeste e sull'agricoltura.

Nella Bibbia (Esodo 9,23-34. 23) è così descritta la settimana delle dieci piaghe d'Egitto: “*Mosè stese il bastone verso il cielo e il Signore mandò tuoni e grandine; un fuoco guizzò sul paese e il Signore fece piovere grandine su tutto il paese d'Egitto*”.

L'origine divina dei fenomeni atmosferici è anche presente nei poemi di **Omero** (Vallance, 2001) che sottintendono una cosmologia caratterizzata da una terra piatta, circolare e circondata alle sue estremità dal fiume Oceano, genitore di tutte le cose, dei inclusi. In tale contesto i fenomeni naturali (tempeste marine, terremoti, ecc.) sono suscitati dagli dei e pertanto la **causa divina nei fenomeni naturali** è un elemento cruciale.

All'approccio religioso si richiamano anche le visioni poetiche greche basate sui miti eziologici, per cui ad esempio il poeta **Mimnermo** spiega il succedersi del giorno e della notte dicendo che il Sole cavalca attraverso la volta celeste, e poi naviga attorno alla Terra sul possente fiume, prima di sorgere il giorno successivo (Vallance, 2001).

Parte 2 – In Grecia prima di Socrate

Esiodo e i presocratici

L'approccio fisico ai fenomeni naturali passa attraverso la presa di coscienza del fatto che **i fenomeni meteorologici sono eventi naturali che hanno cause naturali**. Tale presa di coscienza si registra di **Esiodo** (VIII-VII sec. a.C.), che nella sua opera *Le opere e i giorni* attribuisce i fenomeni meteorologici a cause naturali (terrestri o astronomiche) e in base a tale presupposto ordina l'anno agricolo in base al sorgere e al tramontare di alcune importanti costellazioni e alle stagioni che esse annunciano. Per questo troviamo frasi del tipo della seguente: «*Quando, poi, Zeus avrà fatto passare sessanta giorni invernali dopo il solstizio, ecco l'astro d'Arturo che, lasciate le sacre correnti di Oceano, appare sul far della sera per primo e più fulgente di tutti*» (versi 564-567). In tal modo Esiodo si pone a capostipite di una lunga tradizione d'indagine sull'utilità prognostica in meteorologia di precursori geofisici o astronomici (nubi di forma particolare, direzione dei venti, sorgere di particolari stelle o costellazioni, ecc.) (Vallance, 2001). Sempre in *Le opere e i giorni* Esiodo riflette inoltre sulle cause dei fenomeni atmosferici, ad esempio sostenendo che la pioggia ha la sua origine nel vapore umido proveniente dal suolo. Tale affermazione sarà poi focalizzata da Aristotele che la confronta con quelle di alcuni filosofi presocratici (Senofane, Ippone e Parmenide). Il mondo dei presocratici è infatti ricco di riflessioni sulla Natura e in particolare ciò accadde in **Talete di Mileto** (640-547 a.C.), **Ione di Chio** (490-422 a.C.), **Diogene di Apollonia** (V secolo a.C.), **Senofane** (570-475 a.C.), **Ippone di Reggio** (V secolo a.C.), **Empedocle** (495-430 a.C.), **Parmenide di Elea** (541-450 a.C.) **Anassimandro di Mileto** (610-546 a.C.), **Anassimene di Mileto** (586-528 a.C.) e **Empedocle** (V secolo a.C.), per i quali la carenza di fonti dirette è in parte compensata da fonti indirette fra cui in particolare (Vallance, 2011):

- **Aristotele** (384-322 a.C.), il quale nelle sue trattazioni sui fenomeni meteorologici (presenti nei suoi vasti *Meteorologica*, nel libro I della *Metafisica* e nel *De caelo*) inizia presentando le idee dei suoi predecessori fra cui quelle di Talete, di cui ai suoi tempi non era sopravvissuto alcuno scritto

- **Lucio Anneo Seneca** (4-65 d.C.) che nel suo *Naturales questiones* richiama i giudizi in tema di meteorologia dati dai filosofi più antichi

- **Diogene Laerzio** (180-240 d.C.), tardo biografo dei filosofi greci e che nel suo *Vite dei filosofi* riporta fra l'altro testimonianze originali sugli stessi presocratici

- **Alessandro di Afrodisia** (II-III secolo d.C.) che commentando i *Meteorologica* di Aristotele cita le concezioni meteorologiche del presocratico **Anassimene** (586-528 a.C.).

E' proprio in base alle idee espresse dai presocratici che Aristotele introduce il concetto di principio elementare originale, l'arché, indicando chiaramente che essa era approvata dai suoi predecessori: «*essi affermano che è elemento e principio delle cose esistenti appunto ciò di cui tutte quante le cose esistenti sono costituite e da cui primamente provengono e in cui alla fine vanno a corrompersi, anche perché la sostanza permane pur cangiando nelle sue affezioni*» (*Metafisica*, A, 3, 983 b, 7). Talete lo identificava nell'acqua, proseguì Aristotele, Anassimene nell'aria, Empedocle postulava quattro «radici» – fuoco, aria, acqua e terra – e Anassimandro individuava un principio da lui detto «l'illimitato». L'idea di un divenire fisico come interazione di radici, pur rifiutata da Parmenide il quale ne sosteneva l'impossibilità logica appellandosi a un essere immutabile, offriva il substrato idoneo allo svilupparsi dei diversi eventi meteorologici, per cui ad esempio Anassimandro sosteneva la produzione dei venti da parte di soffi leggerissimi che si staccano dall'aria e, raccolti, si mettono in movimento; la pioggia a opera del vapore che

sotto l'azione del Sole s'innalza dalla terra e, infine, i fulmini come risultato del vento che, piombando sulle nuvole, le squarcia (Vallance, 2001).

Parte 3 – La meteorologia nei filosofi greci dell'età classica

Socrate

La speculazione sui fenomeni naturali atmosferici occupò probabilmente una posizione di rilievo nelle attività dello stesso **Socrate** (470-399). Infatti quando, nell'*Apologia* di Platone, Socrate prende la parola per difendersi nel giudizio che avrebbe deciso della sua vita, spiega che la parodia di Aristofane nella commedia *Le nuvole* gli aveva ingiustamente nuociuto: “*Sono le solite cose che si sogliono dire contro tutti i filosofi, e cioè che speculo sulle cose del cielo e di sottoterra*” (*Apologia Socratis*, 23 d). Inoltre Senofonte, nel suo studio sulla vita di Socrate, narra che a chi lo accusava di essere un meteorologo e di studiare “*le cose che stanno in aria*”, egli replicava domandando al suo interlocutore se esistesse qualcosa di più elevato degli dèi.

Platone e Aristotele

Platone (428-348 a.C.) sviluppa una filosofia della Natura vista alla luce di un principio teleologico che vede la Natura volta alla ricerca del bene. In tale contesto nel *Timeo*, nell'*excursus* sui fenomeni terrestri, lancia al lettore un significativo ammonimento: “*Se alcuno, per desiderio di riposo, lasciando i discorsi intorno alle cose, che sono sempre, ed esaminando le ragioni verosimili delle cose generate, prende un piacere senza rimorsi, si potrebbe procacciare nella vita un passatempo moderato e ragionevole.*” (*Timaeus*, 59, c-d). Tale affermazione indica la non contrarietà di Platone all'indagine sulla Natura, il che lo avvicina ad **Aristotele**. Quest'ultimo spiega i fenomeni terrestri come frutto dell'interazione fra elementi fisici e più nello specifico identifica la meteorologia con lo studio e la spiegazione dei problemi associati alle interazioni fra i quattro elementi – terra, aria, fuoco e acqua – che hanno per teatro la regione che include la Terra e si estende fino ai limiti della sfera descritta dall'orbita della Luna. Egli chiama «sfera sublunare» l'ambiente terrestre sede degli eventi meteorologici, preoccupandosi di distinguerla dalla «regione sovralunare», che è sede del quinto elemento, l'etere, ed è retta da peculiari teorie fisiche e dinamiche. In breve, per Aristotele la meteorologia è una branca pratica della teoria degli elementi. (Vallance, 2001).

Teofrasto

Per quanto attiene alla meteorologia, nel solco tracciato da Esiodo e seguito dai presocratici, Aristotele e Platone si pone anche **Teofrasto di Ereso** (371-287 a.C.) successore di Aristotele e autore del trattato *De signis tempestatum* nel quale prende in esame una serie di problemi che vanno dalle connessioni tra il tempo atmosferico terrestre e il sorgere e il tramontare dei corpi celesti, ai legami esistenti tra il comportamento delle piante e degli animali e i fenomeni atmosferici, al potere prognostico dell'osservazione delle configurazioni dei venti e delle formazioni delle nubi. Teofrasto, come Esiodo, non si sofferma sulla spiegazione teorica di queste connessioni, ma si limita a esporre le relazioni tra i fenomeni così come le ha osservate o come gli sono state riferite (Vallance, 2001). La tendenza ad associare meteorologia e astronomia sarà pratica diffusa per secoli come provano il *Tetrabiblos* di **Claudio Tolomeo** (100-170 d.C.) e il *De ostensis* del bizantino **Giovanni Lido** (490-557).

Parte 4 – Epicurei, stoici e dibattito sulle piene del Nilo

La meteorologia epicurea

Due grandi scuole filosofiche dell'antichità greco-romana, epicureismo e stoicismo, utilizzarono la meteorologia per scopi morali. In particolare l'obiettivo di **Epicuro** (342-270 a.C.) era quello di guidare i suoi seguaci verso uno stato di affrancamento dagli affanni per le pene che

affliggono l'umanità, e in particolare dal timore della morte (*ataraxia*). Pertanto la principale motivazione dell'interesse degli epicurei per la meteorologia non è tanto il desiderio di conoscenza in sé quanto il fatto che attraverso lo studio dei fenomeni terrestri rovinosi e fortuiti si acquisissero prove certe del fatto che il nostro destino non è guidato da nessun agente consapevole. In tal senso **Lucrezio** (94-55 a.C.), spiegando i fenomeni che gli uomini erroneamente attribuiscono agli dei, era convinto di poter vanificare i timori e le superstizioni che atterriscono il mondo.

Seneca e Columella

Un obiettivo morale guidava anche l'interesse per la meteorologia dello stoico **Lucio Anneo Seneca** (4-65 d.C.), il quale riteneva che lo studio dei fenomeni meteorologici fosse utile all'uomo pubblico poiché ne allontanava la mente dalle cose mondane e dalle preoccupazioni limitate della vita di tutti i giorni, incoraggiandone altresì il giusto senso delle proporzioni ed la consapevolezza dell'inevitabile vulnerabilità della propria posizione nel più vasto ordine delle cose.

L'obiettivo morale guidò anche il grande agronomo romano **Lucio Giunio Moderato Columella** (4-70 d.C.), contemporaneo e coetaneo di Seneca, il quale nell'introduzione al suo *De re rustica* scrive all'amico Publio Silvano segnalandogli che cittadini illustri di Roma ritenevano che la terra troppo sfruttata dall'uomo non fosse più in grado di dare frutti e che il clima non fosse più idoneo a supportare l'agricoltura e conclude con un lapidario "*quanto a me, Publio Silvano, ritengo queste cose per lontanissime dalla realtà*".

Ma se Seneca riteneva che la meteorologia dovesse guidare le classi dirigenti a una visione serena ed equilibrata degli eventi naturali e al contempo se gli epicurei e Lucio Giunio Moderato Columella si ponevano il problema di contrastare le campagne di colpevolizzazione dell'uomo in atto ai loro tempi, siamo evidentemente di fronte a qualcosa di fortemente intrecciato con lo spirito umano e che vediamo ancor oggi all'opera?

L'origine delle piene del Nilo come dibattito esemplare

Un dibattito che tenne banco a lungo presso gli antichi senza trovare una spiegazione definitiva fu quello sull'**origine delle piene del Nilo**, che oggi sappiamo essere innescate dalle intense piogge monsoniche estive che in estate interessano l'altipiano etiopico. Attorno alle piene del Nilo, più regolari e meno distruttive di quelle dei fiumi mesopotamici Tigri e Eufrate e dunque meglio gestibili in termini agricoli, gli Egizi avevano organizzato una delle agricolture più produttive dell'antichità, da cui dipese a lungo l'approvvigionamento di cereali per l'Urbe prima e per Bisanzio poi. Nello specifico ad agosto e settembre il livello del fiume aumentava lasciando la pianura alluvionale e il delta sommersi da 1,5 m d'acqua al colmo di piena¹. A ottobre poi le acque si ritiravano e gli agricoltori si ritrovavano le riserve idriche dei suoli ricostituite e le falde ricaricate mentre il suolo era ricoperto da uno strato di sedimenti che arrivano dall'altipiano etiopico. In tale mese si effettuava la semina dei cereali vernini che venivano poi raccolti nei successivi mesi di aprile e maggio.

Il fenomeno rimase a lungo una sfida aperta per la scienza antica e sarà spiegato solo fra XVI e XIX secolo. Infatti nel 1588 Giovanni Gabriel scopre le sorgenti del Nilo Azzurro sul lago Tana (Conti Rossini, 1941; Surdich, 2005) mentre solo nel 1858 Richard Francis Burton e John Hanning Speke scoprono le sorgenti del Nilo bianco sul lago Vittoria.

Riguardo al problema delle piene del Nilo possiamo anzitutto citare **Lucrezio** (94-50 a.C.), il quale ritiene che i venti Etesii² facciano ritrarre le acque del fiume che spingono nella direzione

¹ Le piene del Nilo sono oggi regolate dalla diga di Assuan che rendono le alluvioni del delta assai poco probabili.

² Venti che nella stagione estiva interessano il Mediterraneo orientale con direzione da Nord – Nordest e che sono frutto della presenza di una depressione stagionale sull'Anatolia attorno alla quale le masse d'aria ruotano in senso antiorario.

opposta (da sud a nord) provocando l'inondazione. Altra possibile causa, secondo Lucrezio, potrebbe essere la sabbia che, depositata dal mare presso il delta, ostacola il deflusso delle acque. Le alluvioni del Nilo sono trattate anche da **Lucio Anneo Seneca** (4 a.C., 65 d.C.) nel *Naturales questiones*, ove il libro IV è una sorta di "De Nilo" perché è dedicato a tale fiume. Purtroppo ce ne resta solo la metà per cui non conosciamo le conclusioni di Seneca circa le piene ma le considerazioni note sono comunque di grande interesse perché mostrano che in questo dibattito "meteorologico" fossero intervenuti anche illustri filosofi e scienziati greci: "*Ora esaminerò le cause per cui il Nilo cresce in estate, cominciando dalle spiegazioni più antiche. Anassagora (496-428 a.C.) dice che dalle catene montuose dell'Etiopia le nevi che si sciolgono scendono fino al Nilo. Tutta l'antichità condivise questa opinione [...] ma che essa sia errata, è dimostrato chiaramente da più prove. Prima di tutto il colorito abbronzato degli uomini [...] indica che l'Etiopia è un paese caldissimo [...] e anche l'austro, che viene da quella regione, è il più caldo dei venti [...]. Inoltre, se questa fosse la causa che fa crescere il Nilo, esso sarebbe in piena all'inizio dell'estate, poiché proprio quello è il momento in cui le nevi sono ancora intatte e si sciolgono gli strati più molli: il Nilo, invece, si ingrossa per quattro mesi e il suo accrescimento è regolare. Talete (640-547 a.C.) sostiene invece che sono i venti etesii a contrastare la discesa del Nilo*". In sostanza dunque Talete avrebbe sviluppato la medesima tesi che sarà in seguito sostenuta da Lucrezio.

Parte 5 – Dalla critica ai filosofi della natura alla meteorologia pratica di marinai, agricoltori e medici

Critica ai filosofi della natura

Aristofane (450-385 a.C.), nella sua commedia *Le nuvole*, sviluppa una critica severa nei confronti dei filosofi della Natura, il che suggerisce che la speculazione sui fenomeni naturali atmosferici occupasse una posizione di rilievo nelle attività di Socrate e dei sofisti. Peraltro lo scritto di Aristofane attesta l'esistenza di un vero e proprio pregiudizio popolare contro i meteorologi, di cui ci riferiscono anche il frammento di un'opera del tragico ateniese **Euripide** in cui un personaggio parla delle "*ingarbugliate menzogne dei meteorologi*" e un brano del poeta comico **Eupoli** (446-411 a.C.) che, deride i meteorologi definendo "mangiatore di polvere" un personaggio, vano declamatore degli oggetti celesti. Anche qui dunque nulla di nuovo sotto il sole, se si rammenta ad esempio l'ironia che suscitavano le non sempre precise previsioni meteorologiche dei primi meteorologi televisivi.

Il sofista **Gorgia** (485-375 a.C.) riassume con chiarezza il nodo centrale del problema nel seguente frammento tratto dall'*Encomio di Elena*, in cui pone l'accento sul ruolo centrale svolto dalla retorica e dal potere di persuasione nelle spiegazioni di ciò che in definitiva è inverificabile: "*E poiché la persuasione, congiunta con l'argomentazione (lógos), riesce a dare all'anima l'impronta che vuole, bisogna apprendere anzitutto i ragionamenti dei meteorologi, i quali sostituendo ipotesi a ipotesi, distruggendone una, costruendone un'altra, fanno apparire agli occhi della mente l'incredibile e l'inconcepibile; in secondo luogo, i dibattiti oratori di pubblica necessità, nei quali un solo discorso non ispirato a verità, ma scritto con arte, suole dilettere e persuadere la folla; in terzo luogo, le schermaglie filosofiche nelle quali si rivela anche con quale rapidità l'intelligenza facilita il mutar di convinzioni dell'opinione*" (Vallance, 2011).

La visione pratica di marinai, agricoltori e medici

All'indagine sulle cause che caratterizza i filosofi della natura fa certamente da contraltare un sapere meteorologico pratico, trasmesso per lo più in forma orale e in grado di orientare

positivamente le azioni di categorie che “con il tempo atmosferico lavorano da sempre” come i marinai, gli agricoltori e i medici.

Un’interessante traccia di tale corpus di conoscenze è reperibile ad esempio nel vangelo di **San Luca** (12, 54-55): *Quando vedete una nube che sale da ponente, voi dite subito: presto pioverà, e così accade. Quando invece sentite lo scirocco, dite: farà caldo, e così accade. Ipocriti! siete capaci di capire l'aspetto del cielo e della terra, e allora come mai non sapete capire quel che accade in questo tempo?* Al riguardo giova rammentare che, secondo quanto afferma San Paolo nella lettera ai Colossesi (Ravasi, 2014), San Luca era un medico, una professione fondata sullo studio delle cause naturali e dei loro effetti sulla salute umana. E qui occorre ricordare che dagli scritti ippocratici traspare l’interesse di molti medici per la meteorologia come nel caso del trattato ippocratico *De aëre, aquis, locis* in cui si esamina nei dettagli l’influenza esercitata sulla salute dal clima, dall’ambiente e dalle configurazioni atmosferiche (Vallance, 2001).

Circa poi il sapere pratico degli agricoltori ne resta traccia negli scritti dei georgici latini. Ad esempio Virgilio nel libro I delle Georgiche sottolinea che affinché si potessero riconoscere da indubbi segni queste cose — il caldo, le piogge e i venti portatori di freddo — Giove stabilì ciò che consiglia la luna mensilmente, sotto quale segno zodiacale sono calmi gli Austri e le osservazioni in base a cui gli agricoltori tenessero gli armenti in vicinanza delle stalle.

I limiti della meteorologia degli antichi

Per comprendere comunque i limiti dell’approccio al tempo atmosferico da parte degli antichi basti riflettere sul fatto che gli antichi romani disponevano già in epoca imperiale di un sistema di comunicazioni rapido ed assai efficace, attraverso il quale i dispacci fluivano da un capo all’altro dell’impero in tempi assai brevi. E’ anche noto che la loro visione dei fenomeni atmosferici era assai più pragmatica rispetto a quella di altri popoli, se lo stesso **Seneca** sente il bisogno di contrapporre la visione più meccanicistica dei romani rispetto a quella oltremodo finalistica degli etruschi, secondo i quali le nubi si incontrano in cielo perché hanno piacere a produrre i fulmini (Seneca, *Questioni naturali*, libro II, 32, 2). Tuttavia, nonostante ciò e nonostante il fatto che l’economia dell’impero dipendesse in larga misura dai trasporti marittimi, sui quali i fattori meteorologici (primo fra tutti il vento) avevano larga influenza, i romani non furono, a quanto pare, mai stati sfiorati dall’idea di raccogliere informazioni meteorologiche sullo sterminato territorio su cui estendevano il loro dominio.

Parte 6 La meteorologia medioevale

La meteorologia europea e araba prima del 1200

Nel periodo antecedente il 1200 la coscienza della centralità della meteorologia nella filosofia della natura che derivava dai classici fece sì che molti autori si cimentassero nell’argomento, fra cui **Isidoro di Siviglia** (560-636) nella prima enciclopedia del medioevo, le *Etymologiae*, **il Venerabile Beda** (673-735) nel *De Rerum Natura*, **Guglielmo di Conches** (1080-1145) nel *De philosophia mundi* e **Adelardo di Bath** (1080-1152) nelle *Naturales questiones* e lo **pseudo-Beda** (XII secolo) nel *De mundi celestis terrestisque constitutione*, Tali autori si dedicarono a temi quali i venti, i temporali, i fulmini, le maree, le alluvioni e la suddivisione del mondo in fasce climatiche, utilizzando lo schema secondo già presente nella climatologia antica e secondo cui il mondo sarebbe stato suddiviso in 5 zone climatiche (una intermedia torrida, due zone abitate e due zone di freddo estremo. Si noti inoltre che questi autori svilupparono il proprio pensiero senza avere diretto accesso ai testi di Aristotele e dunque attingendo ai testi di autori del tardo Impero, alla versione abbreviata del *Timeo* di **Calcidio** (IV secolo) o forse a fonti arabe (Glick et al., 2005).

Anche i filosofi islamici legati alla falsafa, corrente filosofica ispirata dalla tradizione greca, scrissero parecchio di meteorologia e come esempi possiamo citare il 5° libro del Kitab al-Shifa di **Ibn Sina** (Avicenna – 980-1037), i commentari sulla meteorologia di **Ibn Rushd** (Averroè – 1126-1198) e il commentario di meteorologia di **Ibn Bajja** (Avenpace – 1095-1138). Gli autori arabi svilupparono interpretazioni basate non solo su Aristotele ma anche sugli scritti di meteorologia di **Olimpiodoro** (VI secolo d.C.) e di **Alessandro di Afrodisia** (II - III secolo d.C.). In tal senso se Averroè tentò di riconciliare Aristotele e Alessandro di Afrodisia mentre Avicenna si mostrò più critico introducendo spiegazioni aggiuntive ispirate dall'esperienza e non conformi agli antichi testi. Ambedue i loro lavori furono tradotti in latino e influenzarono gli autori cristiani (Glick et al., 2005).

In tema di adesione più o meno acritica al pensiero degli antichi da parte degli intellettuali arabi del medioevo giova ricordare quanto emerge trasparente dal trattato di agricoltura di Ibn al Awwam, il più vasto compendio del sapere agronomico della scuola arabo – andalusa, pubblicato intorno al 1150. In tale opera infatti si propugna l'adozione di un metodo sperimentale moderno in base al quale la valutazione di quanto indicato dai testi agronomici antichi (Magone cartaginese, Columella, i geonoma, ecc.) è seguito dalla sperimentazione in parcelle in vista del trasferimento in pieno campo. In tal senso è sintomatico che Ibn al Awwam scriva ripetutamente che *“nessuna indicazione è data nel mio lavoro che io non l'abbia verificata nella pratica più volte”*.

La meteorologia europea dopo il 1200

Dopo il 1200 gli autori europei possono disporre della traduzione in latino dei meteorologica di Aristotele e l'inglese **Alfredo di Sareschel** (XII – XIII secolo) scrive un primo commento a tale opera, che entra a far parte dei curricula universitari (Glick et al., 2005). Il successo dell'opera di Aristotele è testimoniato dagli oltre 100 commenti fioriti fra 1200 e 1500, fra cui spiccano quelli di **Alberto Magno** (1206-1280), **Tommaso d'Aquino** (1225-1274), **Pietro d'Alvernia** (1240 - circa 1300), **Nicola Oresme** (1323-1382), **Walter Burley** (1275 – 1345), **Pierre D'Ailly** (1350-1420) e **Biagio da Parma** (1355-1416). Inoltre alla corte cosmopolita dell'imperatore Federico II, centro di cultura scientifica di alto livello, **Michele Scotto** (1175-1232) compose il suo *Liber introductorius*, che tratta temi di astrologia, meteorologia, medicina, musica, computo, zoologia e fisiognomonia mentre in lingua francese viene pubblicata *L'image du monde* di **Gossuin de Metz** (XIII secolo), la cui prima versione data al 1246 e che è ispirata in parte all'*Imago mundi* di Onorio di Regensburg. L'opera si presenta come un'enciclopedia versificata in 6600 ottonari e prende in considerazione, in tre parti, i principî della scienza, la geografia e la meteorologia e infine l'astronomia.

Con riferimento al medioevo si deve altresì citare l'opera dell'inglese William Merle, rettore di Driby, autore di un diario meteorologico sistematico riferito a solo sette anni di registrazione di dati meteorologici (1337 - 1344). Il Merle oltre a ciò scrisse un trattato sulla previsione del tempo, rifacendosi a varie fonti esistenti, da Aristotele a Virgilio, da Plinio a Tolomeo (Baroni, 2007).

Limiti e pregi della meteorologia medioevale

In complesso dunque la meteorologia medioevale tende in prevalenza a riproporre gli schemi già in uso nel mondo antico e soprattutto tratti da Aristotele o dai suoi commentatori antichi. Tuttavia qualcosa di nuovo rispetto al mondo antico certamente vi fu e ne è la prova la scoperta dell'America nel 1492 da parte di **Cristoforo Colombo** (1451-1506), impresa che si fondò sulla conoscenza realistica del regime del vento ai tropici (alisei) ed alle medie latitudini (grandi correnti occidentali) che solo nel medioevo era stata conseguita. Peraltro Colombo nel corso del suo secondo viaggio (1494) fece esperienza di un ciclone tropicale nell'oceano Atlantico e il suo è il primo resoconto scritto di un simile evento in ambito Europeo (Morison, 1942).

Il medioevo, specie dopo l'anno mille, fu anche un periodo storico ricco di invenzioni (si pensi alla bussola, alla carta, all'aratro rivoltatore e al collare per il traino equino). Per quanto attiene alla meteorologia, nel 1450 **Leon Battista Alberti** (1404-1472) descrive per primo un anemometro munito di una tavoletta mobile la cui inclinazione dava una misura della forza del vento (Museo virtuale Galileo, 2017)³. Inoltre Nikolaus Krebs von Kues (**Nicolò Cusano** – 1401-1464) alla luce delle proprietà igroscopiche della lana propose di costruire un igrometro basato sulla pesatura della lana con una bilancia mentre lo stesso Leon Battista Alberti propose di utilizzare una spugna in luogo della lana, idea questa che sarà poi riproposta da Leonardo da Vinci (Museo virtuale Galileo, 2017, b).

Parte 7 - La meteorologia nell'evo moderno

La meteorologia nel XVI e XVII secolo. La scuola galileiana

La ricerca di nuove rotte da parte di esploratori quali ad esempio Cristoforo Colombo, Amerigo Vespucci, Vasco da Gama e Ferdinando Magellano contribuì in modo essenziale a incrementare le conoscenze sulla distribuzione geografica dei venti e sugli schemi della circolazione delle correnti marine (Baroni, 2007). A ciò si aggiunga che i libri di bordo redatti durante secoli di navigazione a vela e ricchi di riferimenti alle vicende atmosferiche incontrate nel corso della navigazione si riveleranno essenziali per il progredire della meteorologia. Anche i molti libri di viaggiatori contribuiscono a diffondere le conoscenze di geografia fisica e di meteorologia relative alle diverse parti del mondo.

Un ruolo chiave per il progresso della meteorologia fra XVI e XVII secolo fu svolto dalla scuola galileiana e ciò in quanto Galileo aveva individuato meteorologia e astronomia come banchi di prova ideali per la sua "nuova scienza". Vengono così messi a punto alcuni fondamentali strumenti meteorologici ed in particolare nel 1593 **Galileo Galilei** (1564-1642) inventa il termometro, nel 1639 Padre Benedetto Castelli (1577-1643) inventa il pluviometro⁴ e l'evaporimetro⁵ ed infine, nel 1643, Evangelista Torricelli (1608-1647) inventa il barometro. Da ricordare che l'inventiva degli scienziati sarebbe stata del tutto vanificata senza la presenza di abili artigiani in grado di tradurre in esemplari funzionanti le nuove idee scientifiche. A proposito di questa categoria, spesso ignorata ma a cui tanto si deve per il progresso dell'umanità, ricordiamo il vetraio Angelo Mariani il quale riprodusse in molti esemplari funzionanti (i "piccoli termometri fiorentini") i prototipi sviluppati in ambito scientifico dalla scuola galileiana.

A livello europeo i nuovi strumenti ebbero rapida diffusione in ambito Universitario e trovarono le prime applicazioni operative. Dal 1657 e per circa un decennio opera la rete toscana (rete dell'Accademia del Cimento), sorta per volontà del Granduca Ferdinando II de' Medici, il quale fece riprodurre in molti esemplari gli strumenti termometrici sviluppati dalla scuola di Galileo, distribuendoli ad osservatori italiani e stranieri affinché fossero eseguite misure regolari; a ciò seguì l'invio di barometri, igrometri ed anemoscopi, dando origine alla prima rete osservativa internazionale di cui facevano parte Firenze, Vallombrosa, Citigiano, Bologna, Parma, Milano, Parigi, Innsbruck, Osnabruck e Varsavia. L'esperienza della rete toscana si interruppe dopo circa un decennio ed a tale interruzione sopravvissero solo gli osservatori di Parigi, Firenze e Vallombrosa.

³ le banderuole erano invece già note nell'antichità, tant'è vero che un altro grande studioso di architettura, **Marco Vitruvio Pollione** (80-15 a.C.) ne descrive una nel suo *de Architectura*.

⁴ E' interessante osservare che l'invenzione del pluviometro risale in realtà al 1441 allorchè il re di Corea Sejong e suo figlio, principe Munjong, misero a punto tali strumenti che vennero poi diffusi in tutto il regno come strumento ufficiale per valutare le imposte sui terreni agricoli sulla base al potenziale produttivo che era legato primariamente alla pioggia caduta.

⁵ L'evaporimetro fu messa a punto da Benedetto Castelli per stimare le perdite evaporative del lago Trasimeno, di cui allora come oggi si temeva il disseccamento.

La meteorologia nel XVIII e XIX secolo

Nel XVIII secolo si avvia l'osservazione sistematica con la nascita di vari osservatori, che spesso sono al contempo astronomici e meteorologici. In particolare all'inizio del '700 **Paris Maria Salvago** (1643-1724) e **Giovanni Poleni** (1685-1761) iniziano le osservazioni rispettivamente a Genova ed a Padova mentre nel 1763 il gesuita **Ruggero Boscovich** (1711-1787) fonda l'Osservatorio di Brera in Milano. Nel 1780 nasce la Rete Meteorologica Palatina ad opera della "Societas Meteorologica Palatina" impostata sul modello di quella medicea. Fondata da **Johann Jakob Hemmer** (1733-1790) con il patrocinio di Karl Theodor, Elettore del Palatinato, da cui il nome attribuitole, tale rete era composta da 57 stazioni (l'Italia era presente con Padova, Bologna e Roma) e cessò la sua attività nel 1792 a seguito della Rivoluzione Francese.

Da rammentare che con la nascita della stampa presero ad aver diffusione gli almanacchi meteorologici, in cui venivano trattati in modo divulgativo vari temi di rilevanza pratica fra cui quelli meteorologici avevano un ruolo primario. Fra gli almanacchi meteorologici rimangono celebri quelli di **Benjamin Franklin** (1706-1790), usciti per 25 anni ad iniziare dal 1732 e gli *Annales météorologiques* (11 voll., 1800-10) di **Jean Baptiste Lamarck** (1744-1829) (Borsanti, 2017).

Lo stesso Lamarck propose un sistema di classificazione delle nubi cui sarà preferito quello definito dall'inglese **Luke Howard** (1772-1864) nel 1802 e che seppur con vari aggiornamenti è tutt'oggi in uso.

Nel 1842 Morse inventa il telegrafo dando modo di scambiare dati meteorologici "in tempo reale" fra zone anche molto distanti fra loro. Tale possibilità inaugura un nuovo modo di leggere i fenomeni atmosferici, quello sinottico (e cioè complessivo, ovvero globale). Infatti fino ad allora nessuno pensava che eventi meteorologici verificatisi in luoghi diversi potessero derivare dal moto di strutture meteorologiche (ad esempio le perturbazioni) e tale collegamento venne per la prima volta dimostrato nel 1854 da **Urbain Le Verrier** 1811-1877), direttore dell'Osservatorio di Parigi, il quale evidenziò che la tempesta che aveva messo in seria difficoltà la flotta anglo-francese impegnata nel mar Nero nella guerra di Crimea era da collegarsi ad una perturbazione che nei giorni precedenti aveva interessato l'area centro – europea, per cui sarebbe bastato un collegamento telegrafico fra Vienna e la Crimea per scongiurare il disastro. Si apprezza così per la prima volta l'importanza di servizi che, partendo da osservazioni meteorologiche sistematiche, siano in grado di svolgere attività di preannuncio di eventi potenzialmente dannosi.

Nel 1859 l'unità d'Italia porta ad un notevole attivismo nel settore delle osservazioni meteorologiche e, nel 1868, nasce l'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica, alle dipendenze del Ministero dell'Agricoltura e dell'Industria, il che individua con decisione una finalizzazione delle attività meteorologiche nel nostro Paese all'agricoltura e più in generale ai diversi settori di rilevanza economica. Da tale temperie nascono originali lavori d'indagine sui legami fra tempo atmosferico e clima. Fra tutti ricordiamo lo scritto "*Relazioni tra alcuni elementi meteorici ed i prodotti della campagna in Italia negli anni 1875-1879 e 1880-1882*" a firma di **Ciro Ferrari**, assistente dell'Ufficio Centrale di Meteorologia.

Nel 1870-80 nasce la Rete Meteorologica Sinottica per l'interscambio di dati meteorologici a livello mondiale. E' in tale quadro che nel 1876 iniziano le prime osservazioni sugli oceani.

La meteorologia nel XX secolo

Nel 1902 **Léon Philippe Teisserenc de Bort** (1845-1918), pioniere dell'aerologia, a seguito di sondaggi in quota svolti con l'ausilio di palloni sonda propone per primo la suddivisione dell'atmosfera in troposfera e stratosfera.

Nel primo trentennio del '900 la Scuola Meteorologica Norvegese (**figura 2**), introduce innovazioni essenziali nella scienza meteorologica ed in particolare sviluppa una teoria complessiva sulla struttura dei sistemi frontali, teoria che è uno dei pilastri della meteorologia

del XX secolo. Fra i suoi maggiori esponenti ricordiamo **Carl-Gustaf Rossby** (1898-1957), **Whilelm Bjerknes** (1862-1951), **Jack Bjerknes** (1897-1975) e **Tor Bergeron** (1891-1977).

A testimonianza di tale temperie si riporta in **figura 3** la carta meteorologica che raffigura il primo fronte occluso individuato dalla scuola di Bergen. Con questa analisi assume piena compiutezza la teoria frontale.

Nel 1911, a testimonianza dell'interesse per la materia, la casa editrice Hoepli pubblica in Milano un Manuale di Meteorologia Agraria e nel 1920 **Girolamo Azzi** (1855-1969) crea l'Ecologia Agraria, disciplina che presenta una elevata affinità con l'agrometeorologia e che in Italia vanta tutt'oggi attività di ricerca originali.

Nel 1922 **Lewis Fry Richardson** (1881-1953) pubblica la sua opera "*Weather prediction by numerical process*" che evidenzia la possibilità di impiegare sistemi di equazioni per simulare il fluido atmosferico e descrive un metodo per la soluzione di tali sistemi. Tale opera apre la strada alla modellistica numerica del fluido atmosferico che tanta importanza ha oggi nelle attività di previsione del tempo.

Nel 1925 lo sviluppo dell'aeronautica vede nella meteorologia uno strumento essenziale. In tale temperie l'Ufficio Presagi del Ministero dell'Agricoltura viene posto alle dipendenze del Commissariato per l'Aeronautica. Nasce così il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica il cui primo direttore fu **Filippo Eredia** (1877-1948) nome assai noto nella meteorologia avendo diretto l'Osservatorio di Brera a Milano, essendo stato professore di Fisica di **Enrico Fermi**⁶ (1901-1954) ed avendo altresì partecipato alla prima fase della sfortunata spedizione polare del dirigibile Italia di Umberto Nobile del 1928. Per inciso le spedizioni polari portano un grosso contributo alla meteorologia. Le attività di meteorologia agricola vengono invece proseguite dall'Ufficio Centrale di Meteorologia ed Ecologia Agraria (UCMEA), che in seguito cambierà nome per assumere quello attuale di Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA).

Nel 1927 esce la prima edizione del libro "The climate near the ground" di **Rudolph Geiger** (1894-1981), opera che offre per la prima volta un inquadramento complessivo della micrometeorologia e nel 1928 escono i lavori scientifici di **Ira Sprague Bowen** (1898-1973) sul bilancio energetico di superficie. In ambito micrometeorologico è altresì da segnalare che nel 1927 **Wilhelm Schmidt** realizza per primo stazioni meteorologiche mobili su veicoli a motore per campagne di studio meteorologico in ambito urbano.

Nel 1928 si registra anche la tragica conclusione della seconda spedizione polare di Nobile. Il Dirigibile Italia viene distrutto da una tempesta ed i superstiti del disastro, prima di essere salvati dal rompighiaccio russo Krassin, rimangono a lungo sul pack nella famosa tenda rossa. In tale contesto occorre ricordare il sacrificio del meteorologo svedese **Finn Malmgren** (1895-1928) morto sul pack durante il tentativo infruttuoso di raggiungere a piedi Baia del Re. La meteorologia ha un grande ruolo di supporto alle spedizioni polari dalle quali vengono ricavate informazioni importanti per il progresso di tale scienza.

Nel 1929 in una conferenza tenuta a Dresda **Tor Bergeron** introduce il concetto di climatologia dinamica, disciplina che si propone di analizzare la distribuzione delle grandezze climatiche in relazione alle strutture circolatorie presenti alle diverse scale.

Fra il 1930 e il 1940 in Italia si registra lo sviluppo della rete di osservazione meteorologica per l'assistenza al volo e si avviano le attività di radiosondaggio;

Fra gli anni '30 e gli anni '50 **Howard Penman** (1909-1984) e **Charles Warren Thorntwaite** (1899-1963) introducono il concetto di evapotraspirazione e sviluppano metodi efficaci per la sua stima, metodi che saranno poi ulteriormente sviluppati da **John Monteith** (1929-2012).

Il 6 giugno 1944: lo sbarco alleato in Normandia viene attuato con il contributo determinante di una previsione di temporanea stabilizzazione delle condizioni del tempo e del mare formulata dai meteorologi britannici e statunitensi.

⁶ Di Enrico Fermi si ricorda la precoce passione per la meteorologia che si sostanziò nella costruzione di un barometro ad acqua nel 1917.

Nel 1950 **John von Neumann** (1905-1957) realizza allo IAS di Princeton il prototipo di elaboratore digitale. Tale filone porta lo stesso von Neumann alla messa a punto dei primi metodi di previsione meteorologica tramite modelli matematici del fluido atmosferico implementati su elaboratori. Sempre negli anni '50 si assiste alle prime applicazioni del radar alla meteorologia; i radarmeteorologi introducono per primi il concetto di mesoscala.

Dagli anni '60 notevoli innovazioni tecnologiche trovano applicazione nella meteorologia operativa e fra queste segnaliamo i radar meteorologici, i satelliti meteorologici e per risorse territoriali, le stazioni meteorologiche automatiche elettroniche, i modelli operativi di previsione numerica e i modelli di simulazione dinamica della produzione delle colture e degli ecosistemi naturali.

A livello di satelliti, il primo aprile 1960 gli Stati Uniti lanciano il primo satellite meteorologico, il Tiros 1, in orbita polare e il 7 dicembre 1966 lanciano il primo satellite meteorologico geostazionario, l'ATS1 mentre nel 1977 Eumetsat lancia il primo satellite geostazionario europeo della serie Meteosat

Al termine di questa lunga storia vi è un'attualità che vede l'analisi e la previsione meteorologica come frutto di modelli esplicativi e predittivi applicati a dati di misura puntuale (stazioni meteorologiche, radiosondaggi) e da remoto (satelliti, radar, lidar, sodar, ecc.), con un'affidabilità che ad esempio per i dati prodotti previsionali si rivela sufficiente per gli impieghi operativi per almeno 5-7 giorni successivi all'emissione.

Conclusioni

Se la meteorologia antica e medioevale mostrano un'assai lenta acquisizione di conoscenze sul mondo reale, in assenza delle quali il progresso è assai lento, l'evoluzione storica della meteorologia moderna mostra chiaramente la tendenza dell'indagine a spostarsi dalla dimensione puntuale (il singolo osservatorio meteorologico) a quella bidimensionale (i dati di più osservatori utilizzati per ottenere mappe di pressione, temperatura, precipitazione per un certo territorio) ed infine a quella a tre dimensioni (ad esempio ai dati delle stazioni al suolo si abbinano i dati dei radiosondaggi per avere una visione dell'atmosfera nel suo complesso). Questa visione tridimensionale è ad esempio propria dei modelli di simulazione dinamica utilizzati per le previsioni meteorologiche numeriche (figura 4). Inoltre appare evidente il rapido trasferimento delle innovazioni scientifiche e tecnologiche (nuovi strumenti, nuove tecniche) dal mondo universitario e della ricerca a quello operativo e di servizio. Questo si nota ad esempio nel caso dei primi strumenti meteorologici ma è altresì evidente per strumenti più sofisticati come i radar meteorologici, i satelliti o i modelli di simulazione numerica del fluido atmosferico.

Bibliografia

Baroni A., 2007. La Meteorologia dalle origini ai giorni nostri

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

Borsanti G., 2017. Lamarck, Jean-Baptiste-Pierre-Antoine de Monet chevalier de, biografia

<http://www.treccani.it/enciclopedia/jean-baptiste-pierre-antoine-de-monet-chevalier-de-lamarck/>

Conti Rossini C., 1941. *Le sorgenti del Nilo Azzurro e Giovanni Gabriel*, in *Bollettino della Società Geografica Italiana*, serie VII, vol. VI, pp. 38-47

Glick T.F., Livesey S.J., Wallis F., (a cura di), 2005. *Medieval science, technology and medicine*, an encyclopedia, Routledge, 597 pp.

Jewell R., 1981. Tor Bergeron's first year in the Bergen school: towards an historical appreciation, in *Weather and weather maps*, CCRG 10, Birkhauser, Basel, 577-593.

Leopardi G., 1899. *Del tuono*, in *Scritti letterari di Giacomo Leopardi ordinati e riveduti sugli autografi e sulle stampe corrette dall'autore per cura di Giovanni Mestica con discorso proemiale*, Volume Primo, Firenze, successori Le Monnier, 269-287.

Morison, S. E., 1942. *Admiral of the Ocean Sea: A Life of Christopher Columbus*, Little Brown and Company, Boston, 617 pp..

Museo virtuale Galileo, 2017. Anemometri e banderuole
<http://catalogo.museogalileo.it/multimedia/BanderuoleAnemometriBis.html>

Museo virtuale Galileo, 2017. Igrometro
<http://catalogo.museogalileo.it/multimedia/IgrometroBis.html>

Ravasi G., 2014. *Chi era veramente san Luca*, Avvenire, giovedì 4 settembre 2014.

Surdich G., 2005. *Testi e immagini sull’Africa nella produzione editoriale europea dell’età moderna*, in “In viaggio: scritti immagini e immaginario africano nell’epoca delle scoperte” a cura di Gigi Pezzoli, Milano, 2005 (<http://www.csaamilano.it/2016/04/08/testi-e-immagini-sullafrica-nella-produzione-editoriale-europea-delleta-moderna/>)

Vallance J., 2001. *Scienza greco-romana – meteorologia* in *Storia della Scienza*, Enciclopedia Treccani, http://www.treccani.it/enciclopedia/scienza-greco-romana-meteorologia_%28Storia-della-Scienza%29/

van den Abeele B., 2001. *La scienza bizantina e latina: la nascita di una scienza europea. La tradizione enciclopedica e la descrizione del mondo*, in *Storia della Scienza*, Enciclopedia Treccani, [http://www.treccani.it/enciclopedia/la-scienza-bizantina-e-latina-la-nascita-di-una-scienza-europea-la-tradizione-enciclopedica-e-la-descrizione-del-mondo_\(Storia-della-Scienza\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/la-scienza-bizantina-e-latina-la-nascita-di-una-scienza-europea-la-tradizione-enciclopedica-e-la-descrizione-del-mondo_(Storia-della-Scienza)/)



Figura 1 – La divinità suprema della religione hurrita Teshub, che fu poi assimilata dagli ittiti che la sovrapposero al loro dio delle tempeste Tarhun. In questo bassorilievo la divinità, che porta in una mano un trancio di vite con vari grappoli e con l'altra stringe un mazzetto di spighe di grano, viene invocata dal re Warpalawas di Tyana, capitale del regno neo-ittita (Istanbul, museo archeologico - <http://icias.com/e.o/teshub.htm>).



Figura 2 - foto ripresa presso il centro meteorologico di Bergen nel novembre del 1919. Da sinistra Tor Bergeron, Carl Gustav Rossby e Svein Rossevald. In piedi è Jack Bierknes. Continuando in senso orario vi sono gli assistenti tecnici Sverre Gasland e Johan Larse. In primo piano sulla destra è Gunvor Foersland che acquisisce dati telefonicamente riportandoli immediatamente sulla mappa (Jewell, 1981).

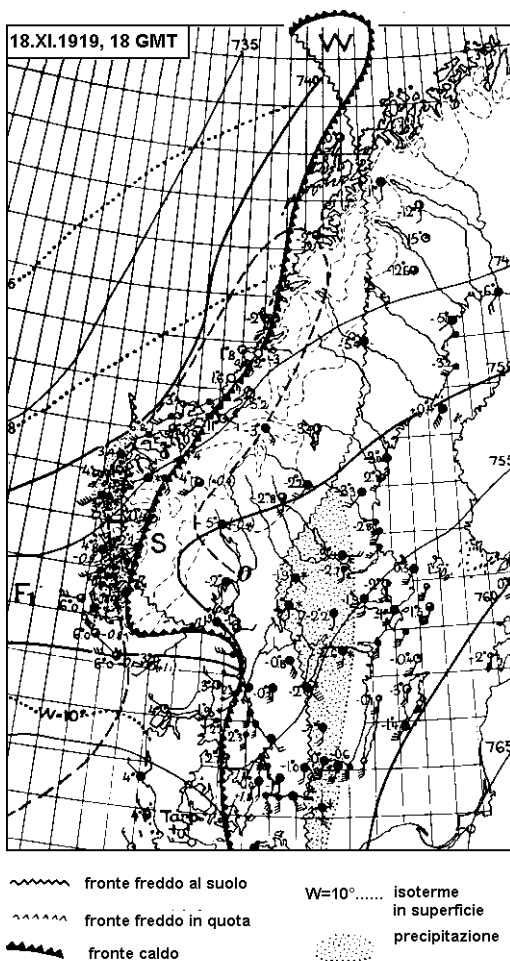


Figura 3 – Analisi della situazione meteorologica del 18 novembre 1919 (h. 18 UTC). Il fronte occluso è indicato con W (Jewell, 1981).

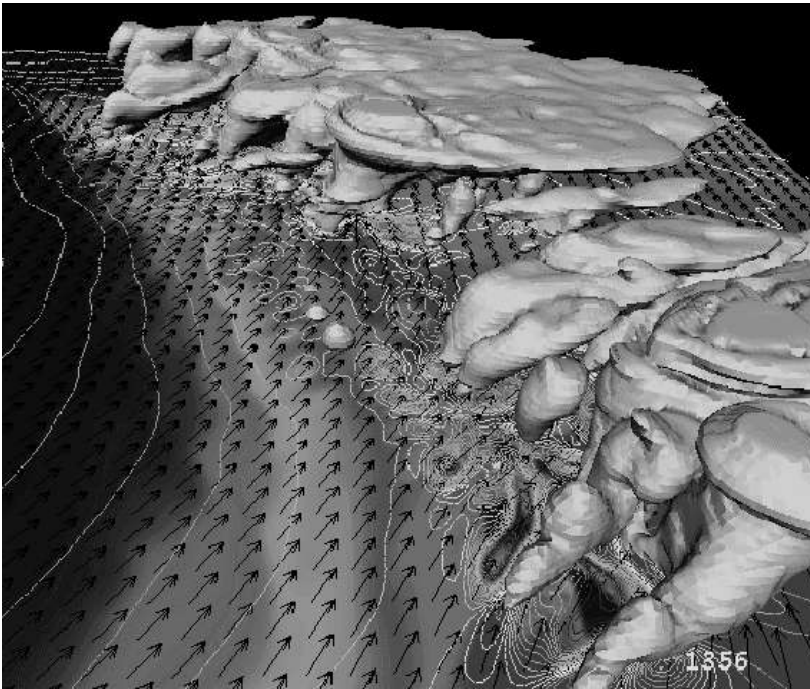


Figura 4 – i moderni sistemi di image processing consentono di visualizzare in forma tridimensionale gli output dei modelli numerici previsionali. In figura si riporta una uscita del modello ad area limitata MM5 riferita allo sviluppo di nubi convettive in un'area montuosa.

