



ISSN 1590-2595

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

quaderni di geofisica

n. 37

**METEOROLOGIA.
CLIMATOLOGIA.
CAMBIAMENTI DI CLIMA.
STORIA DELLA METEOROLOGIA
NEL SEC. XX IN TRE SAGGI**

Vittorio Cantù

2004

quaderni di geofisica



**METEOROLOGIA.
CLIMATOLOGIA.
CAMBIAMENTI DI CLIMA.
STORIA DELLA METEOROLOGIA
NEL SEC. XX IN TRE SAGGI**

Vittorio Cantù

già al Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare Italiana



Ringraziamenti

Il formarsi nella mia mente di questo tentativo di sintesi è dovuto in primo luogo al gen. prof. Ezio ROSINI, il quale nel 1964 mi incaricò di rispondere alle inchieste dell'Organizzazione meteorologica mondiale sulle lunghe serie di osservazioni meteorologiche, al dottor Eugenio DE ROSA, oggi titolare della casa editrice *Eclectica*, il quale mi chiese numerosi contributi per la "EST" (*Enciclopedia della Scienza e Tecnica* "Mondadori") e per la "EST biografica", al prof. Pietro DOMINICI, che mi affidò tutta la parte meteorologica della IV appendice dell'Enciclopedia italiana "Treccani".

L'indispensabile aiuto ed agevolazioni nelle ricerche mi sono venuti principalmente dalla Biblioteca (attualmente disgregata) del Servizio meteorologico dell'Aeronautica, dalla Biblioteca nazionale Vittorio Emanuele finché ebbe sede al Collegio Romano, sempre dalle biblioteche dell'Ufficio centrale di Ecologia agraria, dell'Osservatorio Ximeniano e Marucelliana di Firenze, "Panizzi" di Reggio Emilia e comunale di Montecatini Terme.

Quanto alle persone sento una particolare gratitudine per il m.llo Pierino NARDUCCI, per la signora Alina SPENUSO RESCH, per il dottor Guido CARRARA e per il dottor Luigi IAFRATE, i quali mi hanno aiutato con piena comprensione del problema.

Al solito sono stato aiutato da altre istituzioni e persone, il cui nome è difficile ricordare nel caso di un'elaborazione quarantennale come la presente.

Vittorio Cantù

Indice

Invito alla Storia della Meteorologia	9
1. Riflessioni generali	9
2. Bibliografia tradizionale	10
2.1 Storie generali della meteorologia	10
2.2 Opere, trattati particolari, periodici e particolari settori	10
2.3 Opere utili soprattutto per la storia della Meteorologia in Italia	12
2.4 Scritti per anniversari e altre simili occasioni	12
3. Temi proposti agli Storici della Scienza	13
 Parte I METEOROLOGIA	
La Meteorologia fino al 1938	17
1. Significato del termine come si è storicamente determinato	17
2. La Meteorologia all'alba del secolo	17
3. Il principale filone di sviluppo: la scuola di Bergen	18
4. La Climatologia dinamica	19
5. Il problema dell'origine delle precipitazioni e la teoria dei germi di ghiaccio	19
6. Sviluppi teorici rilevanti	20
7. Teoria della diffusione	20
8. La radiosonda	21
9. La Meteorologia in Italia fino al 1938	21
 La Meteorologia dopo il 1938	24
10. La rivoluzione apportata da C.G. ROSSBY	24
11. Le previsioni numeriche	24
12. La previsione oggettiva	25
13. Il radar in Meteorologia	25
14. La Micrometeorologia	26
15. La stimolazione delle precipitazioni e la lotta contro la grandine	26
16. L'Anno geofisico internazionale	26
17. I satelliti artificiali e la Meteorologia	26
18. La nuova posizione della meteorologia nel mondo scientifico e nella Società	27

19. La VMM e il GARP	27
20. Il Centro europeo di Previsione a media scadenza	28
21. Prospettive per il prossimo futuro	29
22. La Meteorologia in Italia dopo il 1938	29
 Parte II CLIMATOLOGIA	
1. I diversi modi di concepirla	35
2. I conseguimenti	39
2.1 Le prime opere moderne di Climatologia	39
2.2 La classificazione dei climi	39
2.3 La Climatologia dinamica	41
2.4 La Climatologia medica	43
2.5 La Microclimatologia	43
2.6 La Topoclimatologia	44
2.7 Il <i>World Survey of Climatology</i>	45
2.8 Conclusioni e prospettive	45
3. Gli studi climatologici in Italia	46
3.1 Prima dell'Unità	46
3.2 Le iniziative dell'Italia unitaria	46
3.3 Clima d'Italia in generale	47
3.4 Altre attività ed iniziative	47
 Parte III CAMBIAMENTI DI CLIMA	
1. Introduzione	51
2. Storia degli studi sui cambiamenti climatici	54
2.1 I prodromi	54
2.2 Europa centrale di cultura tedesca	55
2.2.1 La Climatologia storica	55
2.2.2 La Palinologia	57
2.3 Paesi nordici	57
2.3.1 L'effetto serra	57
2.3.2 Le varve	58
2.3.3 Palinologia	58
2.3.4 La Paleoglaciologia	58
2.4 Stati Uniti d'America	59
2.4.1 La dendrocronologia	59
2.4.2 Paleoglaciologia	60
2.5 Jugoslavia	61
2.6 Francia	62
2.7 Gran Bretagna	62
2.8 Sviluppi a carattere paneuropeo	63
2.9 I convegni più importanti	63
2.10 Il difficile momento attuale	64
2.11 Perplessità	65

2.12 Conclusione	65
3. Gli studi sui cambiamenti climatici in Italia	66
3.1 Precursori toscani	66
3.2 Prodromi in Lombardia	66
3.3 La scuola di SCHIAPARELLI, CELORIA e DE MARCHI	66
3.4 L'analisi periodale	70
3.5 Dendrocronologia	71
3.6 Palinologia	71
3.7 Attività del Servizio meteorologico dell'Aeronautica	71
3.8 L'affermarsi della Climatologia storica	72
3.9 Modellisti del Clima	72
3.10 Conclusioni e prospettive	72

Invito alla Storia della Meteorologia

1. Riflessioni generali

L'ambiente nel quale ho trascorso gran parte della mia vita – un servizio meteorologico – nel complesso considerava la Storia della Meteorologia come passatempo accademico o come ornamento di ricorrenze celebrative. Quest'opinione è del tutto accettabile fintantoché ci si riferisce al raccogliere notizie secondo la mentalità dell'erudito nel senso più ristretto del termine, insomma alla Cronistoria pura e semplice.

Lo è già meno quando la Storia della Meteorologia s'impegna a mettere in valore la tradizione della comunità cui si appartiene. In Italia la Fisica generale non ha di questi problemi: le grandi scuole da GALILEO a FERMI, sono state valorizzate tempestivamente e comunque sono grandi in misura eccezionale. Il caso della meteorologia è alquanto diverso. Le poche figure che hanno veramente influito sullo sviluppo di tale scienza – come FERDINANDO II de' Medici, Angelo SECCHI e Luigi DE MARCHI – sono misconosciute ed i meteorologi italiani non hanno la psicologia di chi si sente in obbligo di conservare il livello di una tradizione illustre.

Non lo è affatto quando la Storiografia della Scienza attinge il suo pieno significato, è intesa cioè a chiarire i condizionamenti storici dell'operare contemporaneo. Allora le si può attribuire una concreta utilità manifestandosi tra l'altro nel mettere in luce gli indirizzi trascurati o abbandonati. Si spiegano così certe lacune e cecità delle varie discipline come sono concretamente strutturate e si colgono spunti per definire la metodologia più adatta a soddisfare le nuove esigenze che la società viene manifestando. Nel caso della Meteorologia, priva di coscienza del proprio definirsi attraverso la storia, fare della Storiografia è addirittura dovere. Questo ci pare il significato per chi è impegnato in un'attività scientifica delle notissime affermazioni di B. CROCE che la storia è sempre storia contemporanea e la storia è sempre mossa da un'esigenza pratica.

Ai miei occhi di Meteorologo pratico

appassionato alla Storia della propria disciplina, lo Storico della Scienza professionista, appare come una personalità dotata della vocazione, delle conoscenze e dell'esperienza atte a spiegare il passato di una scienza come un insieme di eventi che si sono influenzati l'un l'altro e a mettere in luce la logica nascosta che essi seguono.

Lo storico della Scienza professionista ha naturalmente interessi più vasti e un punto di vista più generale. In particolare è sempre anche un Filosofo della Scienza e si interessa almeno all'epistemologia, intesa come criterio di scientificità, delle varie discipline. Poiché egli è più frequentemente di formazione umanistica, nella fase iniziale della storia di una disciplina – e tale ritengo sia il caso della meteorologia – talvolta equivoca nell'interpretare l'effettiva atmosfera psicologica degli ambienti che la praticano ed anche il carattere di talune personalità¹.

Ritengo di dover auspicare che gli Storici della Scienza esaminino quanto i Meteorologi hanno scritto sulla storia della loro disciplina. Ne emergeranno problemi propriamente storici che i meteorologi non hanno saputo affrontare e risolvere, temi di Storia della Scienza comparata e relazioni tra quella disciplina e la società egualmente non affrontati dalla gente del mestiere.

Nella speranza di propiziare i saggi iniziali per valutare fin a che punto valga la pena di dedicare energia all'argomento, elenco qui di seguito le opere di Storia della Meteorologia comunemente conosciute.

¹ Quest'affermazione irrispettosa poggia su alcuni casi specifici che un esame condotto in comune potrebbe chiarire.

2. Bibliografia tradizionale

2.1 Storie generali della Meteorologia

- 2.1.1 N. SHAW, *Meteorology in history*, Cambridge, University Press, 1926; XII+339 pp.

Apprezziamo questo primo volume del *Manual of Meteorology* per la comprensione – ai nostri occhi perfetta – della realtà meteorologica in cui visse il mondo classico.

- 2.1.2 K. SCHNEIDER-CARIUS, *Wetterkunde. Wetterforschung. Geschichte ihrer Probleme und Erkenntnisse in Dokumenten aus drei Jahrtausenden*, Friburgo, Alber, 1955; XVI+423 pp.

Più esauriente di 1.1, più ricco di bibliografia e di citazioni testuali, è impostato molto logicamente per settori; si arresta anch'esso al primo dopoguerra.

- 2.1.3 A. H. KHRGIAN, *Meteorology. A historical survey*, Gerusalemme, Israel Program for scientific Translations, 1970, IV+387 pp., tradotto dalla II ed. (Leningrado Gidrometeoizdat, 1959) degli *Očerki razviti-ja meteorologii* (I ed. 1948).

Particolarmente attento alle origini della Meteorologia moderna ed alle prime reti di misura, nonché ai filoni perdenti (p. es. a R. FITZ-ROY) e ai precursori (ha fatto conoscere a tutto il mondo che L. DE MARCHI, poco dopo il 1880, aveva esaminato sistematicamente le applicazioni in Meteorologia del concetto di vorticità).

- 2.1.4 F. AFFRONTI, *Atmosfera e Meteorologia. Sommario storico scientifico. Dai miti del passato alle prospettive del futuro*, Modena S.T.E.M., 1976; 320 pp.

Ne esiste un'edizione per l'Ufficio Storico dell'Aeronautica militare, con altri sottotitoli (*Ieri, oggi, domani. Evoluzione storico-tecnico-scientifica*) e datata Roma 1976.

Caratterizzata dall'interesse di tipo umanistico per tutte le grandi avventure dello spirito, ha il grande pregio di far conoscere il quadro culturale nel quale si iscrivono i vari eventi di carattere specificatamente meteorologico. L'opera è accuratissima e in gran parte di prima mano. Qualche caso di contrasto con AA. prestigiosi mi ha indotto ad eseguire riscontri sempre risoltisi a favore dell'AFFRONTI.

- 2.1.5 R. M. FRIEDMAN, *Appropriating the weather*, Cornell University Press, Ithaca, 1989; XX+251 pp.

La tesi fondamentale del FRIEDMAN, che V.

BJERKNES, constatata l'impossibilità di affermarsi sul piano mondiale nella fisica di base, scelse di impadronirsi della Meteorologia per raggiungere altrimenti quello scopo e vi riuscì, ci lascia alquanto perplessi. Il libro però segue minutamente lo sviluppo delle attività di V. B. fino al momento in cui abbandonò la Scuola di Bergen ed è una miniera di particolari interessanti.

Può sorprendere che collochi un'opera così particolare tra la storia generale della Meteorologia. Ma V. B. ha determinato il corso della Meteorologia per l'intero sec. XX e i documenti ricercati con cura e tenacia dall'A. mettono in luce particolari interessantissimi, almeno per il Meteorologo.

- 2.1.6 A. FIERRO, *Histoire de la météorologie*, Denoël, Paris, 1991, 314 pp.

Forse l'unica delle opere menzionate organica e tuttavia leggibile per un lettore generico. Contiene singole notizie utili allo storico della Meteorologia, ma non si può considerare una storia della Meteorologia come scienza.

- 2.1.7 F. NEBEKER, *Calculating the Weather. Meteorology in the 20th Century*, Academic Press, San Diego, 1995; VII+251 pp.

Opera di uno studioso di storia dell'elettrotecnica e dell'elettronica, è ricca di riflessioni epistemologiche, anche se ai nostri occhi unilaterale perché vede tutto in funzione delle previsioni numeriche. Inoltre ci sembra di aver colto qualche imprecisione nel citare dati di fatto.

- 2.1.8 J. L. FLEMING, *Historical essays on Meteorology. 1919-1995*, Boston, American Meteorological Society, 1996; XVIII+617 pp.

Contiene una ventina di eccellenti saggi su singoli settori della meteorologia che hanno trionfato ed anche una rassegna di opere recenti interessanti la Storia della Meteorologia.

2.2 Opere trattanti particolari periodi o particolari settori della Meteorologia

- 2.2.1 H. HILDEBRAND-HILDEBRANDSON e L. TEISSERENC-DE-BORT, *Les bases de la Météorologie dynamique. Historique-État de nos connaissances*, Tome I, Paris, Gauthier-Villars, 1907, ca 250 pp.

Il libro – ingiustamente criticato perché non contiene neppure un'equazione – vuole essere una rassegna di fatti accertati su cui costruire una Meteorologia dinamica, nella convinzione che

molte volte il progresso è sorto dal riconsiderare i medesimi fatti con una mentalità scientifica più progredita. La composizione tipografica del frontespizio tratta HILDEBRAND come cognome, però il connazionale T. BERGERON nella bibliografia di 2.3 scrive HILDEBRANDSSON, H.H.

- 2.2.2 B. NEIS, *Fortschritte in der meteorologische Forschung seit 1900*, Francoforte, Akademische Verlagsgesellschaft, 1956; XVIII+238 pp.

Dopo riflessioni sulle scienze fisiche e sulla posizione della Meteorologia nel loro ambito, esamina con cura l'applicazione alla Meteorologia dei progressi nei vari settori della Fisica. Forse può fornire ancor oggi spunti per ricerche secondo indirizzi non sviluppati a fondo.

È opera di un Fisico generico dedicatosi alla Meteorologia in età matura. Ne consegue che i meteorologi sentono il suo lavoro un po' estraneo alla loro concreta esperienza.

- 2.2.3 T. BERGERON, *Methods in scientific weather analysis and forecasting. An outline in the history of ideas and hints at a program*. In: B. BOLIN, *The atmosphere and the sea in motion. Scientific contributions to the Rossby memorial volume*, Nuova York, Rockefeller Institute Press, 1959, p. 440-474.

Storia delle idee in meteorologia a partire dal 1820 circa. Esamina i vari filoni di pensiero, segnalando quelli vincenti e quelli bloccati. Mette in rilievo l'importanza e la difficoltà del «contatto tra teoria ed empiria», difficoltà ch'egli ebbe il dono di superare. La rapida affermazione della Scuola di Bergen nei più svariati ambienti e nella cultura di tutti si deve alla sua capacità di tradurre i risultati in termini descrittivi sintetici.

- 2.2.4 H. G. CANNEGIETER, *The history of the International Meteorological Organisation, 1872-1951*, «Annalen der Meteorologie. Neue Folge. Nr. 1», Offenbach a. M., Deutsches Wetterdienst, 1963; 280 pp.

Importante perché forse il maggior successo dei meteorologi sta proprio nell'aver realizzato per tempo una standardizzazione quasi perfetta e indiscussa.

- 2.2.5 W. E. K. MIDDLETON, *The history of the barometer*, Baltimora, Johns Hopkins Press, 1964; XX+480 pp.

- 2.2.6 Id. *A history of the theories of rain*, Londra, Oldbourne History of Science Library, 1965; VIII+ 223 pp. Distribuito da Elsevier.

- 2.2.7 Id. *A history of the thermometer and its use in meteorology*, Baltimora, Johns Hopkins Press, 1966.

- 2.2.8 Id. *Invention of the meteorological instruments*, Baltimora, Johns Hopkins Press, 1969; XIV+362 pp.

- 2.2.9 Id. *The experimenters. A study of the Accademia del Cimento*, Baltimora-Londra, Johns Hopkins Press, 1971.

Crediamo che il MIDDLETON (nei riferimenti bibliografici – anche nel vol. 3 degli *Annali della Storia d'Italia* Einaudi – spesso citato come KNOWLES-MIDDLETON) in origine fosse uno specialista di strumenti meteorologici. Dopo essersi interessato alla storia del termometro, divenne essenzialmente uno storico della strumentazione meteorologica e da ultimo dell'ambiente scientifico fiorentino del Seicento.

- 2.2.10 [H. DANIEL] *One hundred years of international co-operation in meteorology*, Ginevra, Organizzaz. Meteorol. Mondiale, 1973; pp. 53+4 non num. Pubbl. WMO No. 345.

- 2.2.11 H.H. FRISINGER, *The history of Meteorology to 1800*, Nuova York, Science History Publication, 1977; 148 pp.; distribuito dall'American meteorological Society.

Opera informata ed accurata, sebbene di carattere espositivo. Per fare un esempio, accenna agli scritti meteorologici di G. CARDANO in maniera più precisa e più documentata di qualunque opera precedente.

- 2.2.12 Gisela KUTZBACH, *The thermal theory of Cyclones. A history of meteorological thought in the nineteenth century*, Boston, Am. met Soc., 1979; XIV+255 pp.

Rappresenta un effettivo progresso nella conoscenza del pensiero meteorologico ottocentesco. Illumina sufficientemente le relazioni tra i vari studiosi ed indirizzi e non trascura i filoni perdenti.

- 2.2.13 S. PALMIERI et al, *Il mistero del tempo e del clima. La storia, lo sviluppo, il futuro*, Napoli, CUEN, 2000, 214 pp. Altri AA.: F. AFFRONTI, L. IAFRATE, A. PAOLELLA, M. PAGLIARI, Anna Maria SIANI.

Il capitolo del PALMIERI, *Il '900: la simulazione numerica della dinamica dell'atmosfera*, è il più attuale e quello che più si presta ad un'utilizzazione immediata. Gli altri contengono precisazioni e notizie inedite utili per studi monografici e una storia minuta della Meteorologia.

Il PALMIERI quando occupava posizioni adatte nell'organizzazione meteorologica internazionale riuscì con successo a promuovere un programma che consentì di creare nell'Università italiana un gruppetto di specialisti della ciclogenesi sottovento alle Alpi. Questo volume è uno sforzo per promuovere una scuola italiana di Storia della Meteorologia.

2.3 Opere utili soprattutto per la storia della Meteorologia in Italia

2.3.1 F. DENZA, *La meteorologia in Italia*, «Studi in Italia», a. VI, v. I, p. 405-449; 1883. Stampato anche a parte presso la tipogr. Befani di Roma nello stesso 1883 e rist. nel 1885.

Meno organico e completo dei due lavori citati di seguito, contiene qualche notizia (p. es. che i primi scritti di climatologia dell'Italia furono pubblicati dal danese J. SCHOUW) difficilmente reperibile altrove.

2.3.2 L. PALAZZO, *Meteorologia e geodinamica*, In: ACCAD. LINCEI, *Cinquant'anni di storia italiana*, Milano, Hoepli, 1941; 51 pp.

2.3.3 F. EREDIA, *L'organizzazione del servizio dei presagi del tempo in Italia*, «Rivista meteorico-agraria», a. XXXV, n. 29, p. 1001-1048; 1914.

Questo lavoro e il precedente si segnalano per organicità e completezza.

2.3.4 G. CRESTANI, *La meteorologia dai primordi al secolo XVIII. La Meteorologia nei secoli XIX e XX*, In: G. CRESTANI et al, *L'atmosfera*, Milano, F. Vallardi, 1939; p. 33-58 e 59-82.

Più generico dei due precedenti.

2.3.5 SERVIZIO METEOROLOGICO DELL'AERONAUTICA, *Origini ed evoluzione del Servizio meteorologico dell'Aeronautica*, Vol. primo: *Dalle origini al maggio 1940*, «Riv. aeron.», 1973, n. 4, p. 116-130; n. 5, p. 37-53; n. 6, p. 93-120; n. 10/11, p. 163-199; 1974, n. 1/2, p. 119-152, n. 3/4, p. 135-164; n. 7/8, p. 151-192; n. 9/10, p. 165-182; 1975, n. 1/2, p. 163-200; racc. in vol. nello stesso 1975. Vol. secondo: *Il secondo conflitto mondiale, il dopo guerra, la ricostruzione*, Roma, 1981, VIII+126 pp. AA.: F. AFFRONTI, D. MASTRONARDI, M. MONTALTO, G. PETTA, A. SERRA, I. VISCONTI.

Opera ricchissima di notizie sul Servizio che l'ha

pubblicata.

2.4 Scritti per anniversari ed altre simili occasioni

2.4.1 SERVIÇO METEOROLÓGICO NACIONAL, *Symposium on "the meteorological services facing the progress in the field of meteorology. Present situation and prospects for the decade 1971-1980"*, Lisbona, s.d. [1971 o 1972], 229 pp.

Si segnalano per ricchezza di notizie sulla storia della meteorologia i contributi di B. J. MASON (*The evolution of meteorology as a science and a technology*) e di J. PINTO PEIXOTO (*The place of meteorology in the general panorama of science*) e per sensibilità storica il contributo di L. DUFOUR (*Quelques considérations sur l'organisation des services météorologiques tirée de l'histoire de la météorologie*).

2.4.2 D. P. Mc INTYRE, *Meteorological challenges. A history*, Ottawa, Information Canada, 1972; pp. 337+5 non num.

Tutti i contributi hanno carattere storico, appaiono condotti di prima mano e forniscono molte notizie interessanti. L'ultimo e più breve (*Winds of change* di R.M. WHITE) pone con lucido realismo i problemi connessi alla ricerca e alla politica ambientali.

2.4.3 L. GARCÍA DE PEDRAZA e J. M. GIMÉNEZ DE LA CUADRA, *Notas para la Historia de la Meteorología en España*, Madrid, Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones, 1985; 144 pp.

Narra un'esperienza simile all'italiana e opposta a quella trattata nell'opera seguente.

2.4.4 J. F. DE LISLE, *Sails to Satellites. A history of meteorology in New Zealand*, Wellington, New Zealand Meteorological Service, 1986, [VIII]+186 pp.

Descrive un'esperienza sensibilmente diversa dalle europee, direttamente centrata sulle esigenze pratiche, molto attenta ai costi e ai rendimenti.

Sebbene io rimanga convinto che la prima redazione della storia di una disciplina debba essere fatta da chi l'ha praticata, l'inserimento nel complesso della Storia della Scienza deve essere opera di specialisti di quest'ultima. Menzionerò quindi alcuni problemi che la mia preparazione e la mia capacità non sanno chiarire.

3. Temi proposti agli Storici della Scienza

3.1 Ferdinando II de' Medici creò una rete di stazioni meteorologiche, mettendo l'accento sulle misure di temperatura. La «Rete medica» funzionò per almeno sedici anni, ma dalle osservazioni non fu tratta alcuna conclusione. A mio parere ciò dipende dal carattere molto prudente e insicuro del Granduca e segna la differenza tra la sua iniziativa della rete meteorologica e l'Accademia del Cimento, intrapresa del fratello, caratterizzata da un «eccesso di empirismo, tra goliardico e signorile»². Ferdinando II ha dato, una volta per tutte un'impostazione quantitativa alla Meteorologia, che non si è mai sviluppata come scienza naturale, al punto che ancora oggi manca una caratterizzazione meteorologica del territorio.

3.2 Tra il 1860 e il 1880 i meteorologi si lasciarono affascinare dal «metodo sinottico», consistente nel riportare sulle carte i dati rilevati su tutta la Terra al medesimo istante e con strumenti e procedure standardizzati. Probabilmente ciò fu la causa del divorzio dalla Fisica di prima linea, che si può dire non sia stato completamente superato finché le scoperte di E.N. LORENZ non diedero origine allo sviluppo della Fisica non lineare.

3.3 L'Università di Padova continuò per molto tempo a presentare il corso di Meteorologia come spiegazione e commento di Aristotele, ma di fatto sembra aver accettato rapidamente le nuove idee.

3.4 La scienza obiettivamente più vicina alla Meteorologia è l'Oceanografia, ma la prima nel XVII sec. assunse un indirizzo quantitativo e la seconda persistette in un indirizzo descrittivo.

3.5 Diversi pionieri della Statistica si occuparono anche di Meteorologia, ma non pare abbiano applicato la prima alla seconda.

Ovviamente sono a disposizione degli eventuali interessati per comunicare loro gli elementi che mi hanno indotto ad avanzare queste ipotesi.

² F. DIAZ, *Il Granducato di Toscana. I Medici*, Torino, UTET, 1976, cfr. p. 453.



Parte I

METEOROLOGIA

La Meteorologia fino al 1938

1. Significato del termine come si è storicamente determinato

In pratica la Meteorologia comprende ogni forma di studio dell'Atmosfera. Da decenni i Fisici l'identificano con la Fisica dell'Atmosfera, ma non hanno mai contestato il diritto di chiamarsi Meteorologo a chi muove da una mentalità geografica; piuttosto i cultori di una Meteorologia rigorosamente matematica hanno sporadicamente designato se stessi come Atmosferisti. La Meteorologia come disciplina unitaria e come professione è nata alla metà dell'Ottocento dall'esigenza prognostica, che la domina tuttora, non senza provocare qualche squilibrio. Chi va oltre la fluido e termodinamica e le quote certamente influenzanti i fenomeni al suolo rimane un po' a parte; ciò vale più che altro per gli Ionosferisti, ma anche per gli studiosi di Aeronomia e persino dell'Elettricità e dell'Ottica atmosferica. Di fatto si tende a designare come Meteorologia le ricerche, anche molto astratte, finalizzate alla previsione del tempo, ma la definizione della Meteorologia come studio dell'Atmosfera in generale non è mai stata messa in discussione. Viceversa il concetto tradizionale di Climatologia è stato oggetto di continui dibattiti, segno che vi si nasconde qualcosa di insoddisfacente (Cfr. CLIMATOLOGIA 1).

Probabilmente si è concepita la Climatologia come una sorta di provincia autonoma della Meteorologia perché ne costituisce l'unica parte che si sia sviluppata da concetti tradizionali e perché manca la piena coscienza che l'atmosfera si studia con mentalità diversa a seconda degli interessi dai quali si è mossi. Questa distinzione è stata posta con chiarezza soltanto nel 1958, da E. T. STRINGER, il quale riconosce una Meteorologia matematica, una fisica e una geografica.¹ La prima è la Meteorologia dei modelli di calcolo cui si debbono i clamorosi successi degli ultimi decenni, la seconda affronta particolari fenomeni riproducendoli in laboratorio o esaminandoli accuratamente in natura secondo la concezione tradizionale della Fisica, la terza si sforza di fornire le nozioni meteorologiche desiderate dalla società per l'uso del territorio, supplendo alle carenze dei dati di misura

sistematici con brevi campagne strumentali o con l'osservazione diretta. Molti dei dibattiti suaccennati si possono interpretare come tentativi di mascherare la Meteorologia geografica da Meteorologia matematica.

Al concetto tradizionale di Climatologia - che negli scorsi decenni è andato perdendo di significato fino al punto di far prevedere che il termine sarebbe scomparso - se n'è oggi sostituito uno nuovo, che si potrebbe definire come scienza delle proprietà statistiche degli stati di equilibrio dell'atmosfera e delle condizioni del passaggio dall'uno all'altro di essi. Sintomo di queste vicende è il fatto che la commissione per la Climatologia dell'OMM negli anni sessanta a poco a poco perde il suo inizialmente grandissimo prestigio, nel 1971 si trasforma in Commissione per le applicazioni speciali della Meteorologia e della Climatologia e tra il 1982 e il 1984 ridiventa Commissione di Climatologia.

2. La Meteorologia all'alba del XX secolo

I principali conseguimenti della Meteorologia dell'Ottocento consistono nell'aver realizzato un coordinamento internazionale incredibilmente avanzato e sentito e nell'aver scoperto e sfruttato la relazione tra bassa pressione e tempo cattivo. Questa scoperta aveva prodotto da una parte concetti fondamentali e fecondi come quelli di "anticiclone" (F. GALTON 1863)² e di "centro di azione" (L. TEISSERENC DE BORT 1880-81)³ e dall'altra il tentativo (che si può considerare esaurito già con i *Principi della previsione mediante carte del tempo* di R. ABERCROMBY,⁴ del 1885, ma scomparirà dalla manualistica soltanto nel secondo dopoguerra) di far corrispondere determinate condizioni del tempo alle forme isobariche intermedie. La geometria delle isobare magnetizza almeno due generazioni di Meteorologi professionisti, inerti e poco critici.

In particolare è inevitabile domandarsi come mai nessuno avesse pensato a sfruttare la teoria della correlazione sviluppata organicamente (peraltro a scopi di Biometria) a partire dal 1886 dallo stesso GALTON e dal suo grande continuatore K. PEARSON, il quale nel 1897 l'aveva applicata a studiare le proprietà statistiche dell'insieme delle misure di pressione eseguite in diverse stazioni. Si può forse ipotizzare una rilut-

¹ *Geographical Meteorology*, "Weather", v. XIII, n.11, p. 377-384, nov. 1958.

² *A development of the Theory of Cyclones*, "Proc. r. Soc.", v. 12, p. 385-386.

³ *Études sur les causes qui déterminent la circulation de l'atmosphère. Sur les grands centres d'action de l'atmosphère*. ASSOCIAT. FRANÇ. AVANCEM. SCI. Congrès de Reims e d'Alger. Parigi, 1880 e 1881.

⁴ *Principles of forecasting by means of weather-charts*. Met. Office Publ. n. 40.

tanza a correlare grandezze fisiche percepite come di natura diversa?

Gli eventi così delineati attendono ancora chi li studi a fondo e con ogni probabilità vanno collegati alla perdita di interesse per la Meteorologia che dopo il 1870 si manifesta tra gli scienziati di primo piano e nella società tutta.

Sono già disponibili e in gran parte applicati a problemi particolari gli storicamente più importanti modelli matematici di tipo deterministico, che reggeranno l'evoluzione della Meteorologia almeno fino all'ottavo decennio del Novecento in cui incomincerà a manifestarsi l'intervento profondamente innovatore di E. N. LORENZ (cfr. 18). Le teorie fondamentali erano state create tra il 1858 e il 1889 dal genio universale di H. HELMOLTZ. Altrettanto fondamentali sono risultate anche alcune loro immediate elaborazioni: gli studi di L. DE MARCHI *Sulla costanza della rotazione totale in un sistema di venti* (1886)⁵ e il teorema della circolazione enunciato da V. BJERKNES nel 1897⁶.

Da un ventennio sono state gettate le basi teoriche e sperimentali della teoria delle precipitazioni: nel 1870 W. THOMSON (dal 1892 Lord KELVIN) aveva dimostrato che perché una goccia non evapori la tensione di vapore nell'aria circostante deve essere tanto maggiore quanto minore è il raggio della goccia, mentre J. AITKEN nel 1881 aveva messo in luce l'importanza delle particelle solide come nuclei di condensazione nell'atmosfera e nel 1888 aveva realizzato uno strumento per contarli.

A partire dal 1892 si è sviluppata l'esplorazione della "libera atmosfera" (l'atmosfera al di sopra dello strato dove sono importanti gli effetti dell'attrito col suolo). Ne nasce un settore della Meteorologia piuttosto unitario, conosciuto col nome di Aerologia proposto da W. KÖPPEN (cfr. CLIMATOLOGIA) nel 1906, dotato di propri sviluppi tecnici e teorici e coordinato sin dal 1896 da una commissione dell'Organizzazione meteorologica internazionale (poi mondiale), che inizialmente si chiamava "pour l'Aérostation scientifique" (dove lo strano termine italiano "aerostazione" usato accanto ad "aeronautica", "aeronavigazione" e "navigazione aerea"), ed oggi si chiama "per le Scienze dell'Atmosfera".

Anche la tecnica degli strumenti meteorologici alla fine dell'Ottocento è ormai matura e i primi ottant'anni del Novecento non la rivoluzio-

neranno.

Infine il secolo XIX aveva intensamente studiato la meteorologia delle singole località ed aveva sostanzialmente risolto il problema di classificare i climi; lo schema che W. KÖPPEN aveva proposto nel 1884 e poi perfezionerà sin verso il 1940 è ancora oggi il più diffuso.

3. Il principale filone di sviluppo: la Scuola di Bergen

Ai lavori della *Commissione per l'Aeronavigazione scientifica* partecipa attivamente dal 1903 anche V. BJERKNES (1862-1951). Con quali intenti si desume dal titolo del suo primo intervento *Impiego delle osservazioni aerologiche nella teoria*⁷ e dal fatto che nel 1904 imposta in maniera così limpida e convincente il problema di prevedere deterministicamente lo stato dell'atmosfera da ottenere subito il sostegno finanziario della Fondazione Carnegie⁸, sostegno che sarà mantenuto fino al 1941. Negli anni successivi, pur passando dall'università di Stoccolma, dove insegnava dal 1895, a quella di Oslo (1907) e poi a quella di Lipsia (1913) egli sviluppa sistematicamente il suo programma di Meteorologia dinamica. Nel 1910 e nel 1911 pubblica con la collaborazione di J. M. SANDSTRÖM, O. DEVIK e Th. HESSELBERG le prime due parti (*Statica e Cinematica*) di una grande opera intitolata *Meteorologia e Idrologia dinamiche*. Al posto della terza parte (*Dinamica*) vedrà la luce nel 1933 l'*Idrodinamica fisica*, con altri collaboratori. Nel 1917 egli ritorna in patria come professore all'Istituto di Geofisica di Bergen, di recente fondato dall'oceanografo B. HELLAND - HANSEN. Lo accompagnano i due assistenti stipendiati dalla Fondazione Carnegie; il figlio Jakob e H. SOLBERG. Ai primi del 1918 il dibattito sulla possibilità che la Meteorologia sia d'aiuto all'economia nazionale lo induce a tentare la prognostica pratica. Appena è stata ottenuta una maggiore densità della rete di osservazione al suolo J. BJERKNES concepisce con una rapidità che ha dell'incredibile il ben noto modello di ciclone con i fronti caldo e freddo.

Esso in realtà riproduce un quadro che in passato era stato descritto numerose volte. La grande novità consiste nel promuoverlo a caso

⁵ "Ann. Uff. Centr. Met. Ital.", s. II, v. VI, parte I, 1884 (ma 1886).

⁶ Prima a lezione, poi alla Società di Fisica di Stoccolma e negli *Scritti editi dalla Società scientifica di Christiania*. Primo scritto largamente diffuso *Über einen hydrodynamischen Fundamentalsatz und seine Anwendung besonders auf die Mechanik der Atmosphäre und des Weltmeeres* Kungl. Vetenskapskad. Handling, n. s., a. 31, n. 4, 1898/99.

⁷ *Atti COMMISS. AÉROSTAT. SCI.*, 9^{me} Réunion (1909), p. 73-84.

⁸ "Met. Ztschr.", genn. 1904, p. 1-7.

normale superando il blocco psicologico ad accettare discontinuità nette come quelle contemplate dalla teoria dell'HELMOLTZ⁹, teoria della cui fecondità V. BJERKNES, che l'ha elaborata profondamente, è ormai convinto. La richiesta di una più densa rete di stazioni si può interpretare come un esperimento per verificare quella convinzione.

Nel 1919 T. BERGERON, che da pochi mesi si è trasferito a Bergen, scopre l'occlusione e nel 1920 il SOLBERG introduce il concetto di "famiglia di cicloni" e dimostra l'utilità di supporre un "fronte polare" continuo in ciascun emisfero. A questo punto la scuola norvegese ha proposto un modello interpretativo dei fenomeni atmosferici a scala planetaria che resisterà incredibilmente bene all'usura del tempo.

Il segreto del successo sta nel coraggio da parte di V. BJERKNES, la cui mentalità autentica è quella del fisico matematico, di passare dopo una ventennale elaborazione rigorosamente teorica, che ha condotto a riconoscere quel che ci si rifiutava di vedere, a un vivace e imprevisto sviluppo a base naturalistica. Per qualche anno egli rimane nella scuola che ha creato, difendendola dai primi critici e cercando di elaborare una giustificazione teorica delle scoperte empiriche, poi nel 1926 l'abbandona andando a dirigere il gruppo di Fisica teorica dell'università di Oslo.

A partire dal 1979 le peculiarità della Scuola di Bergen hanno sollevato l'interesse degli storici della Scienza e si attendono con curiosità i risultati di R. JEWELL, che da qualche anno è incaricato di studiarla "a tempo pieno" e per ora ha pubblicato un breve, ma convincente ed utile articolo ("Bull. Am. Meteorol. Soc.", v. 62, n. 6, p. 824-830; 1981). Mentre lascia qualche perplessità un libro di R. M. FRIEDMAN (*Appropriating the Weather*. Ithaca, Cornell University Press, 1989; XVII+251 pp.) secondo la cui tesi centrale – peraltro presentata con qualche esitazione e attenuazione – V. BJERKNES, con cinica lucidità riconobbe nella Meteorologia l'unico settore della fisica che gli avrebbe permesso di affermarsi a livello mondiale e manovrò con fredda determinazione per impadronirsene.

Dopo le prime scoperte, la scuola di Bergen fiorisce per un ventennio. Subito accorrono dai paesi scandinavi giovani di primissimo ordine: nel 1918 S. ROSSELAND, nel 1919 T. BERGERON, E. BJÖRKDAL e C. G. ROSSBY; negli anni successivi E. PALMÉN e S. PETTER-

SEN. Più tardi verranno da più lontano altri studiosi per un periodo di formazione.

I modelli iniziali vengono completati e modificati man mano che proviene nuova informazione, specie dalla libera atmosfera (la cui osservazione è insistentemente promossa dalla Scuola), ma non perdono mai la loro fisionomia fondamentale. Essi comportano che il ciclone nasca come ondulazione instabile della superficie di discontinuità. Una lunghezza d'onda adeguata non è trattabile con lo schema di HELMOLTZ e si rivela difficile da giustificare teoricamente. Si riesce dopo parecchi anni, escogitando vari schemi e combinandoli (SOLBERG 1928)¹⁰. Il risultato appare alquanto forzato e viene il dubbio di trovarsi davanti a un insieme di fenomeni più fecondamente rappresentabili dalle qualità sintetiche del concretamente percepibile. La sensazione di aderenza alla realtà che pervade quanti fanno esperienza dei metodi norvegesi fa sì che nel giro di quattro lustri questi si affermino nel mondo intero.

4. La Climatologia dinamica

La scuola di Bergen sottrae la climatologia all'analiticità astratta che la caratterizzava all'incirca dal 1880. I *Lineamenti di Climatologia dinamica* di T. BERGERON ("Meteorol. Ztschr.", a. 47, n. 7, p. 246-262; 1930. Cfr. CLIMATOLOGIA 2.2) introducono un termine che si affermerà e insegnano a ragionare su complessi organici e reali, quali le masse d'aria e i tipi di tempo e di circolazione. In fondo anche qui il passo essenziale consiste nell'accettare l'esistenza di discontinuità: in ciascuna località il tempo resta più o meno lo stesso per qualche giorno e poi trapassa rapidamente in un altro tipo, in ciascun istante sulla carta sinottica si riconoscono vaste aree aventi un tipo di tempo e al di là di un fronte aree altrettanto vaste che ne hanno un altro.

5. Il problema dell'origine delle precipitazioni e la teoria dei germi di ghiaccio

Al BERGERON - e precisamente alla felicissima e tempestiva comunicazione che egli tiene nel 1933 all'assemblea di Lisbona dell'Unione geofisica e geodetica internazionale - si deve anche l'affermarsi della prima soddisfa-

⁹ Questa nostra interpretazione, nata da una quindicina di anni fa – col carattere di un'intuizione – è stata poi corroborata dalla lettura dall'articolo *Über die Fortbewegung der Konvergenz- und Divergenzlinien* ("Met. Ztschr", ott-nov 1917, p.345-349) e dalla p.847 dell'*Hydrographie physique* di V. BJERKNES (Parigi 1934).

¹⁰ *Integrationen der atmosphärischen Störungsgleichungen* "Geophys.Publ.", v. V, n. 9.

cente teoria delle precipitazioni, detta “dei germi di ghiaccio” o “di BERGERON – FINDEISEN”: quando l’aria umida si raffredda oltre un certo limite, il vapore condensa in minutissime goccioline che presentano una velocità di caduta trascurabile e quindi non danno luogo a pioggia. Se però sono compresenti cristallini (“germi”) di ghiaccio e goccioline, queste incominciano ad evaporare a beneficio di quelli, che si ingrossano fino ad acquistare una velocità di caduta non più trascurabile. Se poi - come avviene normalmente alle nostre latitudini - nel cadere attraversano per un tempo sufficientemente lungo porzioni di atmosfera a temperatura positiva, i fiocchi di neve giungono al suolo come gocce di pioggia. A spiegare come mai in mezzo alle goccioline si trovano i cristallini di ghiaccio provvede tra il 1937 e il 1939 con un imponente serie di lavori sperimentali e teorici W. FINDEISEN, dimostrando che nell’atmosfera sono presenti particelle solide piccolissime, ma sempre abbastanza grandi perché del vapore sovrassaturo a temperature molto basse (condizioni che si verificano alle quote ove si formano le nubi apportatrici di precipitazioni) vada a congelare su di essi.

La teoria si trova in embrione nella *Termodinamica dell’Atmosfera* di A. WEGENER (1911) ed è già esposta in forma abbastanza compiuta nell’*Analisi tridimensionale delle condizioni del tempo* del BERGERON (1928)¹¹. Più tardi sarà perfezionata con sottili distinzioni (che peraltro non ne intaccano il nucleo, il quale troverà conferma anche nei risultati degli esperimenti di stimolazione artificiale delle precipitazioni) e con un’importante aggiunta: nelle regioni più calde piove da nubi interamente a temperatura positiva. Qui il compito di raccogliere l’acqua distribuita in goccioline minute è affidato a gocce più grosse che si formano intorno a nuclei di condensazione igroscopici.

6. Sviluppi teorici rilevanti

Nel 1911 L. F. RICHARDSON (1881-1953; mente eclettica e geniale) concepisce il progetto di applicare alla previsione del tempo i metodi per la soluzione approssimata di equazioni differenziali che egli da poco ha incominciato a sviluppare. Nel 1916 l’elaborazione metodologica è pronta, ma egli sente la neces-

sità di aggiungere l’applicazione a un caso concreto. Nel 1919 anche questa è compiuta. I risultati non sono brillanti, ma egli non esita a presentare il tutto per la pubblicazione, che si trascina sino al 1922.¹² Il programma di sviluppo delle previsioni numeriche che nell’ottavo decennio porterà al successo incomincerà verso il 1960 con un riesame critico della sua opera.

Pure nel 1922 è pubblicata la classificazione dei venti di H. JEFFREYS,¹³ che avrà una fortuna sproporzionata alla sua utilità pratica. In effetti - anche se nel presentarla di solito non si dice - essa ha un grande valore teoretico. Offre un sistema organico di equazioni del vento secondo le ipotesi più opportune per i vari indirizzi di studi e fa toccare con mano che le schematizzazioni matematiche sono sempre relative a esigenze determinate.

7. Teoria della diffusione

La prima teoria della diffusione nell’atmosfera è concepita da G. I. TAYLOR nel 1913, quando a bordo dello “Scotia” inviato a rilevare gli iceberg dopo la catastrofe del “Titanic” sente il bisogno di chiarire come si forma nebbia in aria calda trasportata su mare freddo. In un articolo del 1915 propone qualcosa di simile alla diffusione molecolare, con coefficienti di viscosità, diffusione e conduttività turbolenta.¹⁴ Sostanzialmente la stessa impostazione si trova nel primo lavoro in materia (1917) dell’austriaco W. SCHMIDT,¹⁵ mosso ad affrontare il problema da un interesse per le particolarità meteorologiche dei luoghi e una curiosità per tutti i fenomeni e processi che si possono isolare nell’atmosfera. Le prime misure condotte dai due studiosi danno risultati compatibili.

L’uso dei gas asfissianti durante la Grande Guerra rende il problema di vivo interesse pratico e nel 1921 il governo britannico fonda a Porton, nella pianura di Salisbury, un istituto per studiarlo. Dai primi esperimenti i coefficienti risultano maggiori di almeno un ordine di grandezza rispetto alle prime determinazioni e per di più crescenti con la distanza dalla sorgente dei traccianti. Il TAYLOR si indirizza allora a studiare la correlazione tra il moto di una particella in due istanti successivi

¹¹ *Über die dreidimensional verknüpfende Wetteranalyse*. “Geofys. Publ.”, v. V, n. 6.

¹² *Weather Prediction by numerical Process*. Londra, Cambridge University Press.

¹³ *On the dynamics of wind*. “Q. J. r. Met. Soc.” v. 48, p. 29-47.

¹⁴ *Eddy motion in the atmosphere*. “Philos. Trans.”, s. A, v. 215, p. 1-26.

¹⁵ *Der Massenaustausch bei der ungeordneten Strömung in freien Luft und seine Folgen*. “Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien. Math.-naturwiss. Kl., Abt. II a.”, v. 126, p. 757-804.

(Sulla diffusione mediante moti continui. 1922).¹⁶

Nel frattempo gli sforzi per impostare la previsione numerica avevano condotto anche il RICHARDSON a tentare una teoria della diffusione. Un percorso non dissimile a quello del TAYLOR, nel corso del quale introduce quello che oggi è conosciuto come numero di RICHARDSON, lo conduce a considerare la velocità alla quale due molecole si allontanano: essa risulta crescere insieme con la distanza.¹⁷ Nel 1935 L. PRANDTL, uno dei padri dell'Aerodinamica, fa un grande passo in avanti, con una nuova teoria che si basa sul percorso di mescolanza (concetto che si trova già nei primi lavori di TAYLOR) e suppone che esso vari secondo certe leggi da un punto all'altro della corrente.¹⁸

L'ulteriore sviluppo delle teorie della diffusione e la messa in luce di altri interessantissimi aspetti dell'Atmosfera sono dovuti a discipline non specificamente meteorologiche (Idrodinamica, Aerodinamica, Meccanica e Termodinamica statistiche), nelle quali sono confluiti anche contributi di Meteorologi.

8. La radiosonda

Nel 1927 R. BUREAU e P. IDRAC realizzano e descrivono in una comunicazione scientifica¹⁹ il primo modello soddisfacente di quella che sarà battezzata "radiosonda" (da loro stessi nel 1931 o da H. HERGESELL): una minuscola radiotrasmittente da sospendere a un pallone libero e capace di modulare istante per istante le sue emissioni secondo la pressione, la temperatura e l'umidità dell'aria in cui si trova. Il nuovo ritrovato offre finalmente la concreta possibilità di seguire gli eventi nella libera atmosfera. Ciò si fa mediante diagrammi termodinamici e "carte in quota". Queste, introdotte nella pratica quotidiana dal tedesco R. SCHERHAG verso il 1934, sono generalmente topografie di superfici isobariche con l'indicazione della temperatura, della temperatura di rugiada e del vento. I dati anemologici provengono nei primi tempi tutti e poi per molti anni in gran parte da misure eseguite con "palloni piloti", inseguiti mediante teodoliti. La localizzazione sistematica delle radiosonde mediante radiogoniometri è avviata dai Francesi nel 1935 e il loro

inseguimento mediante radioteodoliti dagli Inglesi nel 1939, ma il passo decisivo sarà compiuto soltanto nel dopoguerra, quando si aggiungerà la possibilità di seguire col radar le sonde rese opportunamente riflettenti.

9. La Meteorologia in Italia fino al 1938

Nell'anno 1900 domina la scena l'Ufficio centrale di Meteorologia e Geodinamica, il cui primo direttore P. TACCHINI²⁰ ha da pochi mesi lasciato la carica tenuta dal 1879 ed è sostituito da L. PALAZZO.

Gli altri principali centri di attività sono Osservatori, in massima parte astronomici o geofisici, e in minima puramente meteorologici. Tra di essi emergono Modena, Milano, Firenze e Catania. Si fa quasi esclusivamente della Meteorologia geografica, sforzandosi prima di tutto di raccogliere, elaborare e pubblicare dati di quanti più possibile punti di misura per descrivere le caratteristiche meteorologiche del territorio nazionale. L'U.C.M. si impegna a fondo anche nel campo della Meteorologia agraria. La "Rivista meteorica-agraria", che dal 1879 esce ogni decade e durerà fino al 1916, pubblica puntualmente notizie sull'andamento stagionale e delle colture ed anche qualche articolo di carattere generale.

Saggi di maggiore impegno appaiono negli *Annali* dello stesso Ufficio. Completa il quadro dei periodici specializzati italiani lo smilzo *Bollettino della Società Meteorologica italiana*.

Nel 1902 la collaborazione dell'U.C.M. e della Brigata Specialisti del Genio riesce ad avviare l'esplorazione sistematica della libera atmosfera. Ad alcuni voli con palloni montati seguono a Roma e a Castelfranco Veneto lanci di palloni sonda recanti strumenti registratori e poi prende piede la più facile misura del vento mediante palloni piloti.

L'attività aerologica regolare ha inizio nel 1904 presso l'Osservatorio di Pavia e diventa particolarmente intensa quando accordi tra il Comitato talassografico italiano e il Ministero della Guerra, sfociati in una convenzione, istituiscono il Servizio aerologico italiano e come sede della direzione è scelta la "Stazione aerologica principale" di Vigna di Valle, sorta nel 1910 come "Osservatorio aeronautico" per assistere i

¹⁶ "Proc. London math. Soc.", v. 43, p. 241-268.

¹⁷ *Atmospheric diffusion shewn on a distance-neighbour graph*. "Proc. R. Soc.", s. A, v. 110, p. 709-737.

¹⁸ *The mechanics of viscous fluids*. In: F. DURAND, *Aerodynamic Theory*, v. III, sez. G, p. 34-208. Berlino, Springer.

¹⁹ "C. R. Acad. Sci.", 14, 13 marzo 1927, 10 giugno 1927, 19 gennaio 1931.

²⁰ Cfr. M.U. LUGLI, *Astronomi modenesi tra Seicento e Novecento. Pietro Tacchini*. 269 pp., Modena, Il Fiorino, 2001.

primi dirigibili militari italiani. Il suo direttore, il capitano del Genio G. A. FERRARI, riesce a far comandare all'osservatorio alcuni professori di scuole medie, di spiccato ingegno, i quali dal periodo ivi trascorso prenderanno le mosse per notevoli carriere: tra gli altri R. GIACOMELLI, M. TENANI, G. CRESTANI e C. FABRIS.

Durante la Grande Guerra l'Ufficio tecnico del Comando supremo studia con cura le caratteristiche meteorologiche dei teatri di operazioni effettivi e ipotetici e a scopo prognostico applica alla pressione atmosferica l' "analisi periodale" che F. VERCELLI ha incominciato a sviluppare verso il 1914, ottenendo risultati apparentemente buoni. Questa tecnica per mettere in evidenza una periodicità preventivamente scelta (cfr. CAMBIAMENTI DI CLIMA 3.4) rappresenta uno dei pochi sviluppi autonomi italiani nel campo degli studi meteorologici, frutterà un analizzatore meccanico delle curve oscillanti che è un esempio abbastanza precoce di macchina da calcolo e sarà coltivata nelle nostre università fino oltre il 1960. A tutt'oggi nel complesso non è stata molto feconda, ma le elaborazioni compiute nell'applicarla forse potrebbero essere ancora valorizzate, ad esempio da chi volesse riesaminare l'affermazione fatta da C. G. ROSSBY per l'atmosfera e da G. PICCARDI per i "fenomeni fluttuanti" che molte periodicità durano pochi cicli e confrontarne i risultati con gli sviluppi dovuti a E. N. LORENZ (cfr. 18).

Nel periodo bellico sotto lo stimolo dell'aumentato interesse per le utilizzazioni idroelettriche prende forma il Servizio idrografico italiano del Ministero dei Lavori pubblici. Prima della guerra soltanto il Magistrato alle Acque di Venezia e l'Ufficio per gli Studi sul Bacino del Po avevano "Sezioni idrografiche" costituite nel 1907 e 1912. Nel 1919 è sanzionato il servizio nazionale, diretto da Giulio DE MARCHI, figlio di Luigi. Esso gestisce e gestirà quasi esclusivamente stazioni pluviometriche e termopluviometriche. I dati sono e saranno elaborati e pubblicati secondo l'indirizzo di Meteorologia geografica del consulente del servizio F. EREDIA, che in quegli anni si va affermando come la personalità dominante della Meteorologia italiana e rimarrà tale per un quarto di secolo.

Nel 1920 il benedettino B. PAOLONI fa uscire il bimestrale *La Meteorologia pratica*, che resisterà sino al 1943. La rivista pubblica

sistematicamente articoli di Meteorologia applicata specie sanitaria e agraria oltre che di Meteorologia generale (non esclusa la dinamica), segue con puntiglio la vita meteorologica italiana e cura molto la parte bibliografica, stampando tra l'altro a puntate tra il 1923 e il 1940 la monumentale *Bibliografia meteorologica italiana* del barnabita G. BOFFITO fino alla voce Pietro MORO. Inoltre nel 1927 assorbe il *Bollettino della Società meteorologica italiana* e dà vita nel giugno 1928 al Servizio radioatmosfera italiano e nel maggio 1930 al Servizio meteorico sanitario. L'opera concorde della rivista e dell'EREDIA frutta un periodo, non più ripetutosi, di pieno coordinamento tra i cultori italiani dei vari aspetti della Meteorologia.

Nel 1925 la Sezione Presagi dell'U.C.M. è trasferita al neocostituito Ministero dell'Aeronautica e si fonde col Servizio aerologico per dar vita all'Ufficio Presagi, sotto la guida dell'EREDIA. Per effetto di un concorso bandito senza indugio, nel 1927 entra in organico una decina di nuovi geofisici, in buona parte donne. È un avvenimento importante perché la maggior parte dei vincitori hanno personalità fuori dall'ordinario e perché prima d'allora in pratica l'Italia aveva un solo Meteorologo previsorio.

Il nuovo servizio assiste con passione le imprese aviatorie compiute dagli Italiani tra il 1926 e il 1932, poi in una serie di dieci riunioni del suo personale con la presenza di studiosi esterni tra il febbraio del 1934 e il dicembre del 1935 esamina tutti i principali problemi scientifici e tecnici, ma più che altro quello delle teorie norvegesi.²¹

Al loro apparire probabilmente due soli studiosi italiani sono preparati a capirle a fondo: il DE MARCHI e il FABRIS, suo discepolo. Il primo incarica il secondo di elaborarne un ampio esame critico e l'altra sua allieva Lucia VENTURELLI di comparare con lo schema norvegese i più recenti dati aerologici omogenei pubblicati, che sono quelli di 154 giorni compresi tra il 6 luglio 1905 e il 6 luglio 1912. I due lavori sono editi nel 1931²² e nel 1933²³ rispettivamente. Il FABRIS riconosce la fecondità delle nuove teorie e accetta lo spericolato passaggio da una dottrina rigorosamente dinamica a una descrizione sostanzialmente empirica. La VENTURELLI conclude che l'esistenza delle masse d'aria e delle discontinuità è fuori discus-

²¹ "Met. Prat.": 1934, n. 3, p. 156-160; n. 4, p. 189-204; n. 5, p. 248-264. 1935, n. 1, p. 21-52, n. 3, p. 141-145. 1936, n. 2, p. 34-43.

²² *Teorie moderne su l'origine e su la struttura dei cicloni*. Pisa, R. Scuola di Ingegneria, Pubbl. Comit. naz. ital. Geodes. Geofis., . 2. Versione più ampia: IST. LOMB. SCI. LETT. ARTI. Atti. t. XC, parte II.

²³ *Contatti di masse d'aria calda e aria fredda nell'atmosfera in relazione alla situazione barica*. In: SOC. ITAL. PROGR. SCI. Atti XXI riunione (Roma, ott. 1922), v. V, 17 pp. Versione più ampia IST. LOMB. SCI. LETT. ARTI. Atti. t. XC, parte II.

sione, mentre è difficile affermare che gli eventi presso i fronti seguano da vicino gli schemi della scuola di Bergen. Il DE MARCHI rimane scettico – quasi ostile – fino alla morte (1936). Tutti e tre sono invitati ad una delle riunioni succitate ma interviene la sola VENTURELLI.

Gli altri Italiani rivolgono abbastanza sollecitamente l'attenzione alle idee norvegesi e dedicano loro articoli almeno a partire dal 1926, ma senza elaborarle. Al più tardi nel 1927 l'EREDIA prende a proporre con tenacia di inviare qualcuno a Bergen, ma deve insistere per un decennio prima che la cosa si realizzi. Finalmente dal febbraio all'aprile 1937 R. BILANCINI, F. CASTRIOTA e D. MONTANARI sono inviati non in Norvegia, ma in Germania dove G. SCHINZE ha sviluppato, un metodo (*luftmassenmässige Arbeitsweise*) che concentra l'attenzione sulle masse d'aria anziché sul ciclone e il suo evolversi. Si tratta di identificare le masse d'aria ed i loro confini, che possono a tratti ondularsi e dar vita a un sistema frontale e a tratti avere carattere di "limite di massa", cioè di una discontinuità poco attiva nel produrre nubi e precipitazioni. La scelta è ragionevolissima perché l'impostazione della scuola tedesca è più adatta al Mediterraneo. Gli Italiani applicano intensamente e proficuamente il nuovo indirizzo, ma forse lo abbandonano prima di averne esaurito le possibilità, come dimostrerebbe il successo della breve ripresa negli anni sessanta ad opera di I. VISCONTI nella scia del Progetto sulla Ciclogenesi sottovento.²⁴

²⁴ Un esempio di analisi particolareggiata nel caso di una ciclogenesi sull'Italia settentrionale. In: ASSOC. GEOF. ITAL., *Atti XIII Congresso annu.*, Roma [1964]. Cfr. anche "Riv. Met. Aer.", 1968, n. 2, p. 18-36; 1969, n. 1, p. 25-48; 1971, n. 2, p. 139-155.

La Meteorologia dopo il 1938

10. La rivoluzione apportata da C. B. ROSSBY

Tocca in sorte al ROSSBY, il quale dal 1926 si è trasferito negli Stati Uniti, di trarre un deciso rinnovamento della Meteorologia dalle possibilità che offrono i radiosondaggi e le carte in quota. Egli crea una nuova visione dell'atmosfera, semplice e grandiosa: tutte le vicende atmosferiche si lasciano riassumere da quelle della circolazione troposferica poco oltre i 5 km di quota, a sua volta schematizzabile nella successione di 3-7 onde di una grande corrente occidentale (dette "planetarie" o "di ROSSBY") che hanno lunghezze di qualche migliaio di chilometri e corrispondono ciascuna a una famiglia di cicloni della bassa troposfera. Esse si lasciano trattare con un'equazione (che si dirà appunto "di ROSSBY") nella quale intervengono soltanto la velocità della corrente occidentale, la lunghezza d'onda e la vorticità. Assume così grande rilevanza pratica la grandezza il cui significato era stato tenacemente esplorato dal DE MARCHI cinquant'anni prima. Il ROSSBY potrebbe avere avuto notizia dei suoi studi tramite il *Trattato di meteorologia (Lehrbuch der Meteorologie)* di A. SPRUNG. (1^a ed. 1885) o la *Bibliography of Meteorology* edita a Washington nel 1889-91 dal Signal Office (che comprendeva il Servizio meteorologico) e ristampata presso la Diane Publishing Company di Upland a cura di J. R. FLEMING, primo presidente della Commissione internazionale di Storia della Meteorologia, istituita nel luglio 2001 dall'Associazione internazionale di Storia e Filosofia della Scienza del Consiglio internazionale delle Unioni scientifiche.

Nel 1947 il ROSSBY dimostra che le correnti occidentali devono essere particolarmente veloci in una ristretta fascia (quella oggi conosciuta come "corrente a getto") fornendo così la base teorica per comprendere le osservazioni di venti in quota incredibilmente intensi fatte a partire dall'inizio del secolo.

Il passo compiuto dal ROSSBY stimola ricerche di tipo nuovo. Da una parte si trova il coraggio di congegnare modelli matematici di singoli processi senza preoccuparsi dell'impossibilità di trattare in maniera omogenea tutto il complesso di fenomeni nel cui ambito hanno significato, dall'altra ci si dedica a distinguere ed ordinare sistematicamente le varie scale di moto ed i loro mutui rapporti. Nel quadro rientra il "Thunderstorm Project" ("Progetto

Temporale"), importante programma di ricerca sperimentale realizzato negli Stati Uniti tra il 1946 e il 1950 sotto la guida di H. R. BYERS. Esso fornisce il primo modello soddisfacente di temporale.

Questi sviluppi presentano analogie con la *Teoria generale dei Sistemi* presentata a Chicago da L. von BERTALANFFY nel 1937 e con le teorie della turbolenza proposte nel 1941 dal matematico russo A. N. KOLMOGOROV e nel 1948 dai fisici teorici W. HEISENBERG e C. F. von WEISZÄCKER, ma non sono note influenze dirette.

Inoltre il ROSSBY a partire dal 1927 ha dato a più riprese contributi allo studio degli scambi energetici tra oceano ed atmosfera e alla teoria della diffusione e della turbolenza nell'uno e nell'altra, tra il 1923 e il 1928 ha impostato ed organizzato l'assistenza meteorologica al volo negli Stati Uniti, nel 1937 ha iniziato la pratica utilizzazione dell'analisi isentropica, negli anni quaranta rinnova l'impostazione della Meteorologia tropicale, riorganizza l'American meteorological Society e promuove il sorgere della Meteorologia applicata, dopo la guerra avvia lo studio a scala continentale della distribuzione e circolazione delle sostanze chimiche disperse nell'Atmosfera.

11. Le previsioni numeriche

Alla semplificatrice visione rossbiana si deve anche il precoce fiorire delle previsioni numeriche. Agli inizi del 1946 il cibernetico J. von NEUMANN dell'Institute for Advanced Study avvia l'utilizzazione a tale fine del primo calcolatore elettronico della storia, funzionante dal dicembre precedente. Il gruppo di meteorologi incaricato di adattare le teorie dell'Idrodinamica dell'Atmosfera alle esigenze del calcolo numerico - gruppo nel quale emerge J. CHARNEY - si basa sull'equazione di ROSSBY, la quale ha oltretutto il merito di essere molto "filtrata", cioè di escludere le onde gravitazionali e sonore. Infatti per le esigenze pratiche, le più veloci delle prime e tutte le seconde sono disturbi. Il primo esperimento di calcolo (marzo-aprile 1950) ha un esito "sorprendentemente buono". Malgrado il grande valore pratico (esce benissimo dal confronto con i primi modelli baroclini) questo modello è condannato a vita breve dalle numerose limitazioni. Esso non può descrivere il formarsi, l'approfondirsi e il colmarsi delle depressioni e si fonda su numerose ipotesi poco realistiche; che l'atmosfera sia incompressibile e "barotropa" (cioè tale che le superficie di egual temperatura siano

anche superficie di egual densità); che sulla verticale di ciascun luogo il vento sia costante attraverso tutta la troposfera, che le linee di corrente coincidano con le isobare. Per qualche anno si batte la strada di complicare il modello per renderlo capace di seguire gli aspetti della realtà fisica che più interessano. Il primo passo in questo senso è compiuto aggiungendo la teoria dello sviluppo baroclinico elaborata dall'inglese G. SUTCLIFFE tra il 1939 e il 1947. Ben presto il CHARNEY si convince che ormai conviene riprendere il modello - del tutto generale per un'atmosfera concepita come sistema chiuso - proposto da V. BJERKNES nel famoso articolo del 1904, utilizzato dal RICHARDSON, detto delle "equazioni primitive" e costituito dalle tre equazioni del moto idrodinamico, dall'equazione della continuità, dall'equazione di stato, dal primo e secondo principio della termodinamica. Da un esame critico dell'opera del RICHARDSON emerge che le principali cause del catastrofico esito delle sue previsioni ormai si lasciano padroneggiare: occorre alterare i campi iniziali del vento e della pressione in modo da eliminare la divergenza iniziale in essi implicita, escludere le onde sonore imponendo l'equilibrio idrostatico e in base a un criterio di stabilità fatto conoscere nel 1928 da R. COURANT, K. O. FRIEDRICHS e H. LEWY scegliere un intervallo di integrazione più piccolo del tempo impiegato dalle onde più veloci a percorrere un lato della rete ai cui nodi si definiscono i valori iniziali e si riferiscono i valori previsti delle variabili considerate. Il nuovo indirizzo si afferma rapidamente e agli inizi del settimo decennio si cessa di sviluppare modelli per aggiunta all'equazione di ROSSBY. Il progresso è così veloce che a partire dal 1963 circa si possono perfezionare i modelli introducendovi le interazioni con la superficie terrestre e con lo spazio. I nuovi modelli, se sono abbastanza perfetti, sono modelli della circolazione generale dell'atmosfera in quanto riescono a descriverla partendo da uno stato di quiete, prevedono i valori delle grandezze fondamentali nei nodi della rete anche per scadenze di parecchi giorni (ben superiori alle 24 ore della vecchia prognostica) e forniscono anche per un futuro più lontano le proprietà statistiche del sistema atmosferico, cioè il clima. Il trapasso dai modelli deterministici a quelli dinamico-probabilistici avviene con naturalezza attraverso la trattazione necessariamente statistica della turbolenza.

12. La previsione oggettiva

La concreta utilizzazione prognostica della teoria della correlazione debutta con la nota *Sulle cause e la previsione della nebbia in California* (1936), che espone i risultati degli esperimenti fatti da S. PETERSEN durante un soggiorno colà nel 1935. La nuova tecnica consiste nel ricercare grandezze che presentino una correlazione elevata con fenomeni che si verificano qualche ora più tardi²⁵, prende in considerazione elementi legati da una relazione fisica conosciuta e si rivela un successo. Nel mondo anglosassone si afferma rapidamente; nel 1944 la Royal Meteorological Society le dedica un esauriente dibattito pubblicato col titolo *Un'indagine sulle possibilità e i limiti della previsione statistica*.²⁶ Il termine, poi assertatosi, di "previsione oggettiva" deve essere stato coniato verso il 1945 all'Università di Nuova York, che crediamo abbia particolarmente contribuito a diffondere il procedimento.

13. Il radar in Meteorologia

I radar per l'avvistamento aereo entrati in uso durante la guerra rilevano le nubi a gocce più grosse e questa loro proprietà è sfruttata con sistematicità, ma il primo radar progettato per scopi meteorologici è del 1951. Il nuovo apparato si afferma subito nelle aree sprovviste di un'adeguata rete di stazioni meteorologiche e si rivela come lo strumento specifico per seguire lo spostamento e l'evoluzione dei cicloni tropicali. Gli ulteriori progressi permettono di stimare la quantità di precipitazioni ricevuta dalla regione esplorata e di misurare il moto delle goccioline, dei fiocchi di neve e dei chicchi di grandine. Mentre su altre tecniche si è insistito oltre i limiti del ragionevole le possibilità della previsione oggettiva e del radar non sono sfruttate a fondo. Il loro impiego sistematico potrebbe migliorare grandemente già intorno al 1950 le previsioni locali a scadenza molto breve (da qualche minuto a qualche ora) All'epoca esso non si realizza - specie in Europa - forse perché quelle tecniche non appaiono concettualmente elevate, forse perché non si è psicologicamente preparati a una simile prognostica "spicciola", che invece è accettata a partire dal 1976 circa per esigenze aeronautiche ed attualmente incontra un notevole successo col nome di "nowcasting". A una rete di radar meteorologici che

²⁵ "J. aeron. Sci.", lug. 1936.

²⁶ "Q. J. r. met. Soc.", lug. 1944.

copra l'intero territorio italiano ed europeo si è pensato seriamente soltanto nel nono decennio del XX secolo e mentre scriviamo le due iniziative sono ancora da completare. L'applicazione sistematica della previsione oggettiva è finalmente realizzata alla fine dello stesso decennio (in Italia nel 1988) dai programmi più avanzati di post elaborazione statistica delle previsioni numeriche.

14. La Micrometeorologia

L'impulso a distinguere con chiarezza le varie scale di moto e il rinnovato interesse per la diffusione e la turbolenza nell'atmosfera fanno sentire vivamente nel sesto e nel settimo decennio l'unità dello studio dei moti a piccola scala, tanto da considerarlo come una disciplina autonoma: la Micrometeorologia.

Il problema di maggiore interesse pratico è la diffusione da una sorgente isolata (esplosione nucleare, rilascio accidentale di radioattività, industria inquinante). Lo risolvono efficacemente gli Inglesi utilizzando teorie più empiriche di quelle citate nel capitolo precedente.

O. G. SUTTON, formatosi a Porton, può essere considerato il sistematore della Micrometeorologia come disciplina unitaria: oltre gli studi indicati, essa comprende quelli relativi alla turbolenza nella libera atmosfera (che da quando diventano un tema fondamentale della Meteorologia aeronautica non sono più effettivamente sentiti come Micrometeorologia).

Nella Micrometeorologia confluiscono anche gli sviluppi della trattazione fisica sistematica dei fenomeni negli strati atmosferici vicini o prossimi al suolo, presentata per la prima volta da Rudolf GEIGER (fratello dell'Hans inventore del celebre contatore di particelle ionizzanti) col nome di Microclimatologia (v. CLIMATOLOGIA).

15. La stimolazione delle precipitazioni e la lotta contro la grandine

Dalla teoria di BERGERON e FINDEISEN discende la possibilità di far precipitare l'acqua contenuta da nubi in condizioni appropriate fornendo loro adatti nuclei di condensazione. Il primo esperimento compiuto nel 1946 da I. LANGMUIR e V. SCHAFER ha sostanzialmente successo e suona conferma alla teoria. Da allora si succedono incessantemente i tentativi di applicazione pratica per incrementare le precipitazioni e per ottenere che le nubi grandinogene si risolvano in pioggia prima di formare

i chicchi. Il valutare quello che si sarebbe verificato se non si fossero insemiinate le nubi è possibile soltanto per via statistica e veramente difficile. Dopo il primo ventennio di esperimenti si conclude che gli intervenuti ben condotti incrementano di almeno un decimo la quantità delle precipitazioni. Non sembra che le energie successivamente profuse abbiano prodotto risultati molto più importanti e conclusioni molto più definite.

16. L'Anno geofisico internazionale

L'AGI è un programma di cooperazione internazionale che si rifà agli *Anni Polari* 1882-83 e 1932-33.

Riesce però molto più ampio ed unitario, dimostra che i nuovi organismi internazionali sono efficaci coordinatori ed organizzatori e si protrae nella *Cooperazione geofisica internazionale*. Elementi tutti che in una prospettiva storica fanno apparire l'iniziativa importante più che altro come precedente del GARP (cfr.19).

17. I satelliti artificiali e la Meteorologia

L'utilità diretta dei satelliti si manifesta attraverso le immagini dell'atmosfera vista dall'esterno. Nella banda del visibile si localizzano centri di bassa e alta pressione, vortici, cicloni tropicali, fronti, correnti a getto, nubi d'onda e di addensamento orografico ("Stau"), nebbie, si riconoscono le masse di aria dal carattere delle nubi, si apprezzano la distribuzione e l'intensità delle precipitazioni sul mare, si ricavano notizie sul vento seguendo lo spostamento di ammassi nuvolosi e di piattaforme mobili, ad esempio palloni equilibrati. Le misure radiometriche acquistano sempre maggiore importanza: si misurano ai limiti dell'atmosfera l'energia irradiata dal Sole e dalla Terra, la temperatura della sommità delle nubi (dalla quale se ne deduce la quota) o in loro assenza la temperatura della superficie terrestre, si realizzano profili verticali della temperatura e dell'umidità equivalenti a sondaggi termodinamici. Tra i vantaggi indiretti sono da annoverare il grande progresso delle telecomunicazioni e l'aver attirato l'attenzione sui problemi spaziali e sulle scienze ad essi collegate, attenzione che forse è stata presupposto indispensabile per realizzare il GARP.

In particolare, da recenti esperimenti risulterebbe che piove quando la sommità delle nubi raggiunge una temperatura intorno ai -30°C con variazioni di qualche grado per diverse regioni e stagioni. Si affaccia così la possibi-

lità di preannunciare l'inizio della pioggia con notevole sicurezza, pur se con un piccolo anticipo.

18. La nuova posizione della Meteorologia nel mondo scientifico e nella Società

L'interesse per la Meteorologia degli scienziati di primissimo piano (che nell'Ottocento era stato molto vivo: sono ancor oggi fondamentali impostazioni teoriche dovute all'H. ELMOLTZ, al KELVIN e a H. HERTZ) era cessato verso il 1890. Forse il primo segno di ripresa si trova nel cibernetico N. WIENER, del Massachusetts Institute of Technology, il quale negli anni 40 si interessa alla Meteorologia, conclude che essa dovrà sviluppare metodi analoghi a quelli della Meccanica statistica e divulga questa conclusione.

Lo sviluppo ch'egli preconizza avviene ad opera di E. N. LORENZ della stessa università. A partire dal 1950 questi si dedica ai modelli di circolazione generale dell'atmosfera e partecipa con visione particolarmente profonda alla loro evoluzione verso modelli di clima. Crea infatti una matematica veramente appropriata al problema e ottiene risultati decisamente innovatori di grande risonanza anche al di fuori delle Scienze dell'Atmosfera. Gli articoli da lui pubblicati a partire dal 1963 gettano le basi di quelle che oggi sono conosciute come teorie "del caos" e degli "attrattori strani", sono certamente significative per tutta la Fisica e suscitano un interesse sempre più vivo. Se si aggiunge che B. MANDELBROT, creatore della Matematica dei Frattali, riconosce largamente il RICHARDSON come proprio precursore, appare evidente che per la prima volta nella storia la Meteorologia assume un ruolo traente per tutta la Scienza.

Un'importante iniziativa in materia di Meteorologia da parte di un governo si era avuta soltanto nel 1854, quando il Ministro della Guerra di Napoleone III aveva invitato U. LEVERRIER a studiare la tempesta che aveva colpito la flotta franco-inglese nel Mar Nero. Da quell'iniziativa era nata la collaborazione internazionale nel campo della Meteorologia. L'*Organizzazione meteorologica internazionale* costituita nel 1873 si era però sforzata di essere il meno ufficiale possibile per sottrarsi agli

impacci derivanti dalle pregiudiziali politiche.

Dopo la guerra non si può persistere in quell'indirizzo, sul quale del resto a partire dal 1935 avevano incominciato a sorgere perplessità, e il 23 marzo 1951 l'OMI si trasforma in agenzia specializzata delle Nazioni unite col nome di *Organizzazione meteorologica mondiale* (OMM, WMO).

Nel 1960 lo specialista di radiocomunicazioni e di radiazioni J. WIESNER, consigliere del presidente J. F. KENNEDY, avanza il suggerimento, accolto, di organizzare un programma scientifico ove si possa collaborare senza riserve con l'Unione Sovietica. La proposta ha lo scopo di avere un ambito per scambi informali di vedute e si rivelerà realistica quando, sia pure nell'ambito di un'altra iniziativa di collaborazione culturale, il meteorologo E. K. FEDOROV (1910-1981)²⁷ avrà una parte notevole nei preliminari dell'accordo che risolve la "crisi di Cuba".

Accolto il suggerimento, il WIESNER chiede quale disciplina è più adatta a realizzare il suo progetto a B. ROSSI, che indica la Meteorologia e lo mette in contatto col CHARNEY, del Massachusetts Institute of Technology come i due precedenti. Questi con la collaborazione di altri meteorologi prepara con grande sollecitudine un rapporto per il Presidente, il quale inserisce la proposta nel messaggio sullo Stato dell'Unione (maggio 1961), nell'agenda dei colloqui di Vienna con N. KRUSCEV (giugno) e nel messaggio alla XVI Assemblea generale delle Nazioni Unite (settembre). In ottobre l'Assemblea approva la risoluzione 1721, che invita "a preparare progetti per far progredire la scienza e la tecnologia dell'atmosfera in modo da incrementare la conoscenza dei fattori fisici fondamentali del clima e le possibilità di modificare artificialmente il tempo su larga scala; per sviluppare le possibilità di prevedere il tempo e di aiutare gli stati membri a realizzare tali possibilità". Ormai può partire il delicato lavoro indispensabile per organizzare un'impresa così vasta.

19. La VMM e il GARP

I due successi decisivi si conseguono quando il Segretario generale dell'OMM D.A. DAVIES tra la fine del 1961 e l'inizio del 1962

²⁷ Figura molto interessante, il cui spirito di collaborazione fu notato dagli Americani durante la guerra. Dal 1962 al 1974 capo del Servizio idrometeorologico sovietico ("Boll. OMM", v. 30, n. 4, p. 276-289; v. 31, n. 3, p. 318-319. I. FULLER, *Thor's Legions. Weather support to the U.S. Air Force and Army*, 1937-1987. Boston, Am. met. Soc., 1990. G. ZIZOLA, *Giovanni XXIII. La fede e la politica*, Roma-Bari, Laterza, 1988. Cfr. pp. 185, 281, 291-292). O. M. ASHFORD, *The launching of GARP*. "Weather", v. 37, n. 9, p. 265-272, set. 1982.

ottiene che i servizi sovietico e statunitense inviino a Ginevra due personalità di primo piano per il periodo non determinabile a priori necessario a portare l'iniziativa sul piano del concreto (il che si può dire conseguito già in maggio) e quando nel 1967, sempre a Ginevra incominciano a funzionare il *Comitato organizzativo misto* (JOC) e il *Gruppo misto di Programmazione* nati da un accordo tra l'OMM e il *Consiglio internazionale delle Unioni scientifiche*, organismo non ufficiale, che rappresenta la scienza pura. È stato più facile realizzare un'intesa tra i servizi delle due massime antagoniste sulla scena mondiale che tra i Meteorologi dei servizi e i loro colleghi delle università! ²⁸

Nel 1964 l'OMM avvia sotto il nome di *Vigilanza meteorologica mondiale* (VMM, WWW) proposto nel 1962 da H. WEXLER un programma, che prosegue tuttora, per incrementare, rendere più omogenee e sviluppare tecnicamente le osservazioni meteorologiche. I due consessi di cui sopra organizzano un programma di ricerche, cui attribuiscono il nome di *Programma di ricerca sull'atmosfera globale* (GARP), proposto nell'aprile 1966 da W. O. ROBERTS. Il CHARNEY ottiene che esso abbia come scopo fondamentale il formulare un modello matematico in grado di descrivere la circolazione di tutta l'atmosfera. Tale scelta sviluppa nella maniera più naturale il filone più importante delle Scienze dell'atmosfera, ma secondo testimonianze è stata fatta anche per non involgere troppe competenze estranee alla Meteorologia.

Il GARP, descritto con una certa ampiezza alla voce *Meteorologia* della IV Appendice dell'*Enciclopedia Italiana*, si articola in numerosi sottoprogrammi destinati, ad accrescere la nostra conoscenza degli eventi atmosferici sui mari e sulle terre poco popolate e poco evolute nonché alle scale minori, a sviluppare le tecniche per tener conto nel modello dei fenomeni a queste scale e delle interazioni con la topografia. I sottoprogrammi (chiamati "esperienze" anche se li descrive meglio il termine "campagna di osservazione") sono realizzate tra il 1969 (BOMEX) e il 1982 (ALPEX). La preparazione e le prime fasi del GARP suscitano grande entusiasmo, che si manifesta in una ricca pubblicistica, talora venata di toni propagandistici di norma involontari.

Alla conclusione del GARP il mondo meteorologico è assai meno esultante. Par di cogliere, una sottile vena di delusione, ma non è facile spiegarla. Magari erano inconsciamente

attesi risultati clamorosi, che difficilmente avrebbero potuto prodursi, mancando ipotesi nuove da verificare: forse non si è puntato abbastanza a fondo sulla visione innovatrice del LORENZ, che ha apportato nell'intero campo scientifico la rivoluzione della "Fisica non lineare".

Possono aver influito anche le nuove amarezze generate dalle difficoltà nella collaborazione tra i Servizi e gli scienziati puri, collaborazione che peraltro prosegue, giacché in base ad un nuovo accordo tra l'OMM e il CIUS dal marzo 1980 un *Comitato scientifico misto* ha sostituito il *Comitato organizzativo misto* e gestisce l'ultima parte del GARP, il Programma climatologico mondiale (CLIMATOLOGIA 19). Non è impossibile che la crisi psicologica si sia verificata verso il 1978.

La parte operativa del GARP è riuscita veramente bene: la collaborazione internazionale non si è incrinata in nessuna occasione, quasi mai si è rimasti molto al disotto dello spiegamento di mezzi d'osservazione previsto e qualche volta lo si è superato, le misure eseguite durante il programma nelle aree meno favorite sono incomparabilmente più numerose di quelle che si riuscivano a mettere insieme in precedenza, fenomeni conosciuti da tempo, ma di fatto rimasti ignorati, sono entrati nella coscienza del mondo scientifico, (ne è un esempio la constatazione che molti uragani dei Caraibi derivano da gruppi di nubi convettive che si formano sull'Africa ed attraversano l'Atlantico), si è scoperto che l'unificazione dei metodi e strumenti di osservazione non è così progredita come si pensava (era sufficiente finché si trattavano isolatamente la fascia intertropicale e le due grandi calotte a N e a S di essa).

20. Il Centro europeo di Previsioni a media scadenza

Nell'ottobre del 1967 - anno critico per la collaborazione tra gli stati membri - il Consiglio dei Ministri delle Comunità europee decide di dar vita a un vigoroso programma comune di ricerca, che prende in considerazione anche la Meteorologia. I Meteorologi sono sollecitati nel presentare proposte e la principale - che contempla anche un Centro comune di Calcolo e Ricerca - si avvia verso la realizzazione senza indugi. Nell'ottobre 1973 è firmata la convenzione per quello che ormai porta il nome di Centro europeo per le Previsioni meteorologi-

²⁸ Per i difficili rapporti col CIUS si è letta persino la parola "litiges" ("Boll. OMM", v. 41, n.2, apr. 1992, p. 147).

che a media Scadenza essendosi nel frattempo concluso che più che altro interessa la prognostica a 4-10 giorni. Il Centro (CEPMMT perché all'italiano "scadenza" corrisponde in francese "terme") si costituisce ufficialmente appena è depositato un numero minimo di ratifiche (autunno 1975) e ai primi del 1976 dà il via alla costruzione della sede, già dalla convenzione prevista a Shinfield Park presso Reading in Inghilterra. Prende possesso del nuovo edificio nel 1979 e nel settembre dello stesso anno incomincia a diffondere previsioni operative. Il modello utilizzato è aggiornato più volte. In particolare nel 1983 si passa a un modello spettrale. Invece di procedere per integrazioni a intervalli finiti che a ogni passo danno dei valori riferiti a ogni nodo della rete scelta si sviluppano in serie le equazioni e si calcola come i coefficienti dei singoli termini variano con il tempo.

L'iniziativa si può considerare un grande successo. Il Centro produce forse le previsioni migliori del mondo, consente ai servizi nazionali di dedicarsi ad adattarle alle caratteristiche del proprio territorio e utilizzando a turno personale di quei servizi contribuisce ad aggiornarlo e ad amalgamarlo.

21. Prospettive per il prossimo futuro

La crescente ansia sociale per le possibili conseguenze di alterazioni degli equilibri atmosferici ad opera dell'Uomo obbligano a prendere in considerazione l'ipotesi che la Meteorologia si concentri su questo problema. Poiché finora è stato considerato parte della Climatologia e degli studi sui cambiamenti di clima lo trattiamo in tali capitoli.

22. La Meteorologia in Italia dopo il 1938

A differenza della prima, la seconda guerra mondiale non suscita iniziative.

L'Ufficio centrale di Meteorologia, dal 1° luglio 1940 al 1946 diretto da G. AZZI (1885-1969), creatore dell'Ecologia agraria, concentra la sua attenzione su questa disciplina e col decreto 489 del 29 maggio 1941 assume il nome di *Ufficio centrale di Meteorologia ed Ecologia agraria*. Una quindicina di anni più tardi, verosimilmente in base ai poteri concessi dalla legge per la riforma burocratica, si ha un ulteriore cambiamento in *Ufficio centrale di Ecologia agraria e per la difesa delle piante coltivate dalle avversità atmosferi-*

che nel gennaio 1957 (Decreto del Presidente della Repubblica n. 3, artt. 318-321). Di fatto rimane un ente essenzialmente meteorologico, centro di una rete di stazioni aventi interessi diversi dalla previsione del tempo e dall'Idrologia. Conserva e aggiorna la preziosa biblioteca e il non meno prezioso archivio e opera per valorizzarli, con la collaborazione di altri organismi, in particolare dell'ENEA, che dal 1983 al 1987 cura la trascrizione dei dati su supporto magnetico, poi proseguita dall'UCEA stesso. Nel 1989 ci si propone di utilizzare l'UCEA come consulente tecnico del Ministro e di affidare l'assistenza diretta agli agricoltori ai servizi regionali e al "sistema informativo agricolo nazionale", gestito dalla società Agrisiel, a capitale pubblico, alla quale nel 1990 è affidata anche la realizzazione e l'esercizio di una rete di stazioni automatiche, la Rete agrometeorologica nazionale (RAN).

L'UCEA attraversa due fasi di rilancio, la prima con la direzione di E. ROSINI dal 1970 al 1979, il cui maggiore successo – anche a causa di eventi sfavorevoli, come la morte di F. MATTEI (1915-1976) – attualmente appare l'aver reclutato il personale che oggi rappresenta il nerbo dell'istituto, la seconda con la direzione di D. VENTO, a partire dal 1988.

Negli anni successivi l'UCEA dimostra una capacità di iniziativa sempre crescente nello sviluppo di programmi di ricerca in collaborazione, dal 1993 pubblica mensilmente un "Bollettino agrometeorologico nazionale" giunto ormai al decimo anno, promuove lo sviluppo di un modello prognostico ad area limitata (DALAM). Da pochissimo tempo è parte dell'Istituto per la ricerca nel Settore agricolo ed alimentare (previsto dal Decreto legislativo 454 del 29 ottobre 1999) il quale ha assorbito tutti gli Istituti sperimentali dipendenti dal Ministero dell'Agricoltura.

Il Servizio idrografico dei Lavori pubblici conserva l'orientamento iniziale e stampa svariate pubblicazioni importantissime per la conoscenza meteorologica del territorio. Quando il Genio Civile è trasferito alle Regioni, va incontro a una crisi dalla quale non si è ancora ripreso. Il passaggio - nel 1989 (Legge 183 del 18 maggio) - alle dipendenze della Presidenza del Consiglio dei Ministri col nome di Servizio idrografico e mareografico nazionale ha già avuto conseguenze benefiche ed è ragionevole attendersi che quel benemerito Servizio ben presto ritorni all'antica vitalità.

Nel 1939 con una lettera del 30 marzo alla Presidenza del Consiglio dei Ministri ²⁹ l'Aeronautica propone di unificare le attività

²⁹ "Riv. Aeron.", 1975, n. 1-2, p. 198-200.

meteorologiche dello Stato assorbendole nella propria. Forse nessuno dei numerosi tentativi di realizzare una struttura unitaria è stato più vicino al successo. Comunque fino al settimo decennio del XX secolo la parte viva dell'attività meteorologica italiana può dirsi concentrata nel Servizio di quella Forza armata. Sin dall'immediato dopoguerra esso si impegna nella Meteorologia matematica, che è la struttura portante dell'intera disciplina e in Italia è trascurata almeno dal 1890. Quarant'anni di tenace impegno riportano l'Italia nel novero dei paesi all'avanguardia in quel settore: il sistema Argo di postelaborazione statistica delle previsioni fornite dal Centro europeo di Previsioni a media scadenza - del 1988 - è frutto di un'elaborazione originale ed è il più avanzato in Europa. Esso conclude una serie di studi avviati nel 1960 da L. LA VALLE, proseguiti da C. FINIZIO e portati a compimento da C. DE SIMONE. Una versione perfezionata prende il nome di Afrodite.

E. ROSINI (Parma 1914 - Roma 2002) e poi C. TODARO, pienamente partecipi di quell'impegno, ne sviluppano la parte statistica. Notevoli contributi in svariate direzioni danno personalità geniali e multiformi, come G. FEA (1911-1990) e O. VITTORI-ANTISARI (1920-1993).

In particolare, il secondo conduce una delle rare ricerche di Meteorologia fisica. Per quasi un secolo si è favoleggiato di una azione degli spari sulla grandine. Verso il 1959 egli decide di affrontare il problema. Osserva che qualche decina di secondi dopo il lancio dei razzi esplodenti giunge al suolo "grandine molle", costituita da chicchi disgregati. Raccoglie allora chicchi di grandine in recipienti isotermici e li esamina in camera fredda, riconoscendo che contengono inclusioni di acqua e vapore, e gli è relativamente facile ipotizzare che nel fenomeno osservato intervenga la cavitazione. Dopo una conferma teorica, per la quale deve estendere al campo di grandezze in gioco nel caso specifico le teorie fin allora sviluppate, passa alla sperimentazione con chicchi contenenti inclusioni, i quali a differenza delle palline omogenee di ghiaccio preparate in frigorifero, danno risultato positivo.

Naturalmente l'effetto delle esplosioni è locale e istantaneo e quindi sostanzialmente privo di significato pratico.³⁰

Il quadro della Meteorologia italiana incomincia a cambiare allorché nel 1961 il Consiglio Nazionale delle Ricerche istituisce per iniziativa di M. GIORGI e secondo l'impostazione del ROSINI e del FEA il Centro nazionale per la Fisica dell'Atmosfera e la Meteorologia. Nella prima fase della sua attività esso punta più che altro a utilizzare l'esperienza dei Meteorologi sinottici e ad approfondirne e aggiornarne le cognizioni teoriche e conduce sulla ciclogenesi sottovento una ricerca eccezionale per organicità e completezza rispetto alle abitudini italiane. Nel 1968 il Centro si trasforma in Istituto per la Fisica dell'Atmosfera (IFA) e allenta i suoi legami con la Meteorologia militante. Dopo il GIORGI lo dirigono il FEA, G. FIOCCO, M. COLACINO, A. MUGNAI e F. VIVONA.

Nel 1963 il VITTORI, allora direttore dell'Osservatorio di Monte Cimone dell'Aeronautica Militare, ottiene di istituire a Bologna un laboratorio la cui attività si incentra sulla microfisica delle nubi e la chimica atmosferica, nel 1968 diviene Sezione di Bologna dell'IFA e nel 1976 laboratorio autonomo del CNR col nome di Laboratorio per la Fisica dell'alta e bassa Troposfera (FISBAT) ed è diretto fino al 1985 dal VITTORI e poi da F. PRODI e C. TOMASI. Il FISBAT a sua volta istituisce un laboratorio a Monte Cimone.

Nel 1999 il FISBAT e l'Istituto per lo Studio delle Metodologie geofisiche e ambientali (IMGA), fondato da R. GUZZI, con sede a Modena e poi a Bologna, confluiscono nell'Istituto per la Fisica dell'Atmosfera e dell'Oceano diretto da F. TAMPIERI.

Col 1° gennaio 2002 l'IFA, l'ISAO, l'Istituto di Metodologie ambientali e Agrometeorologia di Lecce - fondato da L. RUGGIERO e diretto da F. ZUANNI - , la Sezione geofisica dell'Istituto di Cosmogeofisica di Torino e il gruppo specializzato in Climatologia storica e Conservazione dei Beni Culturali - creato da D. CAMUFFO a Padova - si riuniscono nell'Istituto per le Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC), diretto da F. PRODI.

Alla fine del 1985, dopo un'accurata preparazione, inizia ufficialmente l'attività il Servizio agrometeorologico dell'Emilia - Romagna che è il più avanzato dei servizi regio-

³⁰ O. VITTORI ANTISARI, *Preliminary note on the effect of pressure waves on hailstones*, "Nubila", a. 3, n. 1; 1960. I primi risultati furono presentati il 20 novembre 1959 al IX convegno annuale dell'Associazione geofisica italiana col titolo *Sugli effetti che le onde sonore possono avere sui chicchi di grandine*. La comunicazione del VITTORI, non riportata per esteso negli Atti del Convegno, suscitò incontenibili polemiche che fecero protrarre ad oltre le 21 il termine della seduta, previsto per le ore 18,30. Nelle tre righe di riassunto della comunicazione probabilmente si legge "artificiali" anziché "naturali" per errore. Le conclusioni del VITTORI furono bene accolte dalla comunità scientifica internazionale, in particolare da H. DESSENS dell'Observatoire du Puy de Dôme, allora considerato la massima autorità in materia. Egli ne scrisse sul "Bulletin" dell'Osservatorio stesso tra il 1960 e il 1962.

nali e in certo senso fa parte della “scuola” che abbiamo delineato: il direttore F. NUCCIOTTI (1934-1996) e diversi suoi collaboratori provengono dal FISBAT, mentre i principali consulenti sono ancora una volta il FEA e il ROSINI. Con il loro intervento il Servizio organizza ottimi corsi per formare personale meteorologico, con buoni testi d’insegnamento. Pubblica anche importanti lavori di Meteorologia geografica. Al NUCCIOTTI è succeduto S. TIBALDI.

Fisici delle Università sviluppano iniziative in vari settori delle Scienze dell’Atmosfera e curano la presenza italiana nel mondo scientifico internazionale. L’ultimo sottoprogramma del GARP è stato voluto (prevalentemente per l’impegno di S. PALMIERI) anche per sviluppare una scuola meteorologica nelle università italiane e non ha mancato l’obiettivo, quanto meno a Bologna. Tra gli studiosi di questa città si segnalano A. SPERANZA e il TIBALDI, i quali muovendo da posizioni molto teoriche e astratte danno segni di una comprensione sempre più profonda e realistica del problema della Meteorologia. Nel gennaio 1983 si costituisce un Gruppo nazionale di Fisica dell’atmosfera e dell’Oceano che la cui opera di coordinamento e aggiornamento non riesce ad imporsi prima della sua soppressione.

Il decreto legislativo 12 del 31 marzo 1998 prevede un Servizio meteorologico nazionale distribuito, costituito dagli organi statali competenti in materia e dalle regioni e che sarà “articolato, per ogni regione, da [sic!] un servizio meteorologico operativo coadiuvato da un ente tecnico centrale”. Si tratta di una delle non poche originalità del nostro paese. Le confederazioni di antica esperienza, come gli Stati Uniti d’America e la Svizzera, hanno un servizio meteorologico federale senz’ombra di servizi meteorologici dei singoli stati. In Svizzera peraltro il Servizio federale ha convenzioni, ad esempio con l’Università di Basilea, perché enti locali gestiscano stazioni secondo le norme dell’Organizzazione Meteorologica Mondiale e forniscano le osservazioni da esse stabilite. La scommessa propostasi dagli autori del decreto è stimolante, ma piuttosto ardita. In particolare appare molto difficile vincerla senza un ente tecnico-scientifico centrale con vasti poteri.

L’Italia incominciò ad avere un buon servizio meteorologico quando nel 1879 TACCHINI fu nominato direttore dell’Osservatorio astronomico del Collegio Romano, nonché direttore dei servizi meteorologici dei ministeri della Pubblica istruzione, dei Lavori pubblici,

della Marina e dell’Agricoltura e Commercio.³¹

Dare delle indicazioni sul futuro per l’Italia è reso più difficile dall’instabilità del quadro istituzionale. All’inizio del 2003 sembrerebbe che il Servizio dell’Aeronautica sia destinato a provvedere ancora alle previsioni generali e a buona parte degli sviluppi scientifici ad esse collegata e in misura maggiore che negli scorsi decenni a previsioni operative.

Il problema del cosiddetto “effetto serra” è sostanzialmente affidato all’ENEA.

La Meteorologia agraria appare in forte sviluppo, anche perché G. MARACCHI ha saputo creare a Firenze un attivo gruppo di studiosi nel quale Università e Consiglio Nazionale delle Ricerche collaborano strettamente.

L’interesse delle Università continuerà a crescere al ritmo piuttosto deludente manifestato fino ad oggi.

³¹ “Ann. Uff. Centr. Met. ital.”, a. I, 1879 [ma 1880]; cfr. p. XIV.

Parte II

CLIMATOLOGIA

1. I diversi modi di concepirla

La Climatologia può vantare una tradizione antichissima, ben definita e mai interrotta e beneficia dell'aver sempre posseduto un filone principale riconosciuto internazionalmente. Di una tradizione non può invece giovare il presente articolo: malgrado un interesse almeno ventennale al problema e accurate ricerche non abbiamo trovato alcuna Storia della Climatologia. Ciò che scriviamo quindi è inevitabilmente molto influenzato dalle nostre convinzioni, che appaiono a noi stessi semplicistiche e grossolane, ma sembrano averci fecondamente orientato nell'attività pratica: la Geografia deve fornire al consorzio umano in forma utilizzabile, cioè comprensibile dai più, le notizie sull'ambiente delle quali esso sente o sentirà prossimamente il bisogno e la Climatologia non è altro che la Meteorologia geografica (cfr. METEOROLOGIA 1). Una distinzione tra il concetto di Meteorologia e quello di Climatologia non si può fare. L'usare due termini diversi ingenera confusione anziché chiarezza. Immaginare che la Climatologia abbia un metodo suo proprio è assurdo e pericoloso; è semmai lo scopo a caratterizzarla.

La parola "clima", che in origine valeva "inclinazione", già nel V sec. a. C. attraverso il concetto di "inclinazione dei raggi solari" incominciò ad evolvere verso l'accezione che qui ci interessa. Pare ormai assodato che il passo decisivo fu compiuto da PARMENIDE, attivo nella prima metà del V sec. a. C., il quale sulla base di concetti puramente astronomici individuò cinque "climi": le classiche zone *torrida*, *temperate* e *glaciali* separate dai tropici e dai circoli polari. Da allora nelle lingue diverse dal greco "clima" ebbe il significato oggi comune oppure quello di regione, che in qualche periodo rischiò di prevalere, tanto che l'inglese per definire il primo senza ambiguità usò *climature*. La dottrina dei climi fu sviluppata sino a numerarne ventiquattro e in molti autori classici si possono leggere annotazioni più articolate: ERODOTO (484-430 a.C. circa) e IPPOCRATE (460-375 a.C. circa) sapevano benissimo che a parità di latitudine le regioni elevate sono più fredde e il secondo conosce l'importanza dell'esposizione. Tuttavia fu nella sua forma originale che la dottrina dei climi attraversò più di due millenni senza perdere pregnanza; meraviglia la partecipazione emotiva con la quale ancora nel 1843 R.

DE COSA, nel diario del primo viaggio al Brasile di una formazione navale napoletana scrive «La sera degli 11 novembre oltrepassammo il Tropico del Cancro, per cui nella zona temperata si navigava». ¹ Ciò testimonia l'importanza psicologica di uno schema, anche molto astratto, che aiuti a inquadrare e comparare e giustifica altre astrattezze che più avanti saremo tratti a criticare se non altro implicitamente. Il Medioevo e il Rinascimento non fanno segnare alcun sostanziale progresso, anche se l'esame accurato da parte di un Meteorologo delle opere di ALBERTO MAGNO (1193 c.-1280), G. CARDANO (1501-1576) e F. BACONE (1561-1626) potrebbe apportare qualche sorpresa. Nel seicento la nascita della scienza moderna con il suo rigoroso interesse sia per la realtà sperimentale che per la matematizzazione delle scienze naturali si riflette puntualmente nell'ambito della Climatologia. Tutte le storie della Meteorologia danno rilievo alla parte climatologica della *Geographia generalis* di B. VARENIUS (1622-1650) apparsa nell'anno della sua morte. Essa ripete sostanzialmente la climatologia solare degli antichi, ma contiene spunti di progresso. VARENIUS si accorge che regioni alla stessa latitudine hanno climi diversi; riconosce che le caratteristiche meteorologiche delle singole località dipendono dai venti, dalla natura del suolo, della prossimità di montagne innestate, descrive i grandi sistemi di venti e la fascia piovosa equatoriale dell'intero globo, sa che questa si sposta col sole e che i cicloni tropicali sono vortici. Molti trascurano invece di ricordare che E. HALLEY (1656-1742; gli si deve anche la prima carta dei venti nella zona torrida, contenuta in uno scritto che di quei venti spiega il meccanismo e perciò si trova menzionato nella parte dedicata alla Meteorologia dinamica) nel 1693, tentò di calcolare in unità relative l'afflusso di calore solare agli equinozi e ai solstizi per latitudini crescenti di 10 in 10 gradi. (*On the proportional heat of the sun in all latitudes, with the method of calculating the same.* "Philos. Trans.", XVII, p. 878-885). Dell'HALLEY si trova citato da vari AA, senza riferimenti bibliografici anche un *Discourse on the distribution of solar heat at all latitudes*, pure del 1693. Quando si passa al Settecento le storie della meteorologia cambiano prospettiva. Attribuiscono molta importanza al progresso degli studi sul "clima solare" (termine quest'ultimo usato dall'HUMBOLDT in opposizione a

¹ R. RADOGNA. *Storia della Marina Militare delle Due Sicilie*. Milano, Mursia, 1978. Cfr. p. 218. Raffaele DE COSA (1778-1856), allora Commodoro e dopo pochi anni Ammiraglio, insieme a Luigi CHRETIEN, direttore dell'osservatorio della Marina borbonica, pubblicò un volumetto intitolato *Corsi di osservazioni meteorologiche nella zona torrida* (Appendice agli Atti Acc. Sci. Napoli. 1884)

quello di “clima reale” e forse coniato da lui stesso) dovuta a P. BOUGUER (1698-1758), T. MAYER (1723 -1762) e J. H. LAMBERT (1728-1777). Il primo si può dire il creatore della fotometria e della teoria dell’assorbimento della luce da parte dell’atmosfera. Il secondo sostiene che se la temperatura è m all’Equatore e n al Polo, alle latitudini intermedie essa è $m-n \sin \phi$

Il terzo fa notevolmente progredire la fotometria e nella *Pyrometrie* calcola l’energia radiante che la superficie terrestre riceve dal Sole e riemette verso lo spazio. Non sa però che anche i corpi trasparenti come l’aria irradiano.

Le stesse storie ignorano invece una climatologia più feconda dal punto di vista pratico. Ne conosciamo finora un solo rappresentante: G. TARGIONI - TOZZETTI (1712-1783), che si potrebbe dire addirittura “postmoderno”, nel senso che impiega i metodi raccomandati dal riesame critico della Climatologia delle medie ². Il fondatore riconosciuto della Climatologia moderna è A. v. HUMBOLDT (1769-1859). Di solito ci si limita a ricordare che nel 1817 egli introduce il concetto di isoterma (la seconda isolina della storia dopo quelle di ugual declinazione magnetica dette “linee di HALLEY” dal nome di chi le introdusse nel 1701) e a riportare una sua poetica definizione: “La parola clima ... abbraccia tutte le modificazioni dell’atmosfera esercitanti azioni di qualche rilievo sui nostri organi come la temperatura, l’umidità, le variazioni della pressione atmosferica, le calme e gli effetti degli opposti venti, la carica e la tensione elettrica, la purezza dell’atmosfera o la sua contaminazione con emanazioni più o meno insalubri, infine il grado di trasparenza dell’aria, questa serenità del cielo così importante non soltanto perché influenza l’irraggiamento del suolo, lo sviluppo dei tessuti vegetali e la maturazione dei frutti, ma altresì per l’insieme delle sensazioni psichiche che l’uomo prova nelle varie zone”. Conviene aggiungere che egli ricerca e di fatto avvia la matematizzazione della Climatologia, ma muove sempre dall’osservazione diretta e al caso non esita a fondarsi su questa soltanto. È così che scopre la cintura equatoriale di basse pressioni ed i venti in quota che corrispondono ai contralisei postulati dallo HALLEY e delinea la Climatografia dell’intero globo (cfr. *infra*).

Per oltre mezzo secolo questa concezione sostanzialmente geografica deve essere stata accettata senza discussioni (delle quali non ci è riuscito di trovare traccia) e travasata nei libri di testo. Ad esempio il *Trattato elementare di*

Fisica del francese A. GANOT (che probabilmente fu scritto nel 1863, tradotto in italiano nel 1875 e molto diffuso nei nostri Licei e conservò prestigio sino agli inizi del scorso secolo, tanto che verso il 1915 fu donato a Emilio SEGRÉ da uno zio illustre geologo) definisce il clima: “... l’insieme delle variazioni atmosferiche che caratterizzano una contrada”, quindi in termini non diversi da quelli adoperati da L. DE MARCHI nella *Climatologia* del 1890 e mantenuti in tutte le successive edizioni: “Per clima di un paese intendiamo il complesso di condizioni atmosferiche che rendono quel paese più o meno atto ad essere abitato dall’uomo e a fornirgli tutti gli elementi necessari per l’esistenza sua e per quella degli animali e delle piante che gli servono”.

Nel 1883 in una collana di manuali geografici diretta dal creatore della Geografia antropica F. RATZEL (1844-1904) apparve il *Handbuch der Klimatologie* di J. HANN (1839-1921), che inizia con queste parole: “Per clima intendiamo l’insieme dei fenomeni meteorologici, che caratterizzano lo stato medio dell’atmosfera in un punto qualunque della superficie terrestre ... Quel che chiamiamo situazione meteorologica è soltanto una fase, un singolo atto nella successione dei fenomeni il cui andamento più o meno simile di anno in anno costituisce il clima di un luogo. Il clima di un certo periodo è l’insieme delle situazioni meteorologiche come esse mediamente sogliono presentarsi in quella parte dell’anno ... La Climatologia è per sua natura più descrittiva e il suo compito consiste nel fornire l’immagine più viva possibile dell’effetto complessivo di tutti i fenomeni meteorologici in una località”.

Di tale definizione fu diffusa - oseremmo dire propagandata - soltanto la prima proposizione, in modo da identificare la Climatologia con la Meteorologia statistica ed anzi col calcolo delle medie. In certo senso fu una mistificazione (od automistificazione) per effetto della quale il vedersi riconosciuta una posizione di provincia autonoma della Meteorologia e attribuito un metodo rigoroso fece dimenticare alla Climatologia che il suo compito originario era di caratterizzare meteorologicamente il territorio e che avrebbe potuto - e anzi dovuto - ricorrere all’osservazione diretta ogniqualvolta le misure mancano o sono insufficienti o inadatte. Il lato ambiguo e propriamente mistificatorio dell’operazione è che di fatto essa comportò una tacita soppressione di questo tipo di Meteorologia. Sarebbe risultata limpidissima e

² *Alimurgia*. Firenze, Moücke, 1767; cfr. p. VII.

feconda se fosse stata completata dalla dichiarazione che i Meteorologi se ne sarebbero disinteressati e invitavano altri a provvedervi. Ricercare le origini storiche e le ragioni pratiche di un evento così fondamentale è doveroso e illuminante.

In primo luogo esistette per molti decenni un mito della media sorto forse dalla sua capacità così suggestiva di estrarre il “valore vero” da una congerie di misure affette da errore. Esso appare già nei precursori del Positivismo, ad es. nei §§ 6, 226 e 229 del *Preliminary Discourse of the Study of Natural Philosophy* (1830) di J. HERSCHEL. Per molto tempo si procedette come se la Climatologia avesse soltanto il compito di determinare le medie annue delle grandezze meteorologiche e le misure eseguite nelle varie ore del giorno e nei vari mesi dell'anno fossero misure della media annua affette soltanto da errori casuali. Ancora agli inizi del Novecento si poteva leggere in un'enciclopedia di un certo prestigio che “isoterma” valeva “isoterma media annua”. Soltanto quando ci si rese conto con orrore che la medesima isoterma collega Pechino con le spiagge della Bretagna si trovò il coraggio di calcolare separatamente le medie dei due semestri, battezzandole però *Isochimene e Isotere*.

In secondo luogo c'erano ancora da superare resistenze alla matematizzazione delle scienze naturali e l'abitudine a trattazioni descrittive prive di spirito critico, si sentiva l'urgenza di realizzare uno schema comparativo del clima di tutta la Terra e nell'opinione di molti l'applicazione all'atmosfera di leggi fisiche dal cui progresso ci si attendeva una soddisfacente Meteorologia dinamica si sarebbe fatta sulle medie. In terzo luogo rispetto agli altri indici statistici la media è meno difficile e meno faticosa da calcolare richiedendo in sostanza una semplice addizione; probabilmente la capacità di calcolo era troppo ridotta per adottare sistematicamente elaborazioni che richiedono di stabilire per prima cosa tabelle di frequenza. Inoltre la media è particolarmente maneggevole per chi voglia elaborare ulteriormente i dati, applicando ad esempio la teoria della correlazione.

L'identificazione della Climatologia con la Meteorologia statistica fu rapidamente introiettata da tutti e per quasi sette decenni la sistemazione così conseguita non fu messa in causa. Il disagio derivante dall'aver trascurato l'aspetto geografico si manifestò attraverso un bisogno ossessivo di ridefinire la Climatologia, mentre nessuno ebbe i sonni turbati da un'analoga esigenza nei confronti della Meteorologia.

Delle praticamente innumerevoli defini-

zioni del clima citeremo alcune di quelle che si sforzano di superare quel disagio. L'HANN, verso il 1900: “... l'insieme dei fenomeni meteorologici caratterizzanti lo stato medio dell'atmosfera nelle diverse parti del globo ... Il risultato da conseguire utilizzando le osservazioni condotte a lungo in uno stesso luogo è definire per quel luogo uno stato medio delle condizioni meteorologiche che permetta di dare un'idea dei fenomeni normali o anormali in qualunque epoca dell'anno. Per ottenere questo risultato si impiegano metodi statistici e grafici, l'analisi armonica, la teoria della probabilità”. W. KÖPPEN nel *Grundriss der Klimakunde* del 1913: “... lo stato medio e l'andamento abituale delle condizioni meteorologiche di un dato luogo. Il clima è ciò che rimane costante nel continuo variare delle condizioni meteorologiche. La Climatologia è una branca della Meteorologia che come questa si basa sulla Fisica e sulla Geografia. In essa però il momento geografico prevale su quello fisico”.

V. CONRAD (1936): “... lo stato medio dell'atmosfera su un dato luogo, riferito a un determinato intervallo di tempo, accompagnato dalla considerazione dei valori medi e estremi delle variazioni cui sono soggetti gli stati dell'atmosfera definiti nel tempo e nello spazio”.

F. EREDIA (1942): “Clima di una località è l'insieme delle condizioni atmosferiche normali o anormali che caratterizzano la località stessa”.

E. ROSINI (1955 c.): “Abitudini e tradizioni del tempo”.

E. S. RUBINSTEIN e O. A. DROSDOW (1956): “... media su lunghi anni dei tipi di tempo che caratterizzano un dato luogo, determinata dalla radiazione solare incidente, dalle particolarità del terreno e dalla circolazione atmosferica loro connessa”.

C. L. GODSKE (1963): “Distribuzione di probabilità delle condizioni del tempo, cioè la sintesi delle distribuzioni di probabilità di tutti gli elementi meteorologici”.

J. BLÜTHGEN (1964): “Riassunto ... mediante la distribuzione dei valori più frequenti, medi ed estremi ... degli stati e processi meteorologici prossimi al suolo o influenzanti la superficie terrestre”.

Noi stessi (1978): “... probabilità che certe condizioni meteorologiche si verifichino in un determinato luogo”.

W. J. GIBBS (1987): “Probabilità statistica del verificarsi di diversi stati dell'atmosfera in un certo luogo o regione nel corso di un certo periodo civile. Per descrivere adeguatamente il clima occorre una rappresentazione precisa della distribuzione delle frequenze di una scelta

di elementi meteorologici oltretutto notizie sulle relazioni significative tra tali elementi e sui caratteri significativi delle loro cronache”.

Varrà la pena di osservare che a partire dalla definizione del GODSKE si è realizzato un sostanziale accordo. Permane peraltro la differenza tra la mentalità matematica generalizzatrice, uniformatrice e astratta e la tradizione geografica attenta agli elementi significativi di caso in caso. Sul problema è recentemente ritornato il belga R. SNEYERS, uno dei meteorologi più preparati in Statistica e noto per le sue messe a punto in materia durante numerosi congressi (*La climatologie, science ou littérature?* “Meteorologie”, s. 8°, n. 36, p. 54-61; feb. 2002).

Il giogo psicologico che si era venuto stabilendo apparve scosso quando nell’ultimo dopoguerra fu eletto a presidente della Commissione di Climatologia dell’Organizzazione meteorologica mondiale (OMM) il geografo C.W. THORNTHWAITE, che non era un funzionario di servizio meteorologico.

Il suo discorso d’insediamento è ricco di affermazioni dirompenti. Il predecessore H. V. FICKER considerava la Climatologia scienza ausiliaria delle più svariate discipline ma ritenne suo dovere guidarla ad essere più che altro ancella della Meteorologia dinamica; “Egli non riconosceva alla Climatologia il diritto a un’esistenza indipendente ... non posso accettare la definizione secondo la quale la Climatologia è una Meteorologia statistica, pur ritenendo che lo studio statistico dei dati meteorologici possa far parte della Climatologia, ... sono ancora più contrario all’opinione che la Climatologia è una branca della Statistica ... il clima è l’integrazione ... dei fattori la cui combinazione dà a una regione i suoi caratteri e la sua individualità ... esaminando il mandato della Commissione si potrebbe pensare che l’unico compito del Climatologo consista nel raccogliere le osservazioni delle quali il Meteorologo non ha più bisogno, conservarle, elaborarle e metterle a disposizione di altri studiosi ... non credo che dovremmo avere le stesse inibizioni cui è andata soggetta la precedente Commissione”.

Questo sforzo passò quasi senza conseguenze; tutt’al più può aver dato un certo impulso alla Topoclimatologia (cfr. 2.6).

Il grosso dei Meteorologi (e anche degli altri studiosi interessati alla Climatologia, ad esempio i Geografi) non si liberò dalle inibizioni cui accennava il THORNTHWAITE e in particolare da quella ad accettare anche in via teorica una Climatologia che esorbiti dalla Statistica. Continuarono così ad arrovellarsi intorno alla definizione di quella disciplina.

In effetti fin oltre la metà del secolo scor-

so la Climatologia continuò ad essere identificata col calcolo di medie impostosi dopo il 1880, il cui scarso significato divenne evidente, tanto da far prevedere che quella disciplina ed il suo stesso nome sarebbero scomparsi.

Da almeno un decennio però come Climatologia si intende la scienza delle relazioni interne al sistema climatico.

Si tratta di una disciplina che richiede una preparazione matematica piuttosto elevata (anzi nei suoi sviluppi più d’avanguardia che si occupano degli stati di “assestamento” o di equilibrio in senso lato del sistema e delle condizioni di passaggio dall’uno all’altro di essi, così elevata da poter sospettare che taluni preferiscano non affrontarli e dedicarsi a modelli meno rivoluzionari).

Questa nuova Climatologia suscita grandi entusiasmi, tanto che - cosa mai vista - si è incominciato a pubblicare riviste intitolate alla Climatologia, come il “Journal of Climatology” (dal 1981) e “Climate Dynamics” (dal 1987). Nessuno attribuisce loro il compito di caratterizzare meteorologicamente il territorio e invano si cercherebbe nelle riviste menzionate un articolo col classico titolo “Il clima di ...”.

Sintomo di queste vicende è il fatto che la Commissione di Climatologia dell’OMM negli anni ’60 a poco a poco perdettesse il suo inizialmente grandissimo prestigio, poi si trasformò in “Commissione per le applicazioni speciali della Meteorologia e della Climatologia” (1971) e più tardi “per la Climatologia e le applicazioni della Meteorologia” (1979) e finalmente ritornò ad essere “Commissione per la Climatologia” (1983 circa).

Converrà aggiungere qualche notizia che spiega alcuni termini sporadici nella letteratura climatologica e conferma l’identificazione della Climatologia con l’indirizzo rientrante nella Meteorologia matematica.

Il HANN credeva che l’osservazione diretta fosse utile e la descrizione verbale del clima particolarmente efficace (cfr. 1). Perciò le parti del *Handbuch der Klimatologie* dedicate ai climi regionali mettono in pratica tale opinione, citando persino brani di chi ha viaggiato attraverso i territori descritti, e portano il nome specifico di *Climatografia*. Il termine visse per alcuni lustri poi scomparve e ne fu dimenticato il significato.

Un’altra distinzione che non si è affermata fu proposta nel 1971 da H. LETTAU: chiamare *Climatonomia* lo studio fisico-matematico del sistema climatico.

2. I conseguimenti

2.1 Le prime opere moderne di Climatologia

Alla metà dell'Ottocento erano già disponibili svariate opere climatologiche che si possono considerare moderne e in parte lo sono molto più di quel che oggi è dato immaginare. Sarebbe interessantissimo riesaminarle minutamente, ma l'operazione è resa difficile dalle cautele - forse eccessive - dei possessori di libri così antichi, che peraltro in generale non sono rari.

Fondamentale è *The climate of London deduced from meteorological observations made in the Metropolis and at various places around it* del farmacista quacchero L. HOWARD (1772-1864), cui si deve la classificazione delle nubi tuttora in uso. Alla prima edizione in due volumi del 1818-1820, nel 1833 ne seguì una seconda in tre. Un trattato di Meteorologia generale, particolarmente attento ai problemi degli strumenti e metodi di misura, precede la vera e propria descrizione del clima di Londra. Al HOWARD non erano sfuggite molte particolarità d'abitudine trascurate dai Climatologi posteriori. Già nel 1812 egli aveva messo in evidenza che due pluviometri vicini possono ricevere quantità diverse di pioggia per effetto della turbolenza e sa che le grandi città alterano la distribuzione delle grandezze meteorologiche e che nelle medesime col passare degli anni la temperatura fa segnare un lentissimo aumento rispetto alle stazioni circostanti.

Per la Climatologia regionale sono altrettanto fondamentali le opere del Geobotanico e Climatologo danese J. SCHOUW (1789-1852), il quale trascorse in Italia tre anni (1817-1819 circa). In particolare i *Lineamenti di una geografia generale delle piante* (*Grundtraek til en almindelig plantegeographie*, Copenhagen 1822; *Grundzüge einer allgemeinen Pflanzengeographie*, Berlino 1823), i Contributi alla Climatologia comparata (*Beiträge zur vergleichenden Klimatologie*, Copenhagen, 1827; *Specimen geographiae physicae comparativae*, Copenhagen, 1828), il *Quadro della vegetazione e del clima dell'Italia* (*Tableau du climat et de la végétation de l'Italie*). Copenhagen 1839). Quest'ultimo è corredato di un atlante e mette a profitto le osservazioni in buona parte quantitative, che Giuseppe TOALDO (1719-1797) aveva raccolto a Padova da oltre 60 corrispondenti in tutta Italia.

Al 1839 risale anche il progenitore degli atlanti climatici. Il primo atlante fisico - edito da H. W. BERGHAUS - comprende carte della

distribuzione della pressione sugli Oceani Atlantico e Indiano curate dal HUMBOLDT e inserite per suo incitamento. Vi compare per la prima volta il termine di isobara.

Varie altre opere sono da ricordare per l'uno o l'altro motivo, talvolta semplicemente in quanto precorritrici.

W. JASTREBOWSKI pubblicò una *Carte météorologique de la capitale du Royaume de Pologne* (1828) e poi una *Carte climatologique de Varsovie comme point central de l'Europe* (1841). Intervallati di dieci anni (1847 e 1857) seguirono due importanti lavori russi *Sul clima di Mosca* (*O klimate Moskvy*) di M. F. SPASSKII (1809-1859) e *Sul clima della Russia* di K. S. VESELOVSKII (1819-1901).

Particolare interesse è da attribuire a tre volumi di A. QUÉTELET, che le storie della Statistica indicano come uno dei padri di quella scienza nelle sue applicazioni demografiche e sociologiche: i due *Sur le climat de la Belgique* (Bruxelles, Hayez; v. I, 1849, 358 pp.; v. II, 1857, 285 pp.) e l'altro *Météorologie de la Belgique comparée a celle du Globe* (ibid., 1867, 505 pp.). Nel 1864 E. RENOU (1815-1902) pubblicò per la prima volta carte delle isobare medie di una regione e precisamente della Francia e di parte del Mediterraneo e nel 1869 A. BUCHAN (1829-1907) carte con la distribuzione della pressione e del vento sull'intera superficie terrestre.

L'ultimo quindicennio dell'Ottocento e i primi lustri del nuovo secolo videro una fioritura di atlanti climatici veri e propri. Incominciò il HANN con l'*Atlas der Meteorologie* (Gotha, 1887), che fa parte di un'ulteriore edizione del *Physikalischer Atlas* del BERGHAUS. Seguirono nel 1899 il III volume curato dal BUCHAN di un'altra opera celeberrima, il *Bartholomews physical Atlas*, nel 1900 l'*Atlas climatologique de l'Empire de Russie* e nel 1906 il *Climatological Atlas of India* diretto da J. ELIOT.

In certo senso chiuse quella fioritura di opere fondamentali e celebri il *Klima-Atlas von Deutschland* dell'HELLMANN (Cfr. CAMBIAMENTI DI CLIMA 2.2.1) stampato a Berlino nel 1921.

2.2 La classificazione dei climi

Le cinque zone di Parmenide erano radicate tanto profondamente nella psiche umana (cfr. 1) che quando nel 1879 A. SUPAN (Innichen, oggi San Candido 1847 - Breslavia 1920) propose una classificazione dei climi più moderna in un primo tempo pensò di mantener-

le, indicando le isoterme medie annue di 20° e di 0°C come confini tra la zona torrida e le due temperate e tra queste e le zone frigide (*Die Temperaturzonen der Erde*. "Petermanns geogr. Mitt." v. 25, p. 349-358, 1879). Il risultato apparve ben presto avulso dalla realtà geografica e indusse il SUPAN a cambiare radicalmente criterio: dalla prima edizione dei *Lineamenti di Geografia fisica* (*Grundzüge der physischen Erdkunde*, Lipsia, 1884) egli propose 35 province climatiche definite con molta aderenza alla realtà, ma con i criteri empirici e soggettivi del naturalista, i quali evidentemente non soddisfanno il bisogno di certezza ed oggettività insito nella nostra psiche.

Nel classificare i climi ottenne i risultati più felici W. KÖPPEN (1846-1940), personalità fuori dell'ordinario: nato a Pietroburgo in una famiglia tedesca da due generazioni al servizio del governo zarista, studiò in Russia fino al secondo anno di università, poi passò ad Aidelberga (dic. 1866) e finalmente a Lipsia, dove nel 1870 si diplomò con la dissertazione *Calore e crescita delle piante*. Da studente manifestò prevalentemente interessi di tipo naturalistico, ma - spinto anche da una tradizione geografico-statistica familiare - elaborò misure meteorologiche sin dal 1865 e seguì il corso di fisica dell'illustre G. K. KIRCHHOFF (1824-1877). L'argomento della dissertazione fu scelto per influenza della *Carta geobotanica della Terra* pubblicata nel 1867 sulle "Petermanns Mitteilungen" da A. GRISEBACH (1814-1879). Ritornato in Russia il KÖPPEN lavorò per due anni all'Osservatorio meteorologico centrale. Nel 1875 si trasferì in Germania e per altri 65 anni fu attivo, sempre dimostrando originalità e genialità, in quasi tutti i settori della Meteorologia. Nel 1884 egli abbozzò una classificazione dei climi, basandosi sulla constatazione (della quale fece uso proficuo il TARGIONI-TOZZETTI; cfr. 1) che lo sviluppo e la stessa sopravvivenza delle piante sono legate alla durata dei periodi in cui la temperatura si mantiene al disopra o al disotto di certe soglie (*Le zone termiche della Terra, considerate dal punto di vista della durata dei periodi caldi, temperati e freddi e degli effetti del calore sul mondo vivente. Die Wärmezonen der Erde nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und der Wirkung der Wärme auf die organische Welt*. "Met. Ztschr.", v. 1, p. 225-226). Nel 1900 seguì un *Tentativo di classificazione dei climi, prevalentemente fondato sulle loro relazioni col mondo vegetale. (Versuch einer Klimaklassifikation vorzugsweise nach ihre Beziehungen zur Pflanzenwelt*, "Geogr. Ztschr.", v. 6, pp. 593-611 e 657-679) dove è tenuto conto

anche dei totali delle precipitazioni nei periodi considerati.

L'elaborazione del problema si può considerare ormai matura nel 1918 con l'articolo *Classificazione dei climi in funzione della temperatura, delle precipitazioni e dell'andamento annuale* (*Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf*, Petermanns geogr. Mitt., v. 64, pp. 193-203 e 243-248). Questo lavoro è più libero dalle radici fitogeografiche e quasi puramente climatologico, abbandona una certa precedente tendenza a forzare le analogie tra i vari continenti e contiene la carta e le formule climatiche che diverranno classiche. La nuova classificazione fu diffusa dal volume *I climi della Terra. Fondamenti di climatologia* (*Die Klimate der Erde. Grundriss der Klimakunde*, Berlino, 1923; nella seconda edizione del 1931 è riprodotta la carta del 1918), dalla parte I C *Das geographische System der klimate* (Berlino, Borntraeger, 1930, 1936²) del grandioso *Handbuch der Klimatologie*, coordinato dal KÖPPEN e da R. GEIGER (cfr. 2.5) e da una grande carta murale alta un metro e mezzo *Wandkarte der Klimate der Erde* (Gotha, Perthes, 1928; con la collaborazione del GEIGER). Le numerose altre classificazioni proposte sono in gran parte perfezionamenti di quella del KÖPPEN, che peraltro rimane la più adatta a un'utilizzazione generica. Di solito esse tendono ad esprimere meglio la cruciale relazione tra temperatura e precipitazioni (la quale per gli effetti sul mondo vegetale va espressa in termini di bilancio idrico delle piante), ricorrendo anche a nuove grandezze, in passato malamente stimabili, come l'evapotraspirazione.

Ovviamente si è fatta sentire l'esigenza di una classificazione puramente oggettiva, manifestatasi nell'articolo *Le concept du climat absolu et la classification des climats* ("Meteorol.", p. 161-166; 1955) dell'italiano G. AZZI (1885-1962), creatore dell'Ecologia agraria. Egli distribuisce in opportune classi le temperature medie e le precipitazioni totali annue e calcola le percentuali della superficie terrestre attribuibili alle singole classi. Su un diagramma cartesiano avente come coordinate le percentuali della superficie terrestre caratterizzate da precipitazioni e temperatura inferiori a un valore dato riporta i punti corrispondenti alle località prese in considerazione e come riferimento i valori medi delle due grandezze calcolati per l'intera superficie terrestre. I progressi della statistica e dei metodi di calcolo rendono oggi possibili classificazioni totalmente fisiche e oggettive. Dovrebbe essere soprattutto istruttivo confrontare quelle ottenute in basi a diversi criteri.

Riguardo alla classificazione oggettiva dei climi, basterà citare tre scritti italiani:

I. TONTI, *Le regioni climatiche in Italia* ("Riv. ital. Econ., Demogr., Statist.", v. XIII, n. 314, p. 485-486; 1959) basata sulla varianza delle precipitazioni e della temperatura;

E. ROSINI, M. MENENTI e V. TREVISAN, *Concetti e metodi della mesoclimatologia per un contributo alla conoscenza ambientale* ("Informat. botan. ital.", v. VI, n. 2, p. 163-170; 1974) illustrante il concetto di distanza climatica (cfr. Encicl. ital., IV Append., v. I, p. 474);

H. CARNIEL, M. CESCHIA e S. MICHELETTI, *Precipitation distribution in Friuli-Venezia Giulia: average amounts and cluster analysis*. (In: 21. Internationale Tagung für alpine Meteorologie, 17-21 Sept. 1990. *Tagungsbericht, 1. Teil*, p. 402-405. Pubblicazioni Centr. meteorol. svizz., n. 48).

In questo filone si può far rientrare anche il *Profilo climatico dell'Italia* di S. PETRARCA et. al. edito dall'ENEA (8 voll.; 1999). L'opera prende le mosse da una definizione puramente termica dei mesi in molto freddi, freddi, confortevoli, caldi e molto caldi e riconosce nel nostro territorio 11 aree climatiche caratterizzate dal numero dei mesi freddi o molto freddi oppure da quello dei mesi caldi o molto caldi.

Un altro aspetto che riteniamo attuale è una classificazione che si fondi sulle reazioni dell'uomo contemporaneo. Studi, in verità molto parziali, di singole località e regioni secondo i criteri suaccennati sono già stati pubblicati. Questi indirizzi non hanno suscitato molta attenzione sicché non sono stati elaborati per l'intera superficie terrestre e neppure sono state diffuse rassegne esaurienti del pubblicato.

L'analisi di come le condizioni climatiche influenzano l'Uomo ha avuto inizio con lo studio del disagio apportato dal caldo-umido avviato nel 1941 dall'articolo *Afa e agio come grandezze climatiche* di K. SCHARLAU (*Schwüle und Behaglichkeit als Klimagrößen*. "Hyg. infekt. Krankh.", v. 128, p. 511-530; 1941). Nel nostro paese hanno condotto studi del genere E. ROSINI (a partire dall'S. P. No 5 del CENFAM *Un indice di disagio climatico in regioni calde*. Roma, 1964, 19 pp.+ 4 tabb.) e A. SERRA e la sua scuola, i quali li hanno estesi al freddo umido (J. SANNA, A. SERRA e A. SOLLAI, *Sugli indici di disagio climatico per l'organismo umano in varie zone della Sardegna. Determinazione dell'indice di disagio climatico per l'organismo umano nella penisola italiana e le isole maggiori in condizioni di caldo umido* ("Riv. Met. aer.", a. XXXVII, n. 2, p. 113-130, 1977; a. XXXVIII, n. 2, p. 117-123; 1978; G. PIBIRI, A. SERRA e A. SOLLAI,

Determinazione dell'indice di disagio climatico per l'organismo umano nella penisola italiana e le isole maggiori in condizioni di freddo umido (ibid., a. XLII, n. 1, p. 19-27, 1982).

Successivamente hanno preso le mosse le ricerche sul clima ideale per i turisti, sviluppate soprattutto da francesi, a partire da un articolo pubblicato nel 1955 da R. CLAUSSE e C. GUÉROULT, *La durée des précipitations, indice climatique ou élément de climatologie touristique?* ("Météorol.", n. 37, p. 1-9; 1955). Tra i lavori successivi ci limiteremo a segnalare A. DAUPHINÉ e Nicole GHIRARDI, *Essai de bioclimatologie touristique: la Cote d'Azur* ("Méditerranée", 1976, n. 3, p. 3-15).

Sembra che l'influenza del clima sull'Uomo nelle condizioni per lui naturali sia stata presa in considerazione più tardi. Crediamo di dover segnalare un precorritore lavoro di F. LAUSCHER, *Sulla climatologia delle condizioni di lavoro all'aperto nell'ambiente alpino* (*Zur Klimatologie der Arbeitsbedingungen im Freien in alpinen Landschaften*. In: 5. Internationale Tagung für alpine Meteorologie, 14-16 Sept. 1958, p. 54-70. "Ber. dtsch. Wetterdienst.", Nr. 54; 1959), l'esauriente rassegna *Indici di benessere termico e limiti di accettabilità* pubblicata da C. M. AVIO negli "Ann. Sanità maritt." (a. LXXXII, fasc. IV, p. 627-650; 1977) la comunicazione per quel che sappiamo rimasta senza seguito di C. IANNUCCI, che calcola l'incremento del costo della vita per una famiglia che si trasferisca in una località a clima più rigido (*Le informazioni meteorologiche nella pianificazione del territorio*, In: *Atti del primo Convegno di Meteorologia appenninica*, Reggio Emilia, Amministr. provinc., 1982. Cfr. p. 71-75). L'ultima introduce un importante elemento oggettivo nella *vexata questio* delle zone salariali e potrebbe concorrere a liberarla dagli aspetti quasi razzisti che essa comporta nella formulazione usuale. La penultima può costituire un'ottima base per raccordare l'attività dei Meteorologi con quella dei Medici.

Infine una soddisfacente presa in considerazione del clima urbano nel suo insieme ci sembra essere stata raggiunta per la prima volta con la monografia *Le climat et la ville* di Gisèle ESCOURROU ([Parigi ?], Nathan, 1991; 190 pp.).

2.3 La Climatologia dinamica

Uno dei pochi scritti di Climatologia che hanno avuto grande eco e profonda influenza sono i *Lineamenti di una Climatologia dinami-*

ca (*Richtlinien einer dynamischen Klimatologie*, "Met. Ztschr.", v. 47, fasc. 7, p. 246-262; 1930) di T. BERGERON i quali introducono i nuovi concetti sviluppati dalla scuola norvegese delle discontinuità (per l'uno e l'altra cfr. METEOROLOGIA 3.4). Il BERGERON propone di inserire le grandezze misurate e i fenomeni osservati in un quadro sufficientemente organico e tipico nel cui ambito si possa procedere a ragionamenti dinamici e termodinamici come già si faceva con risultati convincenti nelle aree a regime monsonico e là dove il condizionamento orografico è molto marcato sicché si può parlare di regime di Föhn, di Scirocco, di Bora e via dicendo. I quadri di riferimento che così si ottengono hanno avuto grande successo e man mano che le idee evolvevano si sono chiamati situazioni meteorologiche, tempo in grande, tipi di tempo, tipi di circolazione. In verità già dall'Ottocento si era tentato qualcosa di simile mediante lo studio dei tipi isobarici, che però erano rimasti astratti e infecondi in parte per l'inibizione a pensare naturalisticamente e molto perché mancavano le teorie matematiche che generano nuovi schemi mentali anche in chi ama ragionare in quella maniera. Ragionamenti di questo tipo condotti con senso critico da personalità dotate di profonda preparazione fisico-matematica hanno prodotto i concetti fondamentali della Climatologia dinamica che hanno permesso di tradurre efficacemente in pratica la proposta bergeroniana: quelli di massa d'aria, limite di massa e fronte troposferico.

Le masse d'aria sono porzioni di atmosfera che per aver stazionato più giorni in un'area anticiclonica si sono messe in equilibrio col terreno sottostante e si sono così caratterizzate termodinamicamente. Quando poi si mettono in movimento quell'equilibrio non sussiste più ed esse interagiscono col suolo assumendo nuove caratteristiche termodinamiche che danno luogo a particolari meteore ed a particolari proprietà percepibili dai nostri sensi. Le masse d'arie hanno limiti netti, che in opportune condizioni di moto relativo tra di esse divengono fronti, cioè fasce di tempo perturbato con fenomeni particolarmente vistosi e piuttosto persistenti. Secondo questa impostazione la situazione meteorologica ad un dato istante si può descrivere come un mosaico di masse d'aria con i relativi limiti e fronti. Ciascuna località rimane in media per qualche giorno nell'ambito della stessa massa d'aria e si viene così a realizzare quanto proposto dal HANN nella parte dimenticata (o, meglio "rimossa" nel senso psicoanalitico della parola) della sua definizione. Le pagine seguenti - redatte da E. ROSINI nell'immediato dopoguerra - sono un esempio di come il nuovo

tipo di climatologia sia efficace già nelle sue prime elaborazioni e nelle più elementari esposizioni a scopo didattico.

Versanti tirrenici

La regione è limitata a N dal 44° parallelo e ad E dalla linea spartiacque degli Appennini. La parte settentrionale della regione comprende una vasta area di colline con numerosi corsi d'acqua e bacini lacustri. La catena dei monti che delimita ad E la regione è più alta, in media, di quella ligure ed è interrotta dalla vallata del Tevere e dell'Arno.

La regione più a S è costituita da una fascia costiera pianeggiante della profondità media di 50 km circa e dalla catena degli Appennini, a forti gradienti altimetrici. Questa catena costituisce una barriera ad orientamento NW-SE per le correnti a componente occidentali.

Essa è intersecata dall'ampia vallata del Nera e da quella più frastagliata ed irregolare del Volturno. Entrambe queste aperture posseggono un orientamento N-S.

Tre tipici climi caratterizzano la regione: quello marittimo lungo la fascia costiera; quello temperato con inverno più marcato nelle vallate del Tevere e del Volturno nonché lungo i versanti occidentali dei rilievi al disotto dei 500 m; clima di collina o di montagna al disopra dei 500 m.

La particolare e complessa distribuzione della orografia caratterizzata da fenditure e valloni irregolari contribuisce alla grande variabilità del clima in funzione del luogo. Si rilevi infine che la parte settentrionale della regione subisce un notevole effetto di protezione da parte della Corsica.

Inverno. In inverno sono importanti tre tipi di tempo: "correnti da est", "pressioni livellate" e le "depressioni sottovento".

Le "correnti da est" danno nella regione cieli sereni e non di rado temperature particolarmente basse. Le "pressioni livellate" sono accompagnate dal tempo buono, con nebbia sparsa nelle vallate. Le depressioni "sottovento" nell'inverno tendono a muoversi direttamente attraverso la Toscana e l'Umbria, dando luogo a periodi piovosi con correnti da S-SE cui fanno seguito correnti più fredde da NW. Nella parte settentrionale della regione (tra il 44° e il 41° parallelo) l'effetto protettivo della Corsica è più marcato ...

Una particolare situazione che in questi mesi dà luogo a precipitazioni persistenti per alcuni giorni è quella caratterizzata da una sacatura in quota sul Tirreno e una depressione al suolo nel golfo di Genova che determinano tra

la Sardegna e la Penisola un'attiva convergenza e frontogenesi.

Primavera. In questa stagione le traiettorie delle depressioni interessano più frequentemente la parte settentrionale della regione. Il tipo di tempo da E invernale decresce in frequenza mentre si verificano più spesso il tipo anticiclonico estivo ed i periodi piovosi con venti meridionali. Prevalgono le nuvolosità irregolari spesso cumuliformi ed è frequente la pioggia collegata a fenomeni di instabilità, specialmente sui rilievi.

Estate. In estate il tipo sinottico più importante è quello delle pressioni livellate [...] e lungo la regione costiera l'andamento diurno del vento è determinato dalle brezze. I temporali estivi (5-7 per stagione) risultano in genere meno frequenti che in Liguria (8-10 per stagione), tuttavia questa è la stagione di massima frequenza di temporali per le località interne.

Autunno. In questa stagione le pressioni livellate costituiscono ancora il tempo più frequente. Tuttavia le depressioni "sottovento" e quelle "mediterranee" pur non essendo accompagnate da forti gradienti di vento e di pressione, interessano la regione per lo più con tempo di settore caldo. La pioggia è abbondante specie nella parte settentrionale, poiché le perturbazioni in questa stagione seguono più frequentemente la traiettoria che va dal Mar Ligure alla valle del Po. L'autunno è per le località costiere la stagione di massima frequenza dei temporali. Il tipo di tempo invernale con correnti da E e cieli sereni si fa più frequente in ottobre e novembre."

L'interesse del BERGERON era concentrato sui moti verticali all'interno delle singole masse ed ai fenomeni da essi prodotti. Dopo la rivalutazione del concetto di vorticità operata da C. G. ROSSBY a partire dal 1939 (cfr. METEOROLOGIA 10) si è sempre più sviluppato l'interesse per le modulazioni dei moti orizzontali all'interno delle singole masse, modulazioni che hanno per conseguenze moti verticali.

2.4 La Climatologia medica

La Climatologia medica è mossa dal desiderio di comprendere se e perché il soggiorno in certe località ha effetti salutari. Non per niente è tradizionalmente abbinata all'Idrologia medica, che ha la stessa funzione dei confronti delle

acque cui si attribuiscono effetti terapeutici. Com'è detto piuttosto esplicitamente nella prefazione al *Traité de Climatologie biologique et médicale* diretto da M. PIÉRY, il disinteresse dei Meteorologi per la Climatologia locale ha spinto i Medici ad occuparsene direttamente. Spesso i risultati da loro ottenuti hanno le caratteristiche che si compendiano nella parola *surrogato*, ma l'insieme della loro opera e le loro iniziative editoriali hanno fruttato conoscenze della Climatologia regionale non altrimenti disponibili oltretutto favorito lo sviluppo della Biometeorologia e il confronto tra studiosi di diversa formazione.

Crediamo di dover ricordare due opere che hanno avuto una vasta diffusione internazionale e rispecchiano i caratteri delle due nazioni in cui sono state realizzate: il summenzionato trattato del PIÉRY edito nel 1934 a Parigi da Masson, in tre tomi per un totale di circa 2620 pagine, e il *Trattato di medicina termale e climatoterapia* (*Lehrbuch der Bader- und Klimaheilkunde*) diretto da H. G. VOGT e pubblicato a Berlino da Springer nel 1940, in due tomi per circa 1270 pagine.

Il primo è costituito da oltre 150 contributi (in parte usciti dalla penna di Meteorologi, Bioclimatologi e Geografi famosi quali A. BALDIT, V. CONRAD e W. MÖRIKOFER; M. van der ELST; E. BÉNÉVENT, E. DE MARTONNE e M. SORRE) ed offre un gran numero di spunti poco convenzionali. Il secondo comprende un numero non elevato di capitoli stilati da pochi autori probabilmente tutti medici ed è più organico, rigoroso e critico, nonché aggiornato alle più recenti teorie meteorologiche. Esso dimostra che è possibile una Climatologia medica su solida base fisica, avendo come unica pecca le statistiche condotte su un numero troppo limitato di casi (difetto proverbiale dei medici)³ quantunque le stazioni climatiche e termali rendano particolarmente agevole operare su grosse "popolazioni". Per di più analizza l'inquinamento ambientale - e non soltanto quello chimico - con una precisione che diventa comune soltanto trent'anni più tardi.

2.5 La Micrometeorologia

Un filone di grande importanza è rappresentato dall'interesse per le minute particolarità meteorologiche del territorio, che sfuggono alle stazioni scelte secondo la convenzione della

³ M. AGENO, *Esercizi e problemi di Fisica*, II ed., Roma, Veschi, s. d. [1949]. Cfr. p. 21.

rappresentatività (v. CAMBIAMENTI CLIMATICI 1) e misurano la temperatura all'altezza di 1,5–2 m sul suolo. Il fisico finlandese Th. HOMÉN (1858-1923) a partire dall'agosto 1893 eseguì misure di temperatura su diversi tipi di suolo e nel 1897 pubblicò a Lipsia il volume *Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde (Il bilancio termico giornaliero del suolo e gli scambi radiativi fra Cielo e Terra)*. Il libro *Il suolo e il clima negli spazi minimi (Boden und Klima an kleinsten Raum)* che il botanico di Würzburg G. KRAUS (1841-1915) pubblicò nel 1911 (Jena, Fischer) rappresenta l'inizio di una maniera di ragionare propriamente microclimatologica.

Le Storie della Meteorologia di solito inducono a considerare creatore della Micrometeorologia R. GEIGER (cfr. METEOROLOGIA 14); e pongono in secondo piano le attività nel settore di A. SCHMAUSS (1877-1954) e W. SCHMIDT (1882-1936). Ricordano il primo per gli studi sull'atmosfera come colloide e il secondo per la sua teoria della turbolenza. Noi stessi credevamo che i loro lavori con titoli apertamente microclimatologici fossero stati suscitati dall'opera fondamentale del GEIGER *Il clima dello strato atmosferico prossimo al suolo. Un trattato di Microclimatologia. (Das Klima der bodennahen Luftschicht. Ein Lehrbuch der Mikroklimatologie)*. Braunschweig, Vieweg, 1927). Ma quel libro si apre con le parole "Nell'ambito della Microclimatologia mi ha introdotto il prof. A. SCHMAUSS" e poche pagine più oltre l'A. cita lo SCHMIDT come l'altro immediato suo precursore. In effetti lo SCHMAUSS lascia testimonianza del suo interesse per i fenomeni a piccola scala in articoli come *Seewinde ohne See (Brezze di lago senza corpo idrico)*. "Met. Ztschr." v. 37, p. 154-155; 1920), *Eine Miniatur Polarfront* (Ibid., v. 42; 1925). *Luftlawinen in Alpentälern* ("Dtsch. Meteorol. Jahrb. f. Bayern", 1926; tratta dell'irruzione di piccoli volumi d'aria fredda). Sembrerebbe che gli interessi microclimatologici dello SCHMIDT fossero derivati dalla tradizionale attenzione al comportamento termico del suolo e dall'osservazione del trasporto della polvere e di inquinanti durante le sue ricerche sulla turbolenza, il che finì per interessarlo alla Bioclimatologia (*Rapporti tra il tempo meteorologico e il benessere dell'Uomo risultanti da rilevamenti statistici. Über Beziehungen zwischen der Witterung und dem Befinden den Menschen, auf Grund statistischer Erhebungen* "Arch. Hygiene", a. 90, p. 83-97; 1921; con E. BREZINA).

Il GEIGER (nato nel 1894 e fratello di

Hans, cui si deve il celebre contatore di particelle ionizzanti) ci appare come un fisico generalista approdato forse per motivi pratici alla responsabilità della parte meteorologica dell'Istituto sperimentale forestale di Monaco. Riconosciuta l'importanza in quell'ambito dei temi delle temperature presso il suolo e del clima di esposizione, li affrontò con grande capacità creatrice e generalizzatrice, fondando una disciplina organica e matura, cui diede il nome di Microclimatologia. Essa ha molti punti di contatto con la Topoclimatologia (2.6): ne differisce per un più marcato carattere fisico-matematico e per la scarsa sensibilità verso la caratterizzazione di un paesaggio nel suo insieme. Ricerche come i "Rilevamenti microclimatologici" mediante un'automobile attrezzata per misurare la temperatura condotti dallo SCHMIDT (*Kleinklimatische Aufnahmen durch Temperaturfahrten*. "Met. Ztschr.", 1930, p. 92-106) meglio si definirebbero topoclimatologici.

Da una quarantina d'anni a questa parte, il termine Microclimatologia indica lo studio dal punto di vista della Meteorologia geografica di ambiti molto piccoli che una transizione brusca distingue dall'ambiente in cui sono inseriti. Oggi il trattato del GEIGER si direbbe di Micrometeorologia piuttosto che di Microclimatologia (cfr. METEOROLOGIA 13).

2.6 La Topoclimatologia

Il termine fu coniato dal THORNTWAITE nella primavera del 1953. Non ne diede una definizione formale, ma possiamo dire che egli intese qualcosa di assai generale: in sostanza quella che noi abbiamo chiamato Meteorologia geografica e il cui bisogno non fu rimosso del tutto dall'identificazione della Climatologia con una Statistica meteorologica piuttosto generica. I lavori di Meteorologia geografica pura sono scarsissimi, in compenso generalmente rivelano un finissimo spirito naturalistico e un'eccezionale capacità di comunicare come si vive la Meteorologia del territorio trattato.

Crediamo di doverne menzionare cinque: la parte meteorologica della celebre monografia limnologica *Le Léman* di F. A. FOREL (Losanna 1892), *Die lokalen Winde am Zürichsee* di H. FREY ("Neujahrsblatt der naturforschenden Gesellschaft in Zürich auf das Jahr 1926"; 39 pp.), la *Météorologie du Relief terrestre* di A. BALDIT (Parigi, 1929), i *Lineamenti di una Climatologia del paesaggio tedesco (Grundriss einer Klimakunde des deutschen Landschaft)*. Lipsia, Teubner, 1966) di M. HENDL, *Climat et météorologie de la Suisse*

romande, Losanna, Payot, 1972-1985) di A. BOUËT. Quest'ultima opera fa spicco perché l'A. possedeva una esperienza teorica completa e contribuì a tradurre in francese l' *Hydrodynamique physique* di V. BJERKNES (cfr. METEOROLOGIA 3).

A talune esigenze pratiche - in particolare a quelle agricole e forestali - si doveva dare una risposta al di là delle convenzioni sui metodi propriamente scientifici. Serie di pubblicazioni abbastanza nutrite videro la luce tra il 1915 e il 1938 negli Stati Uniti e tra il 1942 e il 1951 in Argentina e in Uruguay, dove si manifestò un indirizzo estremista tendente a fare il minimo uso possibile di strumenti.

Da cinquant'anni a questa parte fiorisce in Germania una vera e propria scuola - che opera a caratterizzare meteorologicamente il territorio in vista delle scelte non soltanto agricole e forestali, ma anche della pianificazione territoriale - e si è attribuita il nome di *Geländeklimatologie* che volentieri traduciamo in *Climatologia del territorio* per distinguerla dalla Topoclimatologia teorica, che menzioneremo più avanti e che preferiremmo chiamare Topoclimatologia senza aggettivi. Come fondatore possiamo indicare K. KNOCH, come esponenti principali F. SCHNELLE, H. AICHELE, H. G. KOCH (che condusse studi topoclimatologici nel nostro paese durante il periodo più difficile dell'ultima guerra), W. BOER (che fu uno dei primi e più concreti specialisti di Meteorologia applicata all'industria e ai trasporti, da lui battezzata Meteorologia tecnica), H. AULITZKY, H. JUNGHANS, H. SCHIRMER, W. KREUZ. Anche la scuola tedesca ebbe un'ala estremista che tendeva a una Meteorologia geografica programmaticamente naturalistica fondata sulla Geobotanica e la Fenologia ed è rappresentata da H. ELLENBERG e K. F. SCHREIBER. Essa trovò un'accoglienza aperta, anche se critica, in Svizzera, dove poté tentare un esperimento, che pare sostanzialmente riuscito, di zonizzazione termica su base fenologica.

Di recente è sorto un indirizzo assai più ortodosso, quello per il quale preferiremmo riservare il termine Topoclimatologia. Essa mira ad esprimere matematicamente l'influenza dell'andamento del terreno sui fenomeni meteorologici. Riteniamo che la Topoclimatologia sia stata volutamente tenuta in sordina, forse per scelta dei suoi stessi "adepti", in considerazione del rifiuto che la comunità scientifica da cinquant'anni a questa parte oppone ad ogni conclusione non derivante da un'elaborazione matematica. Comunque, non proclamò i suoi principi come aveva fatto pochi anni prima la

Climatologia dinamica e in pratica gli orientamenti e le reazioni generali non ne tennero conto. E per questo ne parliamo trattando delle realizzazioni pratiche piuttosto che del dibattito concettuale. Ci appare anche sintomatico che l'unica rassegna atta a farla conoscere alla massa dei Meteorologi (la nota tecnica 133 dell'Organizzazione meteorologica mondiale, del 1974, redatta da L. B. Mac HATTIE ed F. SCHNELLE, non produsse quell'effetto, probabilmente a causa del titolo *Agrotopoclimatology* che a noi appare volutamente riduttivo.

2.7 Il *World Survey of Climatology*

Verso il 1960 un gruppo di eminenti climatologi concepì quest'opera come una rassegna dello stato attuale della Climatologia nel mondo, che nel corso dei lavori si volle trasformare in una sorta di Climatografia mondiale. Dai 12 volumi del progetto si passò a 16. I 10 volumi dedicati alle varie regioni del globo risultarono alquanto ibridi, con capitoli più vicini alla prima ed altri più vicini alla seconda impostazione. Sono preziosi come base per ulteriori elaborazioni, ma non hanno realizzato in pieno l'intento di chi propose la trasformazione. Dato l'abbandono della Meteorologia geografica, quell'intento non era conseguibile e sarebbe stato meglio mantenere l'indirizzo iniziale. I quattro volumi di Climatologia generale (1969-1985) sono una fondamentale enciclopedia climatologica che non dimentica neppure gli indirizzi trascurati come meno scientifici. I volumi sui climi della libera atmosfera (1969) e degli oceani (1984) costituiscono per quel che sappiamo le uniche sintesi moderne in materia e dovrebbero essere presenti in ogni ufficio meteorologico e nella libreria privata di molti studiosi. Purtroppo all'opera è mancata un'adeguata diffusione, forse a causa della politica dell'editore (Elsevier di Amsterdam), il quale si accontenta di vendere un piccolo numero di copie molto decorose e costose a grosse istituzioni.

2.8 Conclusioni e prospettive

Il *World Survey of Climatology* si può considerare la *summa* della Climatologia tradizionale, che era mossa dall'esigenza di caratterizzare meteorologicamente il territorio, ma non ha realizzato appieno il suo intento perché le è stato imposto di limitarsi ad elaborare misure di stazioni impiantate per altri scopi. Ormai essa non può più essere una branca concettualmente

rilevante della Meteorologia. Quello che oggi si chiama Climatologia è in realtà la naturale evoluzione della Meteorologia dinamica, fa parte della Meteorologia matematica e la trattiamo nel capitolo METEOROLOGIA.

L'esigenza di caratterizzare meteorologicamente il territorio rimarrà e un giorno o l'altro sarà soddisfatta, probabilmente sotto l'etichetta della Topoclimatologia. Si potrà far uso di quattro metodi: l'osservazione diretta in loco, il telerilevamento, l'elaborazione di misure di stazioni e la modellistica numerica.

Ritenevamo che ci si sarebbe serviti più che altro del telerilevamento, ma la modellistica numerica progredisce con grande rapidità e anche se l'interesse di chi vi si dedica è concentrato sullo sviluppo della tecnica matematica e non sulla messa in luce delle caratteristiche meteorologiche del territorio finirà col fornire una microzonazione del territorio, che peraltro potrebbe rimanere un archivio di dati a disposizione di singole esigenze tecniche senza essere sintetizzata in una descrizione generale del territorio.

3. Gli studi climatologici in Italia

3.1 Prima dell'Unità

Fino alla metà dell'Ottocento gli studi di una certa consistenza sul clima dell'Italia si debbono a stranieri: lo SCHOUW oltre le opere citate in 2.1 scrisse delle *Observations météorologiques sur le Mont Etna* ("Bibliothèque universelle", 1819) e una memoria sul comportamento della pioggia in Italia (*On Italiens Regenforhold* ("Danske Vidensk. Seisk, Afhæd.", a. II, 1826), M. DUREAU DE LA MALLE una *Climatologie comparée de l'Italie et de l'Andalousie anciennes et modernes*. (Parigi, 1849).

AA. italiani provvidero a raccolte dati più numerose di quanto si potrebbe credere e a pochi lavori di sintesi, che attendono di essere valutati in base a criteri moderni. Ricorderemo: G. FILIASI, *Memorie delle procelle che annualmente sogliono regnare nelle maremme veneziane*. (Venezia, Zatta, 1794, 88 pp.) e *Osservazioni sopra le vicende annuali atmosferiche di Venezia e paesi circonvicini* (Venezia, Andreola, 1828).

F. M. MARCOLINI, *Del clima di Udine e*

della di lui influenza sulla economia animale de' suoi abitanti, (Venezia, Picotti, 1816, 110 pp.).

C. GEMELLARO, *Saggio sopra il clima di Catania abbozzato dietro un decennio di osservazioni meteorologiche*, ("Atti Acc. Gioenia", v. V. p. 153-segg.; 1832.

G. GIROLAMI, *Considerazioni sopra il clima di Civitavecchia e alcune principali o endemiche malattie che vi dominano*, (Firenze, Le Monnier, 72 pp.; 1842).

3.2 Le iniziative dell'Italia unitaria

Uno sforzo per avviare uno studio sistematico del clima d'Italia si ebbe soltanto con Carlo MATTEUCCI (1811-1868) cui si deve anche l'istituzione del primo servizio meteorologico nazionale il 9 aprile 1865. Egli ottenne che il 27 dello stesso mese fosse costituita una commissione da lui presieduta e avente come altri membri G. CACCIATORE, G. CANTONI, A. DE GASPARIS, G.B.DONATI e G. V. SCHIAPARELLI, col compito di pubblicare "un libro sul clima d'Italia composto da monografie sui climi locali". La commissione produsse un *Programma delle ricerche e calcoli da instituirsi per la formazione del libro sul clima d'Italia* redatto dallo SCHIAPARELLI e ampiamente diffuso insieme con una lettera della quale l'Archivio storico dell'Osservatorio di Brera conserva diverse copie senza indirizzo né data, ma con la firma autografa del MATTEUCCI.

Malgrado la campagna per stimolare chiunque disponesse di dati meteorologici fosse davvero capillare ed insistente ed i raccoglitori fossero numerosissimi (persino G. GARIBALDI a Caprera "Annotò ... di suo pugno, giorno per giorno: la temperatura esterna, quella della stanza, i gradi dell'igrometro, i fiori che fiorivano")⁴ vide la luce soltanto il volume *Sul clima di Vigevano* (Milano, Vallardi, 1868) elaborato appunto dallo SCHIAPARELLI ed importante anche dal punto di vista meteorologico perché traduce piuttosto convincentemente stime soggettive in termini quantitativi.

Comunque non tardò a manifestarsi una notevole fioritura di studi, più che altro locali, che fu proseguita con notevole entusiasmo sino alla prima guerra mondiale. Sono da ricordare gli scritti che C. DE GIORGI dedicò a Lecce ed alla sua provincia a partire dal 1872, quelli

⁴G. E. CURATULO, *Garibaldi e le donne*, Roma, Imprimerie Polyglotte, 1913. Cfr. p. 34.

sul clima di Roma di G. S. FERRARI (1878) e P. TACCHINI (1882), la nutrita serie dedicata a Napoli (V. CANINO 1887; E. PASSARO, 1889, 1893 e 1895; V. ALBERTI 1901 segg.).

3.3 Clima d'Italia in generale

Sul clima dell'Italia nel suo insieme a un primo scritto di D. RAGONA nell' "Annuario statistico italiano" del 1870 ne seguì uno più ampio di P. CANTONI pubblicato a puntate nel 1881 sull' "Italia agricola" e poi raccolto in volume. Nel 1896 vide la luce la prima climatografia moderna del nostro paese: il cap. VIII *Il clima d'Italia*, curato da L. DE MARCHI, del v. IV dell'opera *La Terra* diretta da G. MARI-NELLI.

Nel 1908 il medico igienista fiorentino G. ROSTER pubblicò una *Climatologia dell'Italia nelle sue attinenze con l'igiene e l'agricoltura* che rimane tuttora la più comprensiva opera del genere. Nel 1931 fu edita come XVII vol. del *Trattato italiano d'Igiene* diretto da O. CASA-GRANDI (Torino, UTET) una *Climatologia* di G. CRESTANI assai più sommaria della precedente. Il CRESTANI manifestò meglio le sue notevoli qualità di climatologo nella parte meteorologica (vol. I, parte II, t. III; Venezia, Ferrari 1933) della grande monografia *La laguna di Venezia*. Da allora la sola opera paragonabile alle precedenti ma assai meno comprensiva ed elaborata sono i tre volumi di C. MENNELLA *Il clima d'Italia nelle sue caratteristiche e varietà e quale fattore dinamico del paesaggio* (1°: Napoli, EDART, 1967, pp. 718+5 non num.; 2° e 3°, Napoli, Conte 1972 e 1973, pp. 803+4 non num. e 832+5 non num.). Tutte queste opere vanno confrontate per quanto riguarda la corrispondenza alla percezione che del clima ha l'uomo comune con i paragrafi sui Caratteri climatici e meteorologici del paese (v. I, p. 74-97) e la *Carta bioclimatica d'Italia* di R. TOMASELLI, A. BALDUZZI e S. FILIPELLO (v. 4, tav. 103) contenuti nella *Prima relazione sulla situazione ambientale del Paese* edita nel 1974 a cura della Tecneco. L'Italia manca di un vero e proprio atlante climatico, che fino al 2000 esisterà soltanto per la Sardegna, realizzato nel 1971 da R. PRACCHI, Angela TERROSU ASOLE, e M. PICCARDI. Lo suppliscono le tavole dedicate al clima di due atlanti del Touring Club Italiano: il fisico-economico (1940) e il tematico (1990).

In anni recenti sono stati pubblicati gli Atlanti climatici della Sicilia (Regione siciliana. Assessorato Agricoltura e Foreste. Palermo, 2000; preceduto nel 1998 da una *Climatologia*

della Sicilia) e della Valle d' Aosta (G. MERCALLI et al. Torino, Soc. meteorol. subalp., 416pp., 2003).

Se la mancanza dell'Atlante climatico non sembra sia stata o sia molto sentita, ci si preoccupò invece di raccogliere risultati di misure meteorologiche per tutto il territorio nazionale e con criteri aggiornati, attività nella quale si distinse particolarmente F. EREDIA. Egli non solo curò gran parte dei volumi editi dall'Ufficio centrale di Meteorologia, ma impiantò la serie di pubblicazioni del Servizio idrografico del Ministero dei Lavori pubblici. L'impulso da lui impresso agì fino alla crisi di quel Servizio conseguente all'istituzione delle Regioni.

L'Istituto centrale di Statistica s'interessò sempre ai dati meteorologici, ma soltanto dal 1959 stampa un *Annuario* loro dedicato. Ha inoltre costituito un archivio su supporto magnetico al quale si può attingere. Il Servizio meteorologico dell'Aeronautica militare grazie alla capacità organizzatrice e allo spirito precursore del ROSINI (cfr. 2.2) avviò un "Recupero della Climatologia italiana" e incominciò a pubblicare *Frequenze e medie quinquennali* delle proprie stazioni verso il 1955 e più o meno alla stessa epoca trasferì su supporto meccanografico e poi magnetico il proprio archivio di osservazioni, che tuttavia si potè considerare completo e facile a consultarsi e ad essere elaborato soltanto verso il 1975. Sono seguite numerose iniziative per costituire banche di dati: tra queste una del Progetto finalizzato del CNR "Qualità dell'ambiente" affidata all'Istituto nazionale per le Applicazioni del Calcolo e una congiunta dell'ENEA e dell'Ufficio centrale di Ecologia agraria, che altro non è se non l'antico ufficio centrale di Meteorologia. (cfr. METEOROLOGIA 9).

3.4 Altre attività ed iniziative

Gli studi di climatologia locale non sono certo stati abbandonati, ma per varie circostanze non sono più in primo piano come nella seconda metà dell'Ottocento. Sono particolarmente interessanti alcune piccole reti, generalmente provinciali (Cuneo, Perugia, Macerata, Bari). Nel 1970-71 la Commissione per la Geografia fisica e la Geomorfologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche tentò un rilancio della Climatologia geografica, ma non si videro consistenti risultati. Più di recente varie iniziative dello stesso CNR sono state dedicate a temi climatologici, con notevole impegno finanziario, ma esulano dalla Climatologia nel senso tradi-

zionale, che è il vero oggetto di questo articolo.

Parte III

CAMBIAMENTI DEL CLIMA

1. Introduzione

Con ogni probabilità il presente articolo è il primo tentativo di delineare una storia degli studi sui cambiamenti di clima. Pazienti ricerche bibliografiche non hanno permesso di reperire nulla di simile.

Mentre quasi tutte le altre attività meteorologiche sono state condotte secondo un indirizzo unitario su scala mondiale, ciò non si può dire degli studi in oggetto, forse proprio perché ad essi non si sono dedicati prevalentemente Meteorologi. Date queste premesse, abbiamo ritenuto nostro compito esaminare i singoli filoni, in gran parte nazionali, e provvedere a correggere le lacune che appaiono evidenti nella bibliografia delle maggiori opere in argomento. Di qui il carattere squilibrato, ma in realtà complementare, di queste pagine.

In mancanza di una tradizione affermata, assumono inevitabilmente maggior peso le convinzioni dell'estensore dell'articolo e pertanto esponiamo per sommi capi le nostre. La strada maestra è certamente rappresentata dai modelli numerici di clima. Abbiamo tale fiducia in quelli che si ottengono arricchendo i modelli di circolazione generale dell'atmosfera quanto occorre e senza mire di utilizzazione immediata che riteniamo sufficiente verificarli sui dati contemporanei, a differenza dei modelli molto semplificati (come sono ancora i più complessi concretamente impiegati per previsioni sull' "effetto serra" imputato all'anidride carbonica) che debbono essere confrontati con l'andamento del clima in un periodo piuttosto lungo.

D'altro canto appare dimostrato che per un futuro che si estenda oltre qualche settimana i modelli potranno dare soltanto le proprietà statistiche, riferite a un periodo abbastanza lungo, delle grandezze determinanti lo stato dell'atmosfera.

Anche i modelli impiegati per la previsione a breve scadenza non colgono i fenomeni a piccola scala. Essi, si possono considerare riferiti alle stazioni della rete sinottica¹, che effettuano misure in superficie e in quota e sono ancora disposte secondo l'originario *Règlement technique* dell'OMM (2^a ed. 1959, p. 10), cioè a "intervalles" di 150 e 300 km rispettivamente.

Sui mari e nei deserti le stazioni mancano, ma tecniche ingegnosissime permettono di raccogliere una vasta messe di dati. Comunque le stazioni della rete sinottica sono scelte in modo da essere "rappresentative", cioè che vi si misurino le condizioni medie dell'area circostante, mentre non si può dimenticare il confronto - citato dal GEIGER (cfr. CLIMATOLOGIA 2.2 e 2.5) nella sua celebre opera *Il clima nello strato dell'atmosfera prossimo al suolo. Un trattato di Microclimatologia (Das Lehrbuch der Mikroklimatologie*, Braunschweig, Wieweg, 1961, 4^a ed.) - tra i risultati delle 88 stazioni ordinarie dell'Ohio e quelli delle 109 stazioni installate in una piccola valle di quello stato: temperatura massima annuale da 36 a 39°C nelle prime, da 24 a 45 nelle seconde, data in cui si è verificata dal 17 al 19 luglio e dal 25 aprile al 19 settembre, minima annuale da -21 a -29 e da -10 a -32, periodo senza gelo da 138 a 197 giorni e da 174 a 276. Il mondo vivente reagisce appunto a queste condizioni locali e istantanee e quindi ci parrebbe doveroso concentrare le ricerche di Climatologia storica (cfr. 2.2.1) sugli ultimi tre secoli per i quali esistono misure meteorologiche allo scopo di mettere in luce quel che concretamente si esperiva quando i valori medi di certe grandezze erano diversi dagli attuali.

Ci spieghiamo con un esempio: uno studio sommario condotto con l'aiuto di F. GALLINI. Nei quinquenni dal 1961-65 al 1976-80 la media delle temperature massime giornaliere (la meno influenzata dalle attività antropiche) a Roma è stata di 20, 6; 20, 2; 19, 8; 19, 4°C. Un controllo sommario compiuto sui dati delle stazioni del Servizio meteorologico dell'Aeronautica utilizzabili senza particolari problemi ci induce ad ammettere la realtà di quei cambiamenti (fig. 1). Quando abbiamo voluto tradurre questa differenza in termini legati all'esperienza individuale nell'ipotesi che a medie annue diverse corrispondano annate con un andamento diverso, per il mese di gennaio ci siamo trovati di fronte alla fig. 2. I cenni a un indebolimento delle tramontane colti in numerosi scritti, concordanti con la nostra personale esperienza, ci hanno indotto ad esaminare più da vicino tale ipotesi. Per la costa adriatica battuta dalla Bora essa si può accettare

¹ Tali erano effettivamente in origine mentre sin dalle prime applicazioni pratiche se ne sono ampiamente svincolati, ma nel complesso danno ancora delle indicazioni medie. Oggi le equazioni che li costituiscono sono sviluppi in serie, dove le grandezze fisiche effettive sono tradotte in coefficienti dei termini dello sviluppo stesso.

Recenti modelli specializzati riferiti a particolari aree hanno raggiunto risultati che ancora nel 1990 sarebbero apparsi poco meno che miracolosi. Tuttavia essi così non sono ancora arrivati a prevedere i risultati che interessano la vita quotidiana, come esemplifica un dibattito pubblicato nel n. 34, 8^a serie della "Météorologie". I risultati dei modelli a sviluppo in serie sono caratterizzati da una T seguita da un numero. Quest'abbreviazione denota la *troncatura*, cioè l'ultimo termine preso in considerazione. Dalla troncatura si può ricavare la risoluzione orizzontale del modello. La minima lunghezza d'onda trattata si ottiene dividendo per T la lunghezza della circonferenza terrestre. La risoluzione spaziale o lunghezza del lato della maglia equivalente si considera pari alla metà della lunghezza d'onda. La troncatura T 400, alla quale si è prossimi, darebbe 40.000:400=100 km e quindi una risoluzione di 50 km.

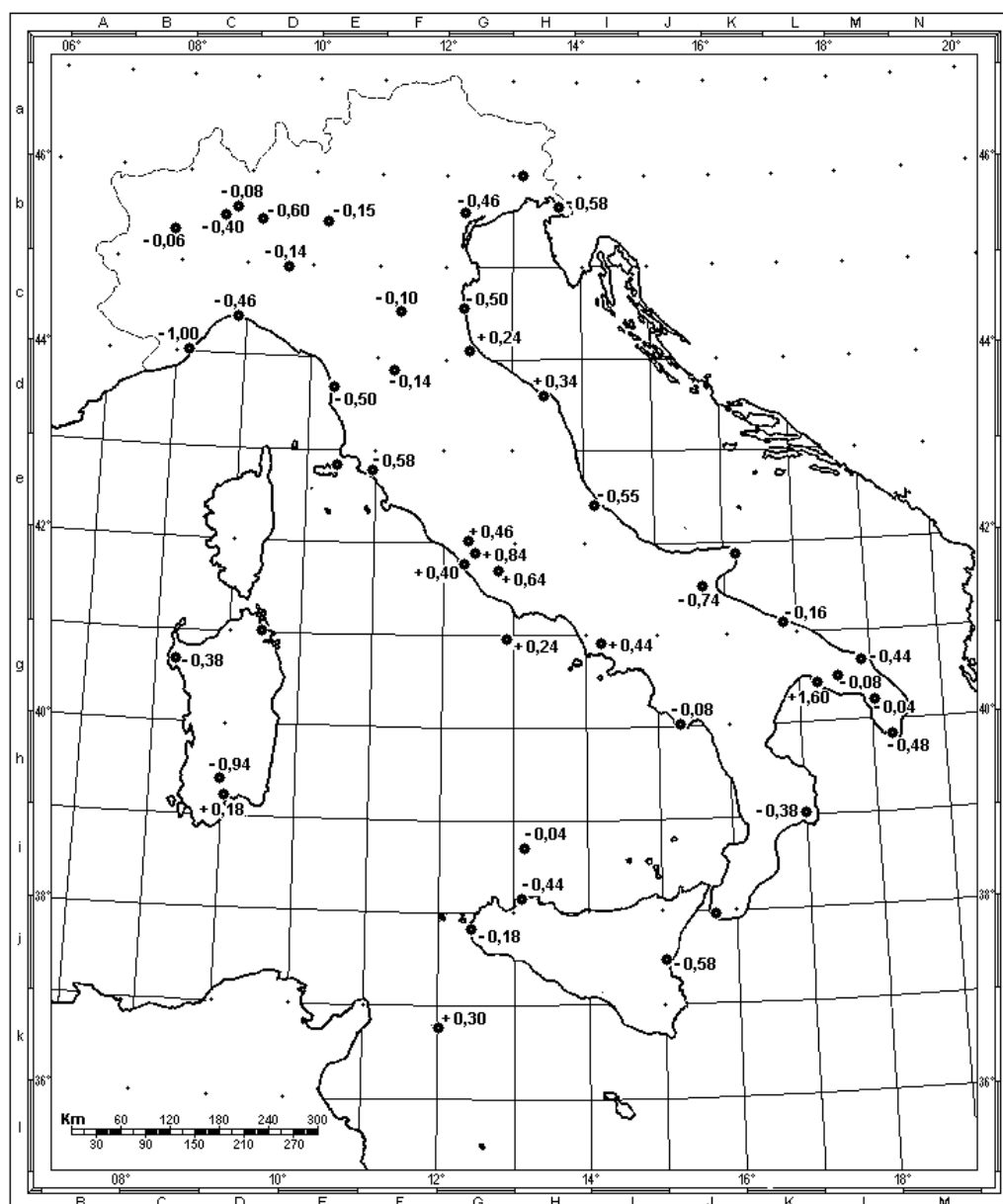


Figura 1 Media delle temperature massime giornaliere del quinquennio 1976-80 meno la stessa media calcolata per il quinquennio 1966-70.

con una certa facilità: si sa che a pari latitudine quel litorale è più freddo del tirrenico e che la differenza di temperatura e la frequenza della Bora presentano andamenti paralleli. Per le pendici orientali dell'Appennino mancano elaborazioni analoghe a quelle testé utilizzate. Peraltro A. MURRI ha segnalato che le precipitazioni vi sono diminuite e tanto più quanto è maggiore la quota, fatto anche questo spiegabile con l'ipotesi che la tramontana si sia indebolita. Il lieve raffreddamento delle pendici occidentali battute dalla tramontana è spiegabile col fatto che essa vi giunge föhnizzata ed inoltre apporta le condizioni di massima trasparenza dell'atmosfera, il cui effetto sorprende per il tepore percepibile

nei luoghi ridossati. La tramontana non ha effetti molto diversi sulla costa tirrenica, ma in sua assenza questa talvolta riceve calore dal mare, talché il suo comportamento intermedio tra quello delle stazioni battute della Bora-Tramontana e quello delle altre appare compatibile con l'ipotesi. La ricerca non proseguì oltre perché non interessa chi dispone degli uomini e dei mezzi necessari.

Ci si applica invece molto a trarre ingegnose deduzioni da notizie storiche e da testimoni fisici quali il rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, che permettono di risalire indietro di centinaia di migliaia di anni. Tutto ciò peraltro rispetto al problema più vivo e concreto, che interessa

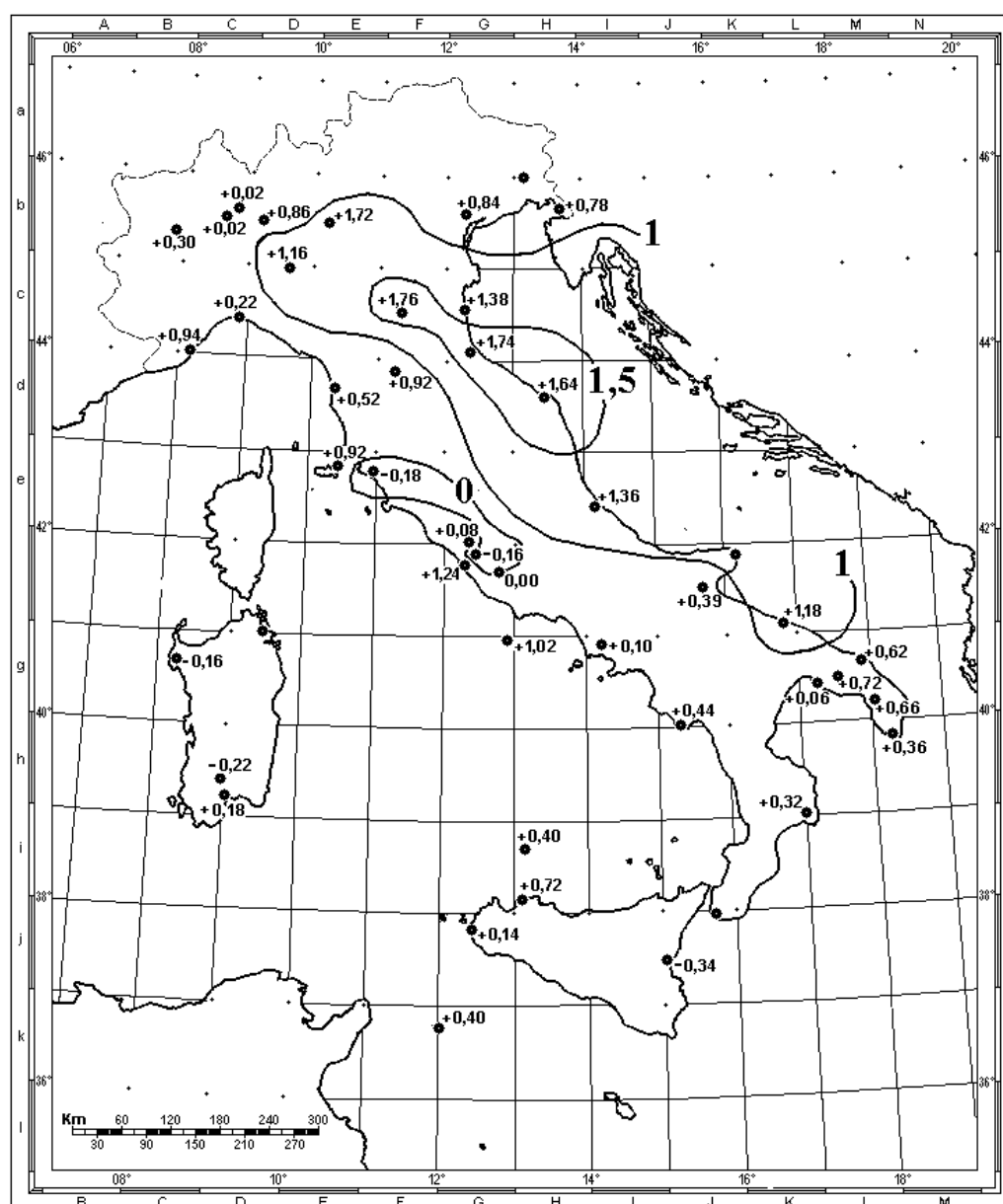


Figura 2 Media del mese di gennaio delle temperature massime giornaliere del quinquennio 1976-80 meno la stessa media calcolata per il quinquennio 1966-70.

anche organismi internazionali a carattere non propriamente scientifico come la Comunità Europea ed è quello dei possibili cambiamenti climatici nei prossimi decenni, ci sembra un po' accademica. Siamo convinti che gioverebbe concentrare gran parte degli sforzi in un centro internazionale avente pochi e ben definiti scopi, analogo a quello europeo per le previsioni a media scadenza. A nostro avviso tali scopi dovrebbero essere non più di tre: lo sviluppo di un modello di clima, lo studio del variare delle condizioni locali, il recupero degli antichi diari meteorologici e delle antiche serie di misure e la loro omogeneizzazione. Queste ultime fonti sono state praticamente abbandonate, senza

spiegare perché, dopo che generazioni di studiosi avevano dedicato loro molte energie. Le nostre convinzioni sembrano coincidere con quelle manifestate tra il 1967 e il 1980 dall'Organizzazione meteorologica mondiale, la quale ha insistito con tenacia perché si recuperino e si omogeneizzino le lunghe serie di dati. La nota sua tecnica 79 *Climatic change*, del 1966, dedica parecchie pagine alle tecniche di omogeneizzazione e propone anche una terminologia unificata, che ci sembra opportuno riportare per sommi capi. Cambiamento climatico è il termine più generale; Fluttuazione ogni cambiamento con qualche carattere di sistematicità comprendente almeno un minimo tra due massimi o un

massimo tra due minimi; Variazione un cambiamento a scala temporale abbastanza grande da comportare medie diverse per trentenni successivi; Tendenza una variazione monotona con un minimo a un estremo dell'intervallo considerato e un massimo all'altro; Ritmo è una periodicità grossolana. Nell'Oscillazione la variabile si muove tra massimi e minimi successivi; nella Vacillazione i valori della variabile per un periodo di tempo si raggruppano intorno ad una media (o altro indice di media) poi dopo una transizione piuttosto rapida si soffermano intorno ad una nuova media e così via, non escludendo il ritorno alla media primitiva e una certa regolarità nel "saltare" da una media all'altra.

2. Storia degli studi sui cambiamenti climatici

2.1 I prodromi

La prima rete sinottica della storia, dalla quale nasce la Meteorologia moderna, con ogni probabilità fu un tentativo di studiare i cambiamenti climatici. Verso la metà del Seicento in seguito al raffreddamento che aveva avuto inizio alla fine del secolo precedente "si faceva strada la consapevolezza di un cambiamento climatico" ed erano ormai a punto gli strumenti per misurare le più importanti grandezze meteorologiche: il termometro e il barometro. Gli scienziati puri provavano maggiore interesse per il secondo: PASCAL e CARTESIO eseguirono esperimenti e raccolsero serie di misure, A. BORELLI elucubrava ipotesi sulle relazioni tra l'andamento della pressione e le condizioni del tempo. Nel 1654 in Toscana il febbraio fu freddissimo, tanto che gelò la laguna di Orbetello². Nei mesi successivi FERDINANDO II DE' MEDICI fece costruire 50 termometri uguali e verso la fine dell'anno diede il via alla prima rete sinottica. A Parigi il febbraio 1658 fu il più freddo della storia. Il 25 maggio con termometri richiesti a Firenze furono iniziate le osservazioni. Studiosi tedeschi danno per pacifico che l'origine delle più antiche serie di misure meteorologiche nel loro paese sia quella ora ipotizzata.

Giovanni TARGIONI-TOZZETTI (1712-1783. Cfr. CLIMATOLOGIA 2.1) che si sentiva intensamente erede della grande fioritura scientifica del secolo precedente a Firenze, dedica 100 pagine della sua *Alimurgia* a notizie sul clima passato in Toscana. Il botanico e climato-

logo danese J. F. SCHOUW (1789-1852; cfr. CLIMATOLOGIA 2.1) raccolse molti elementi da cui trarre giudizi sugli ipotizzati cambiamenti di clima e non soltanto nello scritto *On the supposed changes in the meteorological constitution on the Earth*, "Journal of Sciences of Edinburgh for 1827" (1828). Molte delle notizie da lui raccolte furono utilizzate da F. ARAGO (1786-1852), una delle grandi figure del primo Ottocento francese: matematico, geodeta, astronomo, fisico, politico democratico, segretario del Bureau des Longitudes, i cui annali per oltre quarant'anni furono scritti prevalentemente da lui, direttore dell'Osservatorio astronomico di Parigi. Le ricerche originali cui si dedicò riguardarono l'ottica fino al 1820 poi l'elettromagnetismo. L'interesse per i cambiamenti climatici potrebbe essere stato risvegliato in lui dagli studi di Ottica atmosferica oppure dal sodalizio con A. HUMBOLDT (nel 1809-1811 i due scienziati condivisero l'alloggio). Nel 1816 l'ARAGO pregò J. L. GAY-LUSSAC di installare un termometro di grande precisione nei sotterranei dell'Osservatorio, a 28 m di profondità, dove si erano fatte misure di temperatura a partire da quella di E. MARIOTTE, il 3 dicembre 1670. Il significato di queste misure si comprende meglio se si riflette che agli inizi dell'Ottocento si tendeva a sovrastimare il flusso di calore dall'interno della Terra perché si sottostimava la capacità di trasporto della circolazione atmosferica. Nell'"Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an 1834" (Parigi 1833) egli pubblicò una lunga nota scientifica, apparentemente sollecitata da un cittadino, *Sur l'état thermométrique du globe terrestre* (p. 171-240). Anche i più accurati studiosi moderni l'hanno letta nelle *Opere* dell'ARAGO edite con qualche rimaneggiamento da J. A. BARRAL nel 1855-62, considerano saggi separati i suoi capitoli e li attribuiscono a quegli anni. A quella nota sembrava di poter fare risalire la tradizione tanto dei ragionamenti puramente fisici in materia (l'A. argomenta che se fosse variata la temperatura media della Terra ne sarebbe variato il diametro e quindi la velocità di rotazione) quanto dell'utilizzazione delle date delle vendemmie come indice dell'andamento stagionale. L'ARAGO cita anche la sommaria comparazione delle temperature misurate a Firenze nel diciassettennio 1654-1670 e dopo il 1820 pubblicata da G. LIBRI, nel t. XLV (1830; p. 354-361) dagli *Annales de Physique et de Chimie* che avevano come editori l'ARAGO e il GAY-LUSSAC, ma non appare molto interessato a questo

² A. CAVOLI, *L'Argentario*, Roma, Multigrafica, 1988. Cfr. p. 160.

modo di procedere.

Invece A. ANGOT (1848-1924), meteorologo di professione, si preoccupò di raccogliere l'uno e l'altro genere di informazioni (*Étude sur les vendanges en France*, "Ann. Bur. centr. météor. France pour 1883", *Premier catalogue des observations météorologiques faites en France depuis l'origine jusqu' en 1850*, ibid. 1895).

J. R. FLEMING (*Historical Perspectives on Climate Change*, Nuova York, Oxford Univ. Press, 1998) ha messo in luce trattazioni anche precedenti più generali e più teoriche, quali le *Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires* di J. FOURIER, pubblicate nel 1824 dagli "Annales" citati (t. XXVIII, p. 136-167). Viceversa il FLEMING non menziona gli studiosi nominati dinanzi e neppure quelli menzionati in 2.6, salvo il LE ROY LADURIE.

La scoperta delle ere glaciali ebbe un'importanza eccezionale per gli studi dei quali stiamo parlando. Non soltanto diede loro un grande impulso, ma li tolse dalla dimensione cronistica per proiettarli su orizzonti incomparabilmente più vasti e suggestivi, anche se da un certo punto di vista più astratti. Lo svizzero L. AGASSIZ (1807-1873), poi trasmigrato in America, coi due volumi di *Études sur les glaciers* del 1840-41 convinse il mondo scientifico che le glaciazioni erano state una realtà. Sulle loro cause furono in un breve volger d'anni proposte quasi tutte le ipotesi che si prendono in considerazione ancor oggi. Particolare eco ebbe la tesi astronomica fondata essenzialmente sulle variazioni di eccentricità dell'orbita terrestre che J. CROLL propose per la prima volta nel 1864 nel "Philosophical Magazine" (s. 4, n. 28, p. 121-137) e poi sviluppò in un grosso volume del 1875: *Climate and time in their geological relations. A theory of secular changes of the Earth's climate*. Difficoltà che ancora mentre scriviamo richiedono grossi sforzi d'ingegno per essere superate fecero cadere in discredito l'ipotesi, sebbene del problema fossero proposte soluzioni simili alle moderne, e si finì per pensare piuttosto a variazioni di trasparenza dell'atmosfera.

2.2 Europa centrale di cultura tedesca

2.2.1 La Climatologia storica

Lo studio dei cambiamenti climatici divenne un tema canonico della Scienza con l'opera di A. PENCK (1858-1945) e di A.

BRÜCKNER (1862-1927). D'abitudine li si considera come Geologi puri e si ritiene che la loro influenza si sia manifestata dopo il consolidarsi della teoria delle quattro glaciazioni e la pubblicazione tra il 1901 e il 1909 dei tre celebri volumi *Le Alpi nell'epoca glaciale* (*Die Alpen in Eiszeitalter*).

In realtà il PENCK nel 1882 aveva pubblicato una importante opera *Sulle glaciazioni nelle Alpi tedesche, le loro cause, la loro periodica ricorrenza e la loro influenza sulla geomorfologia* (*Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung*, Lipsia; 483 pp.). Il BRÜCKNER, suo allievo, dopo la tesi sull'età glaciale si poteva considerare un Meteorologo: era vicedirettore della "Meteorologische Zeitschrift" e nel 1890 aveva trattato in un lungo articolo ³ le oscillazioni del clima a partire dal 1700 alla maniera dei Climatologi storici, di coloro cioè che si premurano di raccogliere lunghe serie di misure meteorologiche e dati d'archivio.

Il tipico rappresentante di questo indirizzo è G. HELLMANN (1854-1939). Gli si deve un grandioso e coerente impegno per raccogliere e ristampare elementi utili allo studio dei cambiamenti climatici, da trasmettere come materiali da costruzione (*Bausteine*) alle generazioni successive secondo lo spirito tipico della sua epoca. Quell'indirizzo diede grande risultati nelle scienze storiche dove ogni ricerca incomincia con un accurato esame della bibliografia, meno negli ambiti dominati dai fisici poco inclini (a vero dire per ragioni obiettive) a quell'esercizio di pazienza e di umiltà. Ci sembra doveroso menzionare le sue principali pubblicazioni che stranamente ed ingiustamente appaiono dimenticate:

- *Repertorium der deutschen Meteorologie*, Lipsia, 1883.
- *Gli inizi delle osservazioni e strumenti meteorologici* (*Die Anfänge der meteorologischen Beobachtungen und Instrumente*, "Himmel u. Erde", a. II; 1890).
- *Sulle caratteristiche degli inverni miti* (*Zur Charakteristik milder Winter*, "Metztschr.", feb. 1899, p. 58-62).
- *Lo sviluppo delle osservazioni meteorologiche sino a tutto il XVII secolo*. (*Die Entwicklung der meteorologischen Beobachtungen bis zum Ende des XVII Jahrhundert*. Ibid., apr. 1901, p. 145-157).
- *Ristampe di scritti e carte relativi alla Meteorologia e al Magnetismo terrestre*.

³ "Geogr. Abh.", v. 4, p. 155-484.

- (*Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus*, Berlino, Asher, 1901).
- *L'alba della meteorologia* (*The dawn of Meteorology*, "Quart. J. R. meteorol. Soc.", v. XXIV, n. 149, p. 221-232).
 - *Sugli inverni rigidi* (*Ueber strenge Winter*), "S. B. K. preuss. Akad. Wiss.", v. LII, p. 739-759; 1912).
 - *Lo sviluppo delle osservazioni meteorologiche in Germania dai primi inizi all'istituzione di reti di osservazione statali* (*Die Entwicklung der meteorologischen Beobachtungen in Deutschland von den ersten Anfängen bis zur Einrichtung staatlicher Beobachtungsnetze*, "Abh. preuss. Akad. Wiss. phys. math. Kl.", a. 1926, n. 1, 25 pp.).
 - *Die Entwicklung der meteorologischen Beobachtungen bis zum Ende des XVIII Jahrhunderts*. Ibid., a. 1927, n. 1, 46 pp.

I suoi continuatori nostri contemporanei sono piuttosto numerosi e si possono dividere in tre gruppi: proscrittori in senso stretto, studiosi che si dedicano ad omogeneizzare le serie di misure, climatologi storici che operano secondo un'impostazione più larga, ma non hanno dimenticato i valori insiti nella sua visione.

Nel primo gruppo emerge F. KLEMM, il quale ha esposto lo sviluppo delle osservazioni meteorologiche fino al 1700 in Franconia e in Baviera, nella Germania settentrionale e centrale (quest'ultima nell'uso corrente italiano dal 1945 al 1990 conosciuta come Germania orientale), nella Germania sudoccidentale e in Svizzera nei nn. 8, 10 e 13 degli "Annalen der Meteorologie" (1973, 1976 e 1979) e nel "Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich" (a. 119, n. 4; 1974).

Le principali pubblicazioni del secondo, imperniato sullo Svizzero M. SCHÜEPP, sono:

- M. BIDER, M. SCHÜEPP, H. RUDLOFF, *Die Reduktion der 200-jährigen Basler Temperaturreihe*, "Arch. Met. Geophys. Biokl.", s. B, v. 9, p. 360 - 412, 1959;
- *Luftdruckreihen der Letzten zwei Jahrhunderte von Basel und Genf*. Ibid., v. 11, n. 1, 1961.
- A. BEHRENS, *La serie barometrica bisecolare di Milano* (*Die zweihundertjährige Luftdruckreihe von Mailand, 1763-1962*, Zurigo, 1965, 91 pp. Dissertazione di dottorato che collega la serie di Milano con quelle di Basilea e di Udine.).
- M. SCHÜEPP, *Methoden und Probleme der Bearbeitung langjähriger Beobachtungsreihen*. In: H. OESCHGER et al. *Das Klima. Analysen und Modelle*.

Geschichte und Zukunft, Berlino, Springer, 1980, p. 191-206.

- H. TEUTSCH, *Die Reduktion der 200-jährigen Innsbrucker Temperaturreihe 1777-1976*, 118 + 99 pp. Innsbruck 1978. Dissertazione di dottorato.

Può rappresentare il terzo gruppo H. FLOHN (cfr. *Encicl. Ital.*, IV app., v. I, p.823), il quale in certo senso riassume la scuola tedesca. Sono probabilmente da collegare alla sua iniziale formazione di geografo l'abitudine ad un esame completo della letteratura e la capacità di trarne una sintesi equilibrata nonché la tendenza a collegare sempre i fatti geofisici a quelli sociali. Dal 1935 si è dedicato soltanto alla Meteorologia, intervenendo con originalità di pensiero in quasi tutti i settori di questa disciplina. Il suo interesse per i cambiamenti climatici in un primo momento ha riguardato le glaciazioni quaternarie, poi si è esteso alle influenze antropogene sul clima (dal 1941), alla climatologia storica (dal 1949), ai mutamenti della circolazione atmosferica come cause immediate dei cambiamenti climatici (dal 1952), al problema dell'intransitività del sistema climatico sostenuta da E. N. LORENZ (dal 1973; cfr. METEOROLOGIA, 2.18).

Poiché nella fondamentale e conosciutissima opera *Variazione e oscillazioni del clima dall'inizio delle osservazioni strumentali sistematiche* (*Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas seit dem Beginn der regelmässigen Instrumenten-Beobachtungen*, "Braunschweig, Vieweg, 1967) H. RUDLOFF affida ad altro A. soltanto il capitolo *Variazioni climatiche in età storica* e quell'A. è il FLOHN, avevamo ipotizzato che questi fosse un discepolo diretto dell'HELLMANN, ma oggi crediamo di poter dire che a stimolare il suo interesse furono scritti di studiosi più giovani: *World climate during Quaternary period* ("Q. J. r. meteorol. Soc.", v. 59, p. 425-471; 1934) di G. C. SIMPSON e *The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature* (ibid., v. 64, p. 223-237; 1938) di G. S. CALLENDAR. Le sue qualità risultano particolarmente evidenti nel libro *Il problema dei cambiamenti climatici nel passato e nel futuro* (*Das Problem der Klimaänderungen in Vergangenheit und Zukunft*, Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1985; 1988).

Inoltre ha contribuito forse più d'ogni altro a determinare l'indirizzo delle attività che la Commissione delle Comunità europee ha intrapreso nel campo degli studi sui cambiamenti di clima (cfr. 2.8).

Va infine ricordata un'opera apprezzata

dagli Storici studiosi del clima passato, ma praticamente ignorata dai Meteorologi: C. WEIKINN, *Fonti per la storia delle condizioni meteorologiche in Europa dall'inizio dell'era cristiana al 1850* (*Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitalterwende bis zum 1850*, Berlino 1958-67).

2.2.2 La Palinologia (cfr. 2.3.3)

Lo studio della distribuzione dei pollini fossili per riconoscere il clima dell'epoca in cui furono prodotti è conosciuto col non felicissimo nome di Palinologia coniato nel 1943 da HYDE e WILLIAMS prendendo spunto dal verbo greco *παλυνω* che vale "spargo". Diversi AA. ne hanno proposti altri: Sporologia, Statistica pollinica, Analisi pollinica.

Un'interesse non episodico per i pollini fossili ritrovati nelle torbiere incominciò a manifestarsi nel nono decennio dell'Ottocento. Il geologo dell'Università di Rostock E. GEINITZ (1854-1925) ne intravvide l'utilità per la stratigrafia e la cronologia e stimolò altri studiosi ad occuparsene. Dei lavori derivanti dal suo impulso i più notevoli sono *Contributi critici alla conoscenza della torba* (*Kritische Beiträge zur Kenntnis des Torfes*, "Jahrb. k. k. geol. Reichsanstalt", v. XXXV, 1885) dello svizzero J. FRÜH e *Torf=und Wiesenalk - Ablagerungen in Rederang und Moorsee - Becken. Ein Beitrag zur Geschichte der Müritz di U. STEUSLOFF* ("Arch. Ver. Freund. Naturgesch. Mecklenburg", v. 59, 1910). Dal 1895 fece analisi polliniche anche il massimo botanico e stratigrafo della torba, C.A. WEBER. Nel 1896 egli calcolava il rapporto tra i pollini di diversa specie e nel 1910 le frequenze percentuali di ciascun polline rispetto al totale. In Svezia il geologo N. O. HOLST (1846-1918) ebbe una funzione analoga a quella del GEINITZ e indusse a specializzarsi G. LAGERHEIM (1860-1926), professore di Botanica a Stoccolma. Le sue analisi polliniche furono sempre pubblicate come parti di lavori diretti da altri. Quella contenuta in un'opera di WITTE del 1905 è la prima ad esprimere la presenza dei vari pollini in termini di percentuali sul totale. Il LAGERHEIM formò come Palinologo il geologo L. von POST il quale portò la Palinologia ad essere una tecnica matura, convincente ed autonoma, in particolare introducendo i diagrammi pollinici.

Dopo l'affermarsi del von POST l'area culturale centroeuropea produce ancora lavori notevoli. Tra questi ricorderemo: *I risultati degli*

studi sull'analisi dei pollini in riferimento alla storia della vegetazione e del clima in Europa (*Die Ergebnisse der pollenanalytischen Forschung in Bezug auf die Geschichte der Vegetation und des Klimas von Europa* "Z. Gletscherk.", a. 15, p. 161-190; 1927) di H.G. GAMS; *Lo studio palinologico sistematico della Svizzera* (*Die pollenanalytischen Durchforschung der Schweiz*) di P. STARK ("Z. Botan.", v. 21, p. 296-323; 1929); *Ricerche palinologiche, stratigrafiche e geocronologiche nella torbiera del Faulensee presso Spiez* (*Pollenanalytische, stratigraphische und geochronologische Untersuchungen aus dem Faulenseemoos bei Spiez*) di M. WELTEN (Zürich, Geobotanisches Institut Rubel, 1944; 201 pp.).

2.3 Paesi Nordici

Si caratterizzano per aver apportato innovazioni molto creative che hanno avuto sollecita eco nel mondo intero.

2.3.1 L' "effetto serra"

Nel 1896 Svante ARRHENIUS (1859-1927; è universalmente conosciuto come uno dei padri della Chimica-Fisica, ma dal 1883 scrisse anche di Meteorologia, talora in collaborazione con N. ECKOLM, e fu uno dei principali sostenitori di V. BJERKNES; cfr. METEOROLOGIA 2 e 3), in una seduta dell'Accademia svedese delle Scienze espone quel che oggi chiamiamo l'"effetto serra" dell'anidride carbonica. Pubblicò subito le sue considerazioni nel Bihang n. 22 agli Atti dell'Accademia col titolo *L'incremento dell'anidride carbonica e la sua influenza sulla temperatura al suolo* (*Ueber der Einfluss des atmosphärischen Kohlensäuregehalts auf die Temperatur der Erdoberfläche*) e nello stesso 1896 nel "London Edinburgh and Dublin philosoph. Mag. and J. Science"⁴ s. V, n. 41, p. 237-276) col titolo, *On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground*. Insistette nel 1899 (*Les oscillations séculaires de la température à la surface du globe terrestre* "Rev. gén. Sci.", p. 337-342), nel 1901 (*Ueber Wärmeabsorption durch Kohlensäure*, "Ofversigt af k. Vetenskapakad. Handling.", a. 22, n. 5 e "Drudes Annalen", v. 4, p. 689-705) e nel 1906 (*Die vermütliche Ursache der Klimaschwankungen*, "Medd. k. Vetenskapakademiens Nobelinstitut", a. 1, n. 2).

⁴ Periodico scientifico spesso citato accorciando indebitamente il titolo.

In realtà la sua segnalazione ebbe immediata risonanza e l'argomento non fu più abbandonato dalla Scienza.

2.3.2 Le varve

Nei laghi proglaciali (che si costituiscono alla fronte di un ghiacciaio) in primavera si deposita materiale a grana grossa e in autunno-inverno materiale a grana fina. Si chiama varva (dallo svedese *varvig* = ciclo) la coppia di strati di ciascuna annata. Il termine è poi stato esteso a ogni sedimento annuale riconoscibile.

Le varve sono particolarmente evidenti in Svezia dove nel 1896 le scoprì G. J. DE GEER (1858-1943) di eminente famiglia svedese originaria del Belgio. Ne scrisse - sembra - dal 1905, ma le fece conoscere con la comunicazione (stampata nel 1912) *Una geocronologia degli ultimi 12.000 anni (A geochronology of the last 12.000 years)* al Congresso geologico internazionale di Stoccolma del 1910. Mediante le varve egli e la sua scuola poterono seguire su un'estensione di un migliaio di chilometri il ritiro della calotte glaciali.

Varve della stessa o di altra origine sono state ritrovate anche altrove, peraltro fuori dalla Scandinavia non si conoscono serie così nette e prolungate. L'utilizzazione delle varve offrì il primo esempio di geocronologia assoluta. Suscitò notevoli entusiasmi in molti ambienti scientifici ed anche tra l'opinione pubblica e si può congetturare che una tecnica così chiara e convincente abbia aperto la strada ad altri metodi come la Dendrocronologia, la quale del resto presenta numerosi punti di somiglianza. La *summa* dell'opera del DE GEER è rappresentata dal volume *Geochronologica suecica*, del 1940 ("Kungl. svenska Vetenskapakad. Handling.", s. 3^a, n. 18).

2.3.3 Palinologia (cfr. 2.2.2)

La nuova disciplina si diffuse rapidamente dopo che nel 1916 il von POST ne parlò a una riunione di naturalisti svedesi (*Pollini di chiome forestali nella sequenza di sfagno-muschi della torba della Svezia meridionale. Skogsträdpollen i sysvenska torfmosselagerföljder in Forhandlingar ved 16. Skand. Naturforskermøte*; 1918). Le bibliografie sui cambiamenti di clima curate da Meteorologi non citano altri scritti che documentino l'attività del fondatore o dei suoi discepoli scandinavi fino a un articolo del 1946: von POST, *The prospect of pollen analysis in the study of the Earth's climatic history*, "New Phytol.", n. 45, p. 193-217.

Dagli scarni cenni storici premessi ad alcuni trattati della materia risulta però che

G. ERDTMAN si preoccupò di far conoscere la Palinologia prima con un articolo del 1921 su una rivista e in una lingua più diffusa delle scandinave (*Pollenanalytische Untersuchungen von Torfmooren und marinen Sedimenten in Südwest-Schweden*. "Ark. Botan.", v. 17) e poi con una bibliografia annuale pubblicata dal 1926 al 1954 in "Geologiska Föreningens i Stockholm Forhandlingar" e infine con alcuni fondamentali trattati: *An introduction to Pollen Analysis*, Nuova York, Ronald, 1945. *Pollen and Spore Morphology. Plant Taxonomy*, Nuova York, Hafner (v. I *Angiospermae*, 1952, 553 pp.; v. II *Gymnospermae, Pteridophyta, Briophyta*, 1957, 151 pp.; v. III *Gymnospermae, Briophyta*, 1965, 191 pp.).

2.3.4 La Paleoglaciologia

Nel settimo decennio W. DANSGAARD dell'Università di Copenhagen si affermò come il maestro della Paleoglaciologia e fece acquisire alla disciplina una posizione di primo piano negli studi sul clima passato.

Nell'immediato dopoguerra lo scopritore del deuterio, il premio Nobel americano H. C. UREY (1893-1981) osservò che il rapporto tra ossigeno pesante e ossigeno normale subisce un'alterazione quando l'elemento passa da un composto ad un altro o i composti che lo contengono cambiano di fase. L'alterazione del rapporto dipende dalla temperatura, sicché ad esempio misurando il valore $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ negli scheletri di animali calcarei si può determinare la temperatura alla quale essi si sono formati purché si possa supporre costante il rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ nell'oceano oppure se ne conoscano le variazioni. (*The thermodynamic properties of isotopic substances*, "J. chem. Soc.", v. 152, p. 190-219; 1947).

Nel vapore tale rapporto è inferiore in misura dipendente dalla temperatura a quello dell'acqua da cui proviene. Quando il vapore sublima in particelle di ghiaccio o condensa in goccioline di pioggia, dopo il cambiamento di fase il rapporto è maggiore, sempre in misura dipendente della temperatura. Nei ghiacciai esso è inferiore a quello dell'oceano, sicché in quest'ultimo cresce all'aumentare della massa d'acqua "sequestrata" dai ghiacci.

C. EMILIANI - geologo nato a Bologna nel 1922 e ivi laureatosi nel 1945, passato all'Università di Chicago dopo un biennio di attività professionale all'AGIP ebbe il coraggio di puntare decisamente sull'interpretazione di quel rapporto negli scheletri fossili di organismi vissuti nell'oceano come indice della temperatura dell'acqua. Dopo alcune comunicazioni preliminari (tra l'altro sul numero 3103 di "Science",

del 1954) e il fondamentale articolo *Pleistocene temperatures* ("J. Geol.", v. 63, n. 6, p. 538-578; 1955) egli propose una ricostruzione dell'andamento della temperatura del mar dei Caraibi negli ultimi 425.000 anni (*Palaeotemperature analysis of Caribbean cores P. 6304-8 and P6304-9 and generalized temperature curve for the past 425.000 years*) ("J. Geol.", v. 74, n. 2, p. 109-126, 1966). La sua posizione apparve suffragata da indagini sulla diversa proporzione delle strutture destrogira e levogira nelle popolazioni di Foraminiferi (D. B. ERICSON e G.J. WOLLIN, *Coiling direction of Globorotalia truncatulinoides in deep sea cores*, "Deep Sea Res.", v. 2 p. 152-158; 1954). L'EMILIANI suscitò grandi entusiasmi in svariate cerchie scientifiche, ma non tra i Meteorologi. Ad esempio la *Annotated Bibliography on climatic changes* pubblicata nel n. 11 del 1964 dal prestigioso "Meteorological Abstracts and Bibliography" lo ignora. Inoltre N. J. SHACKLETON, che aveva lavorato insieme all'UREY, sostenne che la variazione del rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ doveva essere interpretata essenzialmente come misura della frazione dell'acqua bloccata nei ghiacciai. (*Oxygen isotope analyses and Pleistocene temperatures reassessed*). "Nature", v. 215, 1° lug. 1967, p. 15-17).

Successivamente rin vigorirono la fiducia nelle possibilità di determinare Paleotemperature attraverso il rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ negli scheletri di fossili nuovi lavori, in particolare quello di J. IMBRIE e N. G. KIPP che seguendo un procedimento analogo a quello della Palinologia esamina l'abbondanza relativa di diverse specie di Foraminiferi la cui attuale reazione alla temperatura è nota e fu presentata ad un convegno sulle epoche glaciali del tardo cenozoico tenuto all'Università di Yale nel dicembre 1969 (*A new micropalaeontological method for quantitative Palaeoclimatology* alle pp. 71-181 di K. K. TUREKIAN. *The late Cenozoic glacial ages*. New Haven, 1971).

Le possibilità di queste tecniche furono studiate ed esposte con molto metodo dal DANSGAARD, anche attraverso comparazioni tra ghiacci recenti e i parametri meteorologici contemporanei alla loro formazione. Egli ottenne il primo risultato clamoroso quando gli fu affidata una metà della *carota* estratta dal Genio militare degli Stati Uniti a Camp Century in un ghiacciaio groenlandese spesso 1400 m i cui strati inferiori si erano formati circa 150.000 anni fa. Dimostrò non soltanto che si può ricostruire la storia termica del ghiaccio per tutto il suo spessore, ma anche che fino alla profondità di un migliaio di metri (corrispondenti nel caso particolare a circa 8300 anni) se ne possono indivi-

duare le *varve*, ottenendo una cronologia assoluta; in teoria sussiste il pericolo che una stagione troppo secca sfugga o che un prolungato periodo mite nel corso di un inverno sia interpretato come un'estate in più, ma finora non è risultato che ciò avvenga. Nel ghiaccio degli ultimi venti anni il DANSGAARD poté seguire l'andamento delle singole stagioni. Il successo diede il via a una collaborazione tra gli Stati Uniti, la Danimarca e la Svizzera che produsse l'estrazione e l'esame di numerose carote dai ghiacciai groenlandesi, fino alla profondità di 2083 metri.

Nell'Antartide si sono raggiunte profondità maggiori: nella stazione russa di Vostok 3.400 m corrispondenti a 400.000 anni e 2.864 m corrispondenti a 550.000 anni in quella dell'Unione Europea del Dome C ("Corr. Sera", 24.3.2002, p. 26).

Di particolare interesse teoretico sono i risultati di R. B. ALLEY, il quale ha riscontrato che circa 11.650 anni fa il clima passò più volte da uno stadio freddo a uno caldo in appena 3 anni ("Boll. am. met. Soc.", v. 83, n. 2, feb. 2002, p. 241).

2.4 Stati Uniti d'America

Allo spirito di iniziativa e alla non convenzionalità di questo grande Paese si debbono l'affermarsi della Dendrocronologia e talune grandiose e stimolanti ipotesi sui meccanismi dei cambiamenti climatici.

2.4.1 La Dendrocronologia

La Dendrocronologia fu diffusa dall'Astronomo A. E. DOUGLASS (1865-1962), il quale prese ad occuparsene con tenacia nel 1904, mosso - almeno inizialmente - dalla speranza di trovare tracce del ciclo undecennale delle macchie solari e fondò il Tree Ring Laboratory dell'Università dell'Arizona, a Tucson. Pubblicò risultati già nella "Monthly Weather Review" del 1909 e già a partire dal 1919 il geografo storico E. HUNTINGTON mise a profitto la nuova tecnica nelle sue opere, che comprendono una delle prime sintesi dei problemi qui affrontati: *Climatic Changes* pubblicata nel 1922 con S. S. WISHER e ampiamente apprezzata.

A far conoscere la nuova disciplina in tutto il mondo furono soprattutto tre volumi del DOUGLASS aventi il titolo comune *Climatic cycles and tree growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity*, editi dalla Carnegie Institution nel 1919, 1928 e 1936.

2.4.2 Paleoglaciologia

Nell'ottavo decennio G. H. DENTON, laureatesi a Yale nel 1965 e oggi professore di Geologia all'università del Maine dopo un periodo di attività in Svezia, è divenuto il Paleoglaciologo più noto e influente, grazie alla sua intensissima attività (alla fine del 1989 poteva vantarsi di aver "trascorso 36 stagioni sul campo, 22 delle quali nell'emisfero australe") e alle suggestive teorie che le sue scoperte hanno evocato o ch'egli stesso ha proposto.

Il DENTON è andato a ristudiarsi buona parte della storia dei ghiacciai in Alaska e in Svezia oltre a quella dei ghiacciai antartici, preoccupandosi in special modo di controllare la plausibilità della teoria delle ondate di ghiaccio" (N. CALDER *La macchina del tempo, Meteorologia e glaciazioni*, Bologna, Zanichelli, 1977; cfr. p. 119). La teoria era stata proposta nel 1964 da A. J. WILSON in "Nature" (*Origin of ice ages: an ice shelf theory for Pleistocene glaciation*, p. 147-149). Egli ipotizzò che durante gli interglaciali taluni ghiacciai antartici si carichino fino al punto da raggiungere alla base il punto di fusione e sciogliere in mare. Si formerebbe così fino al 50° parallelo una banchisa che farebbe passare dall'8 all'80 % l'albedo di quella vasta superficie e diminuire del 4 % la radiazione solare assorbita dalla Terra. Ne conseguirebbe un raffreddamento generale che provocherebbe la formazione dei grandi ghiacciai sui continenti settentrionali. Poi l'enorme banchisa fonderebbe a poco a poco e ci si avvierebbe a un nuovo interglaciale.

In effetti DENTON analizzando i carotaggi del fondo marino diede le prove che il tavolato del mare di Ross era avanzato almeno quattro volte. Le sue scoperte per qualche tempo rilanciarono la teoria del WILSON. W. FRANKES nel suo *Climates throughout geological time* (che tra il 1979 e il 1980 ebbe due edizioni presso Elsevier di Amsterdam) poté scrivere "In un periodo non ben datato verso la fine del Miocene o il principio del Pliocene il tavolato del mare di Ross fu soggetto a un'enorme espansione. Il ghiaccio raggiunse il fondo del Mare di Ross, erodendolo, si estese almeno 150 km oltre la sua fronte attuale e raggiunse l'orlo della piattaforma continentale ... Il limite settentrionale dei sedimenti a diatomee si ritirò bruscamente di circa 300 km e in Nuova Zelanda si ebbe un accentuato raffreddamento rivelato dalla fauna dei sedimenti costieri ... Sembra che la crescita miocenica dei centri di ghiaccio antartico abbia preceduto la formazione dei ghiacciai continentali nell'emisfero boreale" (ed. 1980, p. 225). Non ci risulta però che il

DENTON abbia appoggiato questo rilancio. Egli concluse che il ghiaccio franato nel mare ne avrebbe innalzato il livello senza provocare una glaciazione e che le glaciazioni sono in pratica contemporanee su tutta la Terra e comandate dall'emisfero boreale. Degli scritti in cui sono consegnate le predette scoperte e riflessioni sono citati come più importanti: *Miocene-Pliocene glaciations in southern Alaska* (con R. L. ARMSTRONG) "Amer. Sci.", n. 267, p.1121-1142; 1969); due contributi al già citato convegno di Yale: *The late Cenezoic glacial history of Antarctic*, con R. L. ARMSTRONG e M. STUIVER, e *Holocene glacier fluctuations and their possible cause* (con W. KARLEN, "Quatern. Res.", v. 3, p.155-205; 1973); *The last great ice shield* (con T. HUGHES, Nuova York, Wiley, 1987).

Più tardi la similitudine tra l'andamento del volume dei ghiacci e quello dell'insolazione estiva alle alte latitudini boreali lo convinse che la causa ultima va cercata nelle particolarità del moto del nostro pianeta e s'impegnò a superare le difficoltà che si incontrano ad accettare pienamente questa tesi, in particolare la circostanza che le glaciazioni risultano contemporanee su tutta la Terra e comandate dall'insolazione estiva nell'emisfero boreale. Collegò alcune recenti scoperte in uno schema davvero affascinante. D'inverno nell'Atlantico settentrionale viene richiamata alla superficie dalla profondità di circa 800 m acqua molto salata che si raffredda e diventa così densa da scendere al fondo. Nel raffreddarsi libera una quantità di calore pari a circa un terzo di quella ricevuta dall'Atlantico settentrionale come radiazione solare. L'"acqua profonda nordatlantica" così formata si dà origine a una corrente salata profonda che passa a S dell'Africa e dell'India e volge verso N nel Pacifico centrale. E. BOYLE dell'MIT scoprì che nei loro gusci calcarei i Foraminiferi insieme al calcio incorporano cadmio il cui ione ha carica e dimensioni uguali a quello del calcio. La distribuzione del cadmio segue quella dei nitrati e fosfati il cui tenore aumenta man mano che l'acqua profonda invecchia. Questa ingegnosa tecnica ha permesso di concludere che durante le glaciazioni la circolazione descritta mancava. Nell'espone i risultati della sua ultima attività DENTON ha anche divulgato conclusioni più precise di quelle con riguardo a due fatti di estrema importanza. Il tenore di anidride carbonica nell'atmosfera è regolato dall'equilibrio con gli strati superficiali dell'oceano, il quale nel complesso contiene una massa di CO₂ pari a circa 60 volte quella contenuta nell'atmosfera. La sua distribuzione dipende dalle componenti verticali del moto delle acque (e quindi

l'arrestarsi di una circolazione come quella descritta la altererebbe gravemente), ma in buona parte dall'attività biologica (gli organismi la sintetizzano in carbonato di calcio e in clorofilla che finiscono col precipitare verso il fondo). Il ghiaccio delle epoche glaciali presenta un contenuto di polvere pari a circa trenta volte quello del ghiaccio attuale (W. S. BROECKER e G. H. DENTON. *The role of Ocean - Atmosphere organisations in glacial cycles*, "Geochim. cosmochim. Acta", a. 53, n. 10, ott. 1989. *I fattori di controllo dei cicli glaciali*, "Scienze", n. 250, mar. 1990, p. 37-45).

A tale circolazione termoalina (*Thermohaline circulation THC*) è stata attribuita un'importanza sempre crescente.) Nel 1997 ("Nature", ago 1997, p. 862-865 e feb 2002, p. 863-869) gli svizzeri T. F. STOCKER e A. SCHMITTER calcolarono che un rapido raddoppiarsi della concentrazione di anidride carbonica bloccherebbe quella circolazione col risultato che la temperatura dell'Atlantico settentrionale si abbasserebbe di 8 gradi, i ghiacci conseguentemente formati si innalzerebbero l'albedo⁵ media della superficie terrestre e potrebbe innescarsi un'era glaciale (2.3.3). È interessante leggere anche *Global climatic impacts of a collapse of the Atlantic Thermoaline circulation* di M. VELLINGA e R. A. WOOD ("Climate Change", v. 54, p. 251-267; 2002): gli AA. giungono alle stesse conclusioni, pur ammettendo una lenta ripresa della THC. Questa teoria è ormai abbastanza diffusamente conosciuta, tanto da ispirare scritti di fantascienza (p. es. Violette LE.-QUÉRÉ.-CADY et al. *L'affaire Mikado*, Parigi, ed. INRA, 2003)

2.5 Jugoslavia

La Jugoslavia ha dato una grande figura che non sapremmo inserire in una scuola: M. MILANKOVIC, nato nel 1879 a Delj in Slavonia e morto a Belgrado nel 1958. Nel 1905 si addottorò a Vienna con una tesi sulle travi in cemento armato e per tutta la vita si occupò di Scienza delle Costruzioni. Ottenuta nel 1909 una cattedra di Matematica applicata a Belgrado, riuscì a trasformarla in Istituto di Meccanica celeste e di Astronomia. Ben presto affrontò l'argomento che doveva impegnarlo per tutta la vita e dargli la celebrità: lo studio del clima.

In una prima fase seguì un indirizzo che

diremmo di Meccanica razionale e di Fisica tecnica, muovendo dalla teoria meccanica della migrazione dei poli (*Contributo alla teoria matematica del clima, Beitrag zur Theorie des mathematischen Klimas*. "Ber. königl. serb. Akad.", v. 87, 1912. *Applicazione della teoria matematica della conduzione del calore a problemi di Fisica cosmica Anwendung der mathematischen Theorie der Wärmeleitung auf probleme der Kosmischen Physik*, Arb. sudslav. Akad. Wissensch. Künste, n. 200; 1913. *Teorie astronomiche delle epoche glaciali* ibid. n. 204, 1914. *Teoria dell'assorbimento delle radiazioni da parte dell'atmosfera Theorie der Strahlenabsorption in der Atmosphäre Riduzione dell'emissione di calore per effetto dell'atmosfera sul pianeta Marte Verpingerung der Wärmeabgabe durch die Mars Atmosphäre*, "Ann. Phys.", nn. 43 e 44, 16 e 12 pp., 1914. *Problemi della conduzione del calore e loro applicazione alla teoria del clima solare, Probleme der Wärmeleitung und dessen Anwendung auf der Theorie des solaren Klimas* "Z. Math. Phys.", v. 62, 1913-14, *Ricerche sul clima del pianeta Marte* Arb. südslav. Akad. Wissensch. Künste, n. 213, 1916).

Quando passò al problema dei cambiamenti di clima, con un'impostazione del tutto coerente con la mentalità tecnica e rigorosa già manifestata si concentrò sul calcolo di come varia la radiazione solare ricevuta dalla Terra.

Un'elaborazione così intensa produsse due sintesi mature e convincenti, alle quali fu data grande risonanza e si deve il recente ritorno alla teoria astronomica per spiegare i cambiamenti del clima: il volume *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire* (Parigi Gauthier Villars, 1920, 336 pp.) e la parte A del I vol. (*Teoria matematica del clima e teoria astronomica delle oscillazioni climatiche (Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen*, 1930) del prestigioso *Handbuch der Klimatologie*, diretto da W. KÖPPEN e R. GEIGER (cfr. CLIMATOLOGIA 2.2 e 2.5). Si possono considerare come suo massimo risultato le *Tavole della radiazione sulla terra e loro applicazione al problema delle ere glaciali (Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf der Eiszeitproblem*, Belgrado, r. Acad. serbe, éditions spéciales, n. 133; 20+633 pp.; 1941). Nel dopoguerra la fiducia nella sua opera soffrì di una prolungata eclissi: la sua morte nel 1958 non destò una grande

⁵ Albedo (parola latina che significa "bianchezza") è il rapporto tra la radiazione elettromagnetica totale riflessa e ricevuta da un corpo. Per le singole lunghezze d'ombra si usa riflettività.

eco e il suo nome non figura nella *Bibliographie de l'OMM sur les fluctuations climatiques* del 1961 e neppure nel *Dictionary of Scientific Biography*.

2.6 Francia

Ha esercitato un'influenza principalmente attraverso la tradizione da ricavare indizi sul clima da notizie storiche e in particolare - ciò che è "bien Français"- dalle date delle vendemmie. L'inizio di quella tradizione è segnata dalla lunga nota dell'ARAGO citata in 2.1. Non ci è ancora stato possibile ricostruire l'ipotizzabile continuità con una serie di lavori analoghi apparsi a partire dal 1876 e citati da M.E.CLOUZOT nell'articolo *Histoire et Meteorologie* ("Bull. hist. Philol.", a. 1906, p. 117 -135; Parigi, 1907). Sembra tuttavia emergere per lo sforzo prolungato e tenace H.DUCHASSOY.

Nel 1955 l'articolo *Contributions de la Phénologie à l'étude des variations climatiques* di M.GARNIER ("Météorologie", ott. dic. 1955, p. 291) richiamò l'attenzione del giovane storico LE ROY LADURIE (n. 1929), il quale si appassionò all'argomento. Dopo essersi messo in luce al colloquio di Aspen (1962; cfr. 2.9) quando ritenne di aver sufficientemente elaborato la questione pubblicò nel 1967 la fondamentale *Histoire du climat depuis l'an mil*. Il libro ebbe rapidamente un successo finora ineguagliato da ogni altro di argomento simile: l'appartenenza dell'A. alla mitica scuola delle "Annales" e la sua effettiva capacità di inserire gli eventi nella realtà sociale esercitarono una straordinaria attrazione sugli storici e sui geografi, inducendone molti ad impegnarsi in quel filone di studi, e persino sul grosso pubblico. Forse i meteorologi non ne percepirono subito tutto il significato, ma lo presero subito in considerazione: per fare un esempio il "Bollettino dell'OMM", che pare aver ignorato la conferenza di Aspen, lo recensì nel gennaio del 1968. Si può tranquillamente affermare, anche per esplicito riconoscimento di altri studiosi, che il LE ROY LADURIE fu per qualche anno (diremmo fino alla pubblicazione nel 1972-77 di *Climate, Present Past and Future* di H. H. LAMB) considerato alla testa degli studi di Climatologia storica.

2.7 Gran Bretagna

Ha assunto un'efficace posizione di preminenza e di guida proprio con l'opera del

LAMB, ma può contare su diversi notevoli precursori la cui attività ebbe un'eco immeritabilmente ridotta. I principali sono forse C. E. BROOKS (1888-1957) e G. MANLEY. Il BROOKS da iniziali studi di Geologia si fece Meteorologo e più precisamente Climatologo (fu per decenni il *Chief Climatologist* del Servizio britannico) e Bibliografo della Meteorologia. Fu un pioniere, con connotati di apostolo, degli studi sui cambiamenti climatici. Dei suoi principali libri *The evolution of climate* (Londra, Benn, 1922, 173 pp; 1925) espone i cambiamenti climatici noti sull'intera superficie terrestre, *Climate through the ages: a study of the climatic factors and their variation* (Londra, Benn, 1926, 439 pp., 2ª ed. New York, McGraw Hill; 1949) studia i fattori del clima e le loro variazioni, concludendo che la teoria geografica basta a spiegare i cambiamenti intervenuti e descrive quelli posteriori al 5000 a.C..

Il MANLEY si segnala per l'accurata ricostruzione di serie di temperature, condotta appoggiandosi il più possibile a risultati di misure:

- *The Durham meteorological record 1847-1940*, ("Q. J. meteorol. Soc.", a. 67, p. 363-380; 1941) che è appunto un esame molto accurato di quella serie.
- *Some recent contribution to the study of climatic change* (ibid. v.70, p.197-219, 1944;
- *Temperature trend in Lancashire 1753-1945* (ibid., v.72, p. 131; 1946) dove si arriva a una stima attendibile delle medie mensili dal 1781 al 1946.
- *Late and post glacial climatic Fluctuations and their relationship to those shown by the instrumental records of the past 300 years*, in: NEW YORK ACAD. SCI., "Annals", v. 95, n. 1, p. 162-172; 1961.
- *Central England temperatures monthly means 1659 to 1973* (Q. J. r. meteorol. Soc., v.100, p. 389-405) che è il suo scritto più conosciuto ed apprezzato.

H.H.LAMB dopo un'esperienza di meteorologo pratico negli anni '50 incomincia a lavorare sul problema dei cambiamenti climatici, con un'impostazione molto concreta: (*On the frequency of gales in the Arctic and Antarctic*, "Geogr. J.", v. 123, n. 3, p. 287-297; 1957). *Climatic variations and observed changes in general circulation* "Geografiske Annaler", v. 41, n. 2-3, p. 94-134; 1959 e v. 43, n. 3-4, p. 363-400; 1961; *Climatic change within historical time as seen in circulation maps and diagrams*, in NEW YORK ACAD. SCI., "Annals", v. 95, n. 1, p. 124-161; 1961.

Verso il 1970 fu nominato capo della

Climate Research Unit della School of environmental Sciences dell'università dell'East Anglia, a Norwich, e rapidamente produsse la vasta sintesi che abbiamo ricordato alla fine del paragrafo precedente (Londra, Methuen, 1° v., 1972, XXI + 613 pp., 2° v., 1977, XXX + 835 pp.) e che lo fece riconoscere come il più eminente studioso della disciplina qui trattata.

2.8 Sviluppi a carattere paneuropeo

Non si può ancora dire che la Climatic Research Unit (passata sotto la guida di T. WIGLEY allorché il LAMB compì 70 anni) abbia perduto la preminenza. Una notevole attività svolta da A. BERGER dell'Università di Louvain La-neuve e dalla Direzione generale XII della Commissione per le Comunità europee - principalmente dal fiorentino R. FANTECHI e da A. GHAZI con l'assistenza del FLOHN - fanno pensare al sorgere su suolo belga di una scuola che ben si potrebbe dire europea. Significativo in questo senso ci appare il volume *The climate of Europe: Past, Present and Future. Natural and man-induced climatic changes: a European perspective*. (Dordrecht, Reidel, 1984) curato dal FLOHN e dal FANTECHI con contributi del BERGER, di A. BOURKE, del DAANSGARD, di J. DUPLESSY, del LAMB, del ROSINI (cfr. CLIMATOLOGIA 2.2) di C. SCHUURMANS.

2.9 I convegni più importanti

Probabilmente il primo tentativo di discutere a scala veramente mondiale il problema dei cambiamenti di clima fu compiuto per iniziativa di L. DE MARCHI (cfr. 3.3 e CLIMATOLOGIA 3.2) al Congresso geografico internazionale di Varsavia (1934).

Col progredire del tempo gli incontri si sono fatti più frequenti, ma molti di essi - come quello stesso di Varsavia - non hanno prodotto effetti importanti almeno nell'ambiente dei Meteorologi. Ci limiteremo quindi a menzionare quelli che a nostra conoscenza li hanno prodotti.

Una proposta avanzata nel 1958 a Teheran dal Comitato consultivo dell'UNESCO per lo studio della zona arida si concretò in un colloquio UNESCO/OMM sui cambiamenti di clima svoltosi a Roma dal 2 al 7 ottobre 1961. Fu preceduto da un'inchiesta dell'OMM sugli studi in materia e sulle lunghe serie di misure meteorologiche conservate nei paesi membri che produsse la *Bibliographie de l'OMM sur les*

Fluctuations climatiques (Ginevra 1961) e arricchì notevolmente il secondo volume del *Catalogue des données meteorologiques destinées à la recherche* (Ginevra, OMM 1970; il ritardo nella stampa conseguì a una seconda inchiesta condotta nel 1966 per perfezionare i risultati della prima). Il colloquio ebbe il merito di coinvolgere i servizi meteorologici nazionali e di inserire nell'elenco delle loro attività canoniche degli studi che in precedenza essi consideravano poco più di una curiosità erudita.

In quell'occasione fu proposto un colloquio concentrato sui secoli XI e XVI, che si ritenevano il più caldo e il più freddo della piena età storica. La proposta trovò realizzazione ad Aspen (Colorado) nei giorni 16-24 giugno 1962, principalmente per impulso del Comitato per la Paleoclimatologia della National Academy of Sciences e del National Research Council. Il colloquio fu il primo tentativo di coordinare gli studi sul nostro argomento e come primo passo scelse di rappresentare su diagrammi omogenei l'informazione raccolta da vari studiosi operanti in campi diversi (Geologi, Glaciologi, Meteorologi, Dendrocronologi e Storici). Furono realizzati 22 diagrammi per il secolo XI e 34 per il XVI. Essi godono (e ancor più hanno goduto) di una certa notorietà con il nome di "diagrammi di Aspen", ma ci sembra che il loro principale risultato sia consistito nel fugare un certo timore sotterraneo che i risultati ottenuti da diversi studiosi risultassero inconciliabili. Probabilmente il colloquio di Aspen avendo messo in luce la personalità del LE ROYLADURIE diede un contributo importante, se non addirittura essenziale, all'affermarsi del suo indirizzo di ricerca.

Nel 1967 per iniziativa di M.I.BUDYKO la Commissione di Climatologia dell'OMM propose una conferenza sulla Climatologia fisica e dinamica. Essa ebbe luogo a Leningrado nell'agosto 1971 e fu formalmente organizzata dall'OMM e dall'Associazione internazionale di Meteorologica e Fisica dell'Atmosfera. Gli atti furono pubblicati a Leningrado dal Gidrometeoizdat nel 1974 col titolo *Physical and dynamical Climatology*. La conferenza servì soprattutto a lanciare la nuova Climatologia concepita come scienza del sistema climatico. Compresa, anche una sezione intitolata "Fluttuazioni e modificazioni climatiche" dove comunicazioni che trattavano il problema secondo le nuove vedute si alternarono ad altre di impostazione più tradizionale. Una particolarmente importante del LAMB, non ancora a capo della Climatic Research Unit, può essere stata alla base del suo affermarsi negli anni successivi. È poi divertente osservare che in quel

tempo come conseguenza degli interventi dell'Uomo si pensava più a un raffreddamento che a un riscaldamento dell'atmosfera ...

2.10 Il difficile momento attuale

Nel 1977 il Comitato esecutivo dell'OMM decise di organizzare per il febbraio 1979 una Conferenza climatologica mondiale per esaminare i cambiamenti climatici e le possibili previsioni in merito. Fra i partecipanti v'erano Geografi, Agronomi e Forestali, mentre Paleoglaciologi, Palinologi e Dendrocronologi praticamente non erano rappresentati. Mancavano le stesse figure più eminenti della Climatologia storica e della Paleoglaciologia quali il LE ROY-LADURIE e il LAMB, il DANSGAARD e il DENTON e soprattutto il più capace e promettente teorico del sistema climatico, E. N. LORENZ (cfr. METEOROLOGIA 2 e 16). Ci sembra di dover ipotizzare che la conferenza sia stata indetta per rispondere alle inquietudini che si erano diffuse nella società e condotta con consumata abilità, in modo che non sfuggisse al controllo dei Meteorologi (cfr. METEOROLOGIA 16). Nel luglio dello stesso 1979 la Climatic Research Unit organizzò a Norwich un altro convegno, intitolato "Clima e storia", cui parteciparono alcuni dei "grandi assenti" di Ginevra.

L'OMM si impegnò sempre più in programmi strettamente collegati al problema dei cambiamenti climatici e a pubblicarne i risultati nei 1.100 "Documenti tecnici" elencati nel Catalogo 2001-2002: 67 (redatti tra il 1992 e il 2001) riguardano il Sistema mondiale di Osservazione del Clima SMOCI (Global Climate Observing System GCOS), 47 (1966-2001) il Programma Mondiale dei Dati climatologici, dal maggio 1991 Programma mondiale dei Dati climatologici e di Sorveglianza del Clima PMDSC (World Climate Data and Monitoring Programme WCDMP), 53 (1986-2001) il Programma mondiale delle Applicazioni del clima, dal maggio 1991 Programma mondiale delle Applicazioni e dei Servizi climatologici PMASC (World Climate Application and Services Programme WCASP), 115 (1986-2001) il Programma mondiale di Ricerche sul Clima PMRC (World Climate Research Programme WCRP), 143 (1986-2001) la Vigilanza sull'Atmosfera globale VAG (Global atmospheric Watch GAW), 44 (1977-1999) la Ricerca e la Sorveglianza globali dell'Ozono, 16 (1985-2000) il Gruppo di Lavoro sulla Sperimentazione Numerica (Working Group on numerical Experimentation

WGNE), 23 le attività di Ricerca sulla Modellizzazione dell'Atmosfera e dell'Oceano (Research Activities in atmospheric and oceanic Modelling RAAOM).

La quarantesima sessione (7-16 giugno 1988) del Comitato esecutivo dell'Organizzazione meteorologica mondiale decise di indire una seconda Conferenza meteorologica mondiale nei giorni seguenti la propria 42ª riunione. La notizia fu data senza particolare rilievo nella cronaca di quella sessione dai numeri del successivo ottobre dei bollettini della stessa organizzazione e della Società meteorologica americana. Il secondo indicava una data precisa (25 giugno - 3 luglio 1990), il primo no. Negli elenchi delle prossime riunioni a un certo momento la conferenza scomparve per poi riapparire con la data 12-22 novembre ("Boll. OMM", apr. 1990, p.153), cambiata all'ultimo istante in 29 ottobre-7 novembre (Ibid, lug. 1990, p. 217). Inoltre l'OMM che svolge una ricca, tempestiva e accurate attività editoriale (il catalogo 2000-2001, aggiornato dal Supplemento 2002, elenca 941 titoli della serie Pubblicazioni dell'OMM e 1100 della serie Documenti tecnici) non pubblica gli atti della conferenza. I bollettini dell'ottobre 1990 e del gennaio 1991 non ne parlano, quello dell'aprile 1991 le dedica 5 pp. (139-143) senza accennare alla pubblicazione degli atti. Che questa sia avvenuta si apprende nel Bollettino del gennaio 1992 da una pagina di pubblicità dell'editore (Cambridge University Press), sebbene il copyright sia dell'OMM. L'opera - edita nel 1991 e costituita da una parte "tecnico-scientifica" e una "ministeriale" - non figura tra quelle recensite dai bollettini del 1991, 1992 e 1993.

Riesce naturale interpretare queste incertezze e reticenze come segno di un divorzio psicologico tra i Meteorologi (i quali pure hanno sempre fatto della scienza applicata, finalizzata alla previsione) e vasti circoli politici, non escluse le Nazioni Unite (delle quali l'OMM è un' "agenzia specializzata" dal 1951; per quarant'anni i Meteorologi non sentirono il minimo disagio da questa dipendenza politica). Tale divorzio ha un precedente: intorno al 1875 i Meteorologi costituirono una loro organizzazione internazionale e la vollero non governativa ([H. DANIEL], *One hundred years of international co-operation in Meteorology*, Ginevra, OMM, 1973. Pubbl. 345. Cfr. pp.7 e 11).

La sgradevole circostanza fu superata con eccezionale abilità istituendo già nel 1988 con un accordo tra l'OMM e il Programma della Nazioni Unite sull'Ambiente (PNUE - UNEP) un comitato intergovernativo di Esperti sull'e-

voluzione del Clima GIEC (in inglese Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC) allo scopo di raccogliere gli elementi utili ad economisti e politici per assumere le decisioni che loro competono⁶.

2.11 Perplexità

Per il meteorologo i modelli del sistema climatico costituiscono forse il settore di lavoro più appassionante (cfr. METEOROLOGIA 11). Il loro impiego per valutare l' "effetto serra" ha condotto a rivedere e articolare molti luoghi comuni (ad esempio circa l'effetto riflettente delle nubi e delle polveri) ed a sviluppi ricchi di fascino: studiando il sistema climatico nell'ambito dell'impostazione sviluppato dal LORENZ, Catherine e G. NICOLIS in Belgio e K. FRAEDRIC in Germania hanno trovato un attrattore con dimensioni frattali comprese fra tre e quattro. Ciò significa che il sistema climatico sarebbe determinato soltanto da tre o quattro grandezze, che comunque rimangono da determinare. Non è peraltro eliminato il dubbio che in realtà quello sia l'attrattore di un sottosistema. Uno dei cardini delle teorie del LORENZ è però la conclusione che il sistema climatico non può essere previsto deterministicamente per periodi che vadano oltre qualche settimana. Molti meteorologi sono evidentemente infastiditi dalle sue affermazioni e tendono ad ignorarle senza peraltro confutarle, mentre gli altri fisici in generale ne sono entusiasti e le trovano feconde. Non si può quindi evitare l'atroce dubbio che l'utilizzazione dei modelli di clima per prevedere con precisioni dell'ordine di 1°C le temperature tra qualche decennio e la loro distribuzione sulla superficie terrestre sia opera vana. Persino i praticamente ufficiali rapporti dell'IPCC (*Climate Change 1990*, id. 1992, id. 2001, 2 voll. Cambridge University Press, 1990, 1992, 2001) ignorano la questione.

Non mancano considerazioni fisiche e risultati sperimentali a sostegno delle conclusio-

ni del LORENZ, comunque mai contestate. La prima contestazione teorica dalla notizia apparsa sul n. 34, s. 8^a della "Météorologie" (2001) è l'articolo *L'effèt papillon n'existe plus!* di R. RUBERT ("Pour la science", n. 283, mag. 2001). D'altro canto la prima segnalazione al grosso pubblico da noi colta della possibilità che l'effetto serra conduca a un'era glaciale si trova nel "Sole-24 ore" del 18 ago. 2002 (Silvie COYAUD, *Sprofonderemo o pattineremo sul Po?*).

2.12 Conclusioni

I negatori del riscaldamento sono praticamente scomparsi e i negatori della sua correlazione con l'incremento dell'anidride carbonica sono ridotti a una sparuta schiera. Il GIEC sembra ignorare il problema della quasi intransitività, in parte con buone ragioni scientifiche perché i modelli che esso ha utilizzato non ne hanno dato segni nell'arco di tempo per il quale sono stati utilizzati, in parte forse con una punta di malafede per presentare ai decisori politici conclusioni univoche e ragionevolmente definite ⁷.

Di fronte alla possibilità che la quasi intransitività comporti rapidi trapassi da un clima temperato a uno glaciale e viceversa, il buonsenso (elevato a dignità scientifica col nome di principio di precauzione ⁸; cfr. P. ROSSI, *Meglio primitivi che riscaldati dai gas di serra?* "Il Sole-24 ore", 30 dic. 2001, p. 37) suggerisce che decisioni radicali per ridurre le emissioni di anidride carbonica sono ancor più necessarie ⁹. L'attuale incremento dell'anidride carbonica - il quale, come non si stanca di ricordare A. NAVARRA (3.9), è di gran lunga il più rapido nella storia geologica della Terra - appare adattissimo a produrre il trapasso da uno stato del clima a un altro (cfr. 2.3.3, e *The physical basis of climate and climate modelling*, Ginevra, 1975. GARP Publications Series, n. 16).

Non è neppure lecito dimenticare che fino a un paio di generazioni or sono l'umanità ha

⁶ Il Boll. OMM ha sepolto la notizia nel paragrafo "Programme climatologique mondial" del resoconto (ott. 1988, p. 315) della XL sessione del suo Comitato esecutivo, il termine "experts" vi figura esplicitamente.

⁷ Avevamo già scritta questa parola quando l'antico collega (a vero dire superiore, e non solo gerarchicamente) O.M.ASHFORD ci ha inviato un estratto del suo scritto *Change of political Climate* ("Weather", gen. 2002). Lo scritto comincia così « I politici non prenderanno alcun provvedimento relativamente a cambiamento di clima finché i meteorologi non diranno loro quel che accadrà anziché quello che potrebbe accadere ». Tale era il consiglio dato nel 1977 da uno scienziato e politico [che noi sospettiamo sia R.M.WHITE] in una riunione informale convocata dall'OMM nel corso della preparazione della Prima Conferenza climatica mondiale.

⁸ Il principio di precauzione è anche il titolo di un libro dei notissimi ambientalisti (nel linguaggio politico conosciuti come "Verdi") Grazia FRANCESCATO e A. PECORARO-SCANIO (Milano, Jaca Book, mag. 2002).

⁹ Per quanto è a nostra conoscenza la prima decisione razionale riguardante le sorti dell'umanità è stata la rinuncia alla guerra nucleare. Il Club di Roma non è riuscito a imporre la coscienza che il mondo è finito e lo sviluppo non può essere illimitato, (Donella H. MEADOWS et al. *I limiti dello sviluppo*, Milano, EST, Mondadori. 1972; anche in "Scienza e Tecnica 72", A. PECCEI, *Quale futuro*, Ibid 1974, anche in "Successo" feb. 1970-dic. 1973). Il suo fallimento - in parte dovuto a ritrovamenti di materie prime e progressi tecnici imprevisi - ha certamente influito sugli atteggiamenti verso il problema del cambiamento del clima. Il Club di Roma è stato così poco capito che è stato sbeffeggiato e insultato, attribuendogli secondi fini (P. BRAILLARD, *L'impostura del Club di Roma*, Bari, Dedalo).

vissuto nell'Abbandono alla Provvidenza Divina¹⁰. Questo comportamento non è però stato esplicitamente proposto da nessuno, neppure dai circoli religiosi più mistici che sarebbero gli unici autorizzati a farlo.

3. Gli studi sui cambiamenti climatici in Italia

Il nostro paese ha dato importanti precursori e assunto iniziative precoci, delle quali una ha persistito eccezionalmente a lungo, ma non è mai venuto in primo piano.

3.1 Precursori toscani

Di Ferdinando II e del TARGIONI-TOZZETTI abbiamo parlato già in 2.1. Nel 1830 il LIBRI (1803-1869) presentò all'Accademia delle Scienze di Parigi un *Mémoire sur la détermination de l'échelle du thermomètre de l'Académie del Cimento*, subito pubblicato negli "Annales de Chimie et de Physique" (t. XLV, p.354 segg.; 1830; cfr. 2.1) dove compara anche i dati del 1654-1670 rilevati al Convento degli Angeli con quelli degli anni successivi al 1820 dell'Osservatorio Ximeniano e conclude che non appaiono cambiamenti. Altri suoi scritti in argomento furono pubblicati negli stessi "Annales" nell'apr. 1833 e nel "Memorial encyclopédique" (ago 1831, p.182 segg.)

Nel 1873 F. MEUCCI confrontò i dati seicenteschi con quelli del periodo 1832-1871 ed escluse ancora una volta cambiamenti degni di nota.

In proposito ricorderemo che alcuni indizi fanno pensare che i cambiamenti climatici degli ultimi secoli in Italia siano prodotti da intensificazioni e indebolimenti dell'azione degli scirocchi e delle tramontane. La Toscana si trova in una posizione neutra rispetto a tali variazioni (cfr. 1).

3.2 Prodromi in Lombardia

L'inglese attivo a Milano C. AMORETTI (1741-1816), erudito e poligrafo che nel corso della vita si dedicò sempre più alla Scienza ed alla Tecnica avendone riconosciuto la crescente importanza, scrisse *Sul cambiamento del clima avvenuto in Italia e specialmente in*

Lombardia. Il saggio è compreso nel t. XIX (p. 405 segg.; 1796) degli *Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti*, ma ne ignoriamo la data di composizione.

Nel 1834 il monzese Angelo BELLANI (1776-1852; valente e conosciuto come costruttore e giudice di strumenti, ma mente teorica non molto forte) pubblicò il saggio *Sul cambiamento del clima* (apparso prima nel fasc. di lug.-sett. 1834 degli "Ann. univ. Agricolt." poi in un opuscolo di 26 pp.) che si dimostra aggiornato in punto di bibliografia ma poco concludente.

3.3 La grande scuola di SCHIAPARELLI, CELORIA e DE MARCHI

Una tradizione di studi rigorosi sui cambiamenti climatici, che si perpetuò con diretta continuità fin quasi ai giorni nostri, nacque nel nel settimo decennio dell'Ottocento all'Osservatorio milanese di Brera per opera di due grandi astronomi: G. V. SCHIAPARELLI (1835-1910) e G. CELORIA (1842-1920).

Essa prese le mosse dall'esame delle varie periodicità dei fenomeni meteorologici. Il prof. F. CARLINI e l'ab. G. CAPELLI scrissero a lungo sulla variazione diurna della pressione e della temperatura (nelle "Effemeridi astronomiche di Milano" per gli anni 1844, 1855, 1856, 1862, 1866 e nel v. VI (1859) degli "Jahrbücher der k. k. Central-Anstalt für Meteorologie und Magnetismus" di Vienna. Il CARLINI inoltre nelle "Effemeridi astronomiche di Milano" (1859, p. 3-32) pubblicò delle *Considerazioni sulle vicissitudini della quantità annuale delle piogge osservate nella Specola Astronomica di Milano*, stimolato da analoghi studi di V. CHIMINELLO (1741-1813), A. DE CESARIS (1749-1832) e Giuseppe BIANCHI (1791-1866). Se ammettere che i primi due ebbero mentalità arcaiche non è molto arrischiato, la figura del terzo meriterebbe di essere meglio illuminata.

Lo SCHIAPARELLI e il CELORIA sentirono il bisogno di rivedere criticamente il metodo seguito (G.V. SCHIAPARELLI e G. CELORIA, *Sulle variazioni periodiche del barometro nel clima di Milano*, "Meteorologia italiana", v. III, 1868) e poi di affrontare direttamente lo studio delle ciclicità, giungendo in proposito a conclusioni sostanzialmente negative: G. CELORIA, *Se nella media temperatura annua e se nella quantità di pioggia che cade*

¹⁰ Titolo di uno scritto del gesuita settecentesco J. P. DE CAUSSADE ristampato più volte in anni recenti da circoli misticheggianti, ortodossi e no, a partire dall'ed. Astrolabio (Roma, 1951).

esista un periodo sincrono a quello delle macchie solari, "Rendic. Ist. lomb. Sci. Lett. Arti", n. s., v. VI, fasc. II, p.41-48; 1873. *Sulle variazioni periodiche e non periodiche della temperatura nel clima di Milano*, Pubbl. r. Oss. Brera, n. IV, 1874; 86 pp.

In seguito, forse anche per l'influenza del geologo Torquato TARAMELLI (1845-1922), essi subirono un'evoluzione verso uno studio più storico e naturalistico dei cambiamenti climatici, evoluzione il cui principio ci sembra segnato dalla nota del CELORIA *Temperature estreme osservate in Milano dall'anno 1763* ("Rendic. Ist. lomb. Sci. Lett. Arti", n. s., v. VII, p. 168-174; 86 pp.).

Il 12 gennaio 1888 l'Istituto lombardo bandì un concorso con scadenza al 30 aprile 1889 sul tema "Fare una completa esposizione storica e critica delle ricerche sino ad oggi eseguite per mettere in luce la natura e l'intensità delle variazioni che i climi e le temperature terrestri hanno subito durante il corso delle età geologiche. Discutere il grado di probabilità delle diverse ipotesi che sono state immaginate per render conto di quelle variazioni". La commissione, che aveva per relatore lo SCHIAPARELLI ed era inoltre composta dal CELORIA, dal TARAMELLI e dall'altro noto geologo Antonio STOPPANI (1824-1891), decise all'unanimità di non concedere il premio all'unico lavoro presentato, il quale non rispondeva alla richiesta di un'esposizione completa ed era invece incentrato su una teoria astronomica piuttosto fantasiosa e giudicava ogni altro scritto nella base dell'affinità con l'ipotesi proposta. Il nome dell'autore non venne reso noto, come di regola avveniva per i non premiati. Nel 1894 fu bandito un nuovo premio per "uno studio sul clima terrestre durante l'epoca glaciale e quaternaria e sulle cause che hanno contribuito a modificarli". La Commissione - identica alla precedente, salvo lo STOPPANI - fu veramente soddisfatta dell'unico lavoro presentato e assegnò il premio. Quel lavoro, stampato nel 1895 a Pavia sotto forma di volume di 246 pagine era opera di Luigi DE MARCHI (1857-1936), forse la figura più completa ed eminente nella storia della Meteorologia italiana.

Nel 1898 l'Istituto bandì un ulteriore concorso sul tema "Formare un catalogo... di tutti gli avvenimenti meteorologici per qualunque riguardo notevoli". La commissione era costituita dal CELORIA, dallo SCHIAPARELLI, e dal DE MARCHI, relatore. I partecipanti furono quattro, ciascuno contraddistinto da un motto, la relazione pubblicata l'11 gennaio 1900. Il "n. 1" ebbe un giudizio poco favorevole e non si rivelò, almeno ufficialmente. Il premio di 1.200 lire

fu ripartito tra gli altri tre: P. CANTONI, professore di fisica al liceo Beccaria, il tedesco R. HENNIG, il cui lavoro era redatto in latino, e il barnabita G. BOFFITO, dal gennaio 1898 direttore dell'Osservatorio del Collegio di Moncalieri, reso illustre dal suo fondatore padre Francesco DENZA. Il BOFFITO (dal 1895 bibliotecario della Società meteorologica italiana, creatura del DENZA con sede a Moncalieri) dimostra in particolare attraverso i due volumi dell' "Annuario storico meteorologico italiano" (1899 e 1900) che la sua vera vocazione erano gli studi bibliografici ed eruditi. Nell'agosto 1900 fu trasferito a Roma e nel novembre 1901 al Collegio fiorentino alla Querce, donde non si mosse più.

Nella *Premessa*, stilata certo posteriormente al 1931, alle *Notizie meteorologiche e climatologiche della Regione Giulia* (cfr. più avanti) il DE MARCHI soggiunse: "L'HENNIG pubblicò il suo lavoro nelle Memorie dell'Istituto meteorologico prussiano di Berlino del 1904; il CANTONI morì dopo breve tempo e la sua memoria, lasciata dagli eredi al prof. G. V. SCHIAPARELLI, fu da questi consegnata al Padre BOFFITO, perché se ne valesse, unitamente a quella dell'HENNIG, a completamento della propria. Il padre BOFFITO continuò anche negli anni successivi la sua paziente raccolta, e contava di pubblicarla, e già ne aveva stampato, come saggio, il primo foglio col titolo *Chronicon meteorologicum bibliographicum ab Urbe condita* ma l'impresa si arenò per mancanza di mezzi... Auguriamo che questo impedimento possa essere rimosso, nell'interesse della scienza e a giusta soddisfazione del benemerito raccoglitore".

Quel "primo foglio" fu pubblicato nella "Bibliofilia" (a. XXV, disp. 10-11, p. 289-296, gen. 1924) e come n. 32 delle Pubblicazioni del Collegio alla Querce (serie in 4°). Nell'introduzione al testo vero e proprio, lo studioso barnabita confessa che dopo il concorso egli se n'è occupato non più che a tratti e che soltanto per invito di F. EREDIA « ... ha riesumato il materiale raccolto » e poco oltre scrive « ... ed eccolo nella sua interezza ». Seguono in tutto 53 notizie senza l'indicazione "continua" mentre la relazione del 1901 afferma che il manoscritto presentato al concorso ne conteneva 3400. Nostre insistenti ricerche dei manoscritti del *Chronicon*, della Bibliografia dell'Aria, (pubblicata dalla "Bibliofilia" tra il 1913 e il 1918 e interrotta con la voce BARBIERI U.), della *Bibliografia meteorologica italiana* (apparsa a puntate sulla "Meteorologia pratica" tra il 1923 e il 1940 e stampata sino alla voce MORO, Pietro) sono rimaste senza esito.

Eppure i confratelli hanno conservato gelosamente tutto il materiale lasciato dal BOFFITO. Non è peraltro escluso che i manoscritti più importanti siano stati ceduti ad altre istituzioni.

Nel DE MARCHI l'interesse per i cambiamenti climatici dovette mantenersi sempre vivo, anche se noi oggi lo possiamo documentare soltanto a tratti, attraverso gli scritti.

Ai primi dei famosi articoli con i quali l'ARRHENIUS (che vi cita le sue *Cause dell'era glaciale*) segnalò quello che oggi chiamiamo "effetto serra" egli replicò criticamente senza indugio nel "Boll. mens. Osserv. Moncalieri" (s. II, v. IV, n. 4-6, giugno 1896) e nei "Rendic. r. Ist. lomb. Sci. Lett." (s. II, v. XXXI, 1898). Trattò delle nuove teorie alla IV riunione della Società italiana per il Progresso delle Scienze (p. 217-233 degli "Atti", 1911, e "Scientia", 1911, p. 186-206). Nel 1922 scrisse sulla *Variazione del livello dell'Adriatico in corrispondenza colle espansioni glaciali*, ("Atti Acc. ven.-trent.-istr.", v. XII-XIII, 13 pp.).

Nel frattempo F.EREDIA aveva presentato al X Congresso internazionale di Geografia una sostanziosa comunicazione sulle *Variazioni del clima in Italia*, (Roma, 1915). Il dopo guerra vide un prolungato sforzo dei due studiosi per rilanciare le ricerche sui cambiamenti di clima. È logico considerarlo uno sforzo comune giacché dalla fondazione (1920) del Comitato nazionale italiano geofisico e geodetico il DE MARCHI presiedeva la Sezione di Meteorologia e verso il 1923 l'EREDIA ne divenne segretario. In tale veste questi pubblicò sulla "Meteorologia pratica" due appelli *Per una raccolta di notizie meteorologiche antiche* e *Per un inventario di pubblicazioni meteorologiche italiane* datati rispettivamente "novembre 1922" e "marzo 1923".

L'esito degli appelli fu lusinghiero. Oltre a stimolare il BOFFITO a riprendere il *Chronicon* e ad incominciare a stampare la *Bibliografia meteorologica*, suscitò un certo numero di comunicazioni apparse nella stessa rivista:

- [B. PAOLONI ?], *Inverni eccezionali* (a. IV, n. 1, p. 47-48; 1923).
- F. E. [REDIA], *Un'antica cronaca meteorico-agraria della città di Jesi* (a. IV, n.3, p.145).
- G. DE CRISTO, *Di alcuni temporali memorabili occorsi in Calabria* (a. IV, n. 5, p. 197-202). Notizie riferentisi agli anni 1191-1881 tratte da opere storiche sulla regione, specie dalla *Calabria illustrata* di G. FIORE, edita nel 1691. Riferimento esplicito all' "appello lanciato dall'illustre prof. EREDIA".
- [B. PAOLONI], *Due secoli di osservazioni*

meteorologiche a Padova (a. VII, n. 1, p. 57-58).

- Ester DE MAIO, *Sulle variazioni a lungo periodo nella quantità e nella frequenza annuale della pioggia a Roma e Sulle variazioni di lungo periodo della frequenza annuale della pioggia a Padova e a Bologna* (a. VIII, n. 5, pp. 205-208 e 209-213).
- La serie di note illustrante gli osservatori italiani e le loro pubblicazioni (a. IV, n. 2: Moncalieri, Capri, Terracina, Piedimonte d'Alife, Riposto; a. IV, n. 4, Taranto; a. V, n. 1: Monte Rosa; a. V, n. 4: Venezia).

L'EREDIA pubblicò inoltre studi sugli inverni rigidi nell'epoca romana nel "Bollettino della Società geografica italiana" (n. 7, 1930) e nella rivista "Roma" (marzo 1931).

Un'attività diretta del DE MARCHI non è documentata prima del 1928, anno in cui assunse la presidenza del Comitato geofisico e geodetico allora detto "del CNR" e non più "nazionale italiano" e della Commissione per le variazioni climatiche dell'Unione geografica internazionale. Tenne la prima sino al 1931 e la seconda fino alla morte. Nello stesso 1928 per opera di D. COSTANTINI la Società geografica italiana costituì un Comitato paleogeografico italiano, il quale fece tradurre dal botanico fiorentino G. NEGRI un'importante rassegna del GAMS (cfr. 2.2.2) *Risultati dello studio dei pollini fossili in rapporto alla storia della vegetazione del clima d'Europa*. Comitato paleogeografico italiano. Ricerche sul plioleistocene. Serie climatologia, n. 1, Firenze 1929). Subito dopo il NEGRI raccolse per la XVIII riunione della Società italiana per il Progresso delle Scienze (*Atti*, p. 628-640) interessanti considerazioni circa la vegetazione e le oscillazioni del clima nel più recente passato geologico.

In questo quadro il DE MARCHI sviluppò un'intensa attività organizzatrice, testimoniata da diversi scritti:

- *Sulla variazione dei climi. Relazione illustrativa delle proposte presentate dal Com. geogr. naz. ital. al Congr. geogr. internaz. di Cambridge*, Firenze, Ist. geogr. milit., 1928; 7 pp. (con G. NEGRI).
- *Projet d'une étude à la collaboration internationale sur les variations des climats*, in: INTERNATIONAL GEOGRAPHICAL CONGRESS, *Report of the Proceedings*, Cambridge, 1930, p. 200-203.
- *Per la organizzazione di una raccolta di documenti riguardanti le variazioni dei climi italiani. Comunicazione al Congr. Int. di Geografia di Parigi*, settembre 1931. Firenze, Ist. geogr. milit., 1931, 5 pp.; poi in

Comptes Rendus du Congrès international de Géographie, Paris, 1931, t. II, p. 223-227.

- *Commission internationale pour l'étude des variations de climat en époque historique*, in: *Comptes Rendus du Congrès international de Géographie (Varsovie 1934)*, t. II, p. 633-635, Varsavia 1936.

Dopo il concorso dell'Istituto lombardo egli si era convinto che « L'Italia ... offre una tale molteplicità e varietà di fonti storiche, dalle quali si possono desumere notizie riferentesi [sic!] direttamente o indirettamente al clima delle sue varie regioni che uno spoglio sintetico di così vasto materiale difficilmente può essere assunto da uno solo », (*Premessa cit.*). Egli deve aver atteso finché non si sono profilate condizioni organizzative favorevoli, che indicheremmo soprattutto nell'imminente costituzione del Consiglio nazionale delle Ricerche. Poiché successivamente non abbiamo trovato tracce di attività della Commissione per le variazioni climatiche dell'Unione geografica internazionale, crediamo si debbano attribuire all'impulso del DE MARCHI due pubblicazioni di A. H. ARKTOWSKI, non facili a reperire ¹¹: *Conférence concernant l'étude des variations climatiques* (Lwow. Uniwersytet Inst. Geofiz." Meteorol., Komunikaty", No. 8 (94), p. 17-93; 1936) e *A Bibliography of scientific papers on climatic variations* (Lwow, 1938; 254 pp. policopiate). I due scritti appaiono propedeutici a una progettata conferenza.

Pure in qualche modo riferibile alla scuola del DE MARCHI è la pubbl. 137 del Magistrato alle Acque: G. CRESTANI, F. RAMPONI e Lucia VENTURELLI, *Le precipitazioni atmosferiche a Padova. Studio storico critico e ricerche statistiche* (Padova 1935). Il CRESTANI che era membro della sezione di Meteorologia ricordata poco più sopra ed aveva conseguito a Padova la libera docenza in Meteorologia, era certamente vicino al DE MARCHI e la VENTURELLI l'assistente cui egli aveva confidato l'incarico, sfociato in una pubblicazione del 1934, di confrontare la realtà aerologica con le teorie norvegesi (cfr. METEOROLOGIA 3).

I più tardi contributi di studio personali del DE MARCHI furono lo scritto *Variazioni di spiaggia in corrispondenza a variazioni di clima* ("Memorie Ist. Geol. Univ. Padova", v. VIII, 1930 e "Geografia", a. XVII, 1931), l'ultima lezione universitaria (Padova 25 maggio 1932) e l'ultima pubblicazione (*Controversie*

glaciali, "Scientia", 1936).

Come inducono a credere anche le premesse dei singoli volumi, furono presumibilmente da lui promosse due fondamentali serie di pubblicazioni del Comitato nazionale per la Geografia: I *Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane*. II *Ricerche sulle variazioni storiche del clima italiano*.

Della prima serie sono stati editi:

1. Dina ALBANI, *Indagine preventiva sulle recenti variazioni della linea di spiaggia delle coste italiane* e A. R. TONIOLO, *Guida questionario per le ricerche locali*, Pisa, 1933, 96 pp.
2. A. D'ARRIGO, *Ricerche sul regime dei litorali nel Mediterraneo* con Prefazione di A. R. TONIOLO, Pisa, 1936; 172 pp.
3. M. ASCARI, L. BACCINO e G. SANGUINETI, *Le spiagge della Riviera Ligure*, Bologna, 1937, 330 pp.
4. M. VISENTINI e G. BORGHI, *Le spiagge padane*, Bologna, 1940, 155 pp.
5. Dina ALBANI, Angiolina GRISELLI e A. MORI, *Le spiagge toscane*, Bologna, 1940, 155 pp.
6. M. ORTOLANI e U. BULI, *Le spiagge marchigiane*, Bologna, 1947, 150 pp.
7. B. SPANO e M. PINNA, *Le spiagge della Sardegna*, Bologna 1956, 252 pp.

Della seconda:

1. G. BRAUN, *Notizie meteorologiche e climatologiche della Venezia Giulia*, (Trieste, Istria e Friuli Orientale), Roma, CNR, 1934, 80 pp.
2. U. MONTERIN, *Il clima sulle Alpi ha mutato in epoca storica?* Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1937; 56 pp.
3. M. VISENTINI, *Le variazioni del regime del Po, come indice di variazione di clima*, Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1939, 10 pp.
4. G. ALGRANATI MASTROCINQUE, *Notizie meteorologiche e climatologiche della Campania*, Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1938; 178 pp.
5. C. FABRIS e A. MELICCHIA, *Contributo allo studio di variazioni della pressione atmosferica dal 1881 al 1930*, Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1938, 92 pp., diagg. tabb.
6. Anna CAPRA, *Variazioni periodiche della temperatura media a Bologna dal 1814 al 1933*, Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1939; 15 pp.

¹¹ Ne dispone comunque la Biblioteca del Congresso a Washington.

7. A. MELICCHIA, *Variazioni climatiche nella pianura Padana e loro rapporti col regime del Po*, Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1940, 142 pp., diag. tavv.
8. A. MELICCHIA, *Variazioni climatiche e variazioni interdiurne della pressione a Venezia (1881-1930)*, Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1940, 27 pp., tabb. tavv.
9. A. MELICCHIA, *Variazioni climatiche nell'Italia Centrale e loro rapporto col regime del Tevere*, Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1942, 200 pp., tabb. figg.
10. U. BULI, *Ricerche climatiche sulle pinete di Ravenna*, Bologna [Ist. Geogr. Univ.], 1949; 80 pp., figg.
11. Anna CAPRA, *Andamento delle precipitazioni a Bologna dal 1813 al 1942*, Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1952, 24 pp., tabb. grafici,
12. M. BIANCHINI, *Il clima di Foggia*, Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1954, 84 pp., tabb. grafici.
13. C. MENNELLA, *L'andamento annuo della pioggia in Italia nelle osservazioni ultrasecolari*, Bologna, [Ist. Geogr. Univ.], 1956, 248 pp., figg. grafici.

L'importante studio del Botanico e Forestale A. GIACOBBE, *Le variazioni della temperatura atmosferica in Italia negli ultimi sessant'anni*, ("Riv. geogr. ital.", a. LXVIII, n. 4, p. 352-366, 1961) si può considerare l'ultimo dovuto all'impulso dato dal DE MARCHI.

Dopo la scomparsa del DE MARCHI diresse le due collane sopra citate A. R. TONIOLO, professore prima a Pisa e poi a Bologna, formatosi alla scuola del DE MARCHI, come testimonia nel volume del 1952 in onore del proprio maestro l'allieva del TONIOLO Dina ALBANI.

3.4 L'Analisi periodale

Nella seconda delle serie appena citate interviene a partire dalla pubblicazione 5 (del 1938) l'*Analisi periodale* o *Cimanalisi* che normalmente è interpretata come tecnica per la ricerca delle periodicità, ma dal suo creatore F. VERCELLI nella Guida per l'*Analisi delle periodicità nei diagrammi oscillanti* (Venezia, Com. Talassogr. ital. Mem. CCLXXXV, 1940, 54 pp.) è presentata piuttosto come un metodo di previsione obbiettiva (cfr. METEOROLOGIA 9), in fondo analogo a quello esposto da F. DEL TRONO nel Supplemento 1969 alla "Riv. Meteorol. aeron.". Di fatto fu impiegata per ricercare cicli con periodo di qualche anno e

fiori più in Italia che altrove. Sebbene sia stata concepita e divulgata a partire dal 1915 (F. VERCELLI, *Analisi armonica dei barogrammi e previsione della pressione barometrica*, "Rendic. Acc. Lincei", s.V., v. XXIV, n. 11, 1915. *Oscillazioni periodiche e previsione della pressione barometrica*, "Mem. Ist. lomb. Sci. Lett", v. XXXI, n. 9, 1916. *Nuovi esperimenti di previsioni barometriche*, "Riv. maritt.", 1923. *Neue Versuche über meteorologische Voraussagen*, "Wetter", n. 10, 1924. *Cimanalisi e applicazioni*, in: SOC. ITAL. PROGR. SCI., *Atti XV Riunione*, 1926. *Metodo generale per l'analisi della periodicità nei diagrammi statistici e sperimentali*, "Rendic. Acc. Lincei", s. VI, vv. XI e XII, 1930. *Analisi delle periodicità nelle curve statistiche e sperimentali*, "Atti Ist. naz. Assicuraz.", v. III, 1931. *Metodi pratici per l'analisi delle curve oscillanti*, "Ric. scientif.", a. V, v. 7, 1934. *Schemi di calcolo per l'analisi dei diagrammi oscillanti*, "Ric. scientif.", v. 11-12, 1937. *Analizzatore meccanico delle curve oscillanti*, in PONTIF. ACCAD. SCIENTIARUM, "Coment.", s. III, n. 19, 1939) e abbia dato la sensazione di riuscire di utilità pratica soprattutto durante la prima guerra mondiale (F. VERCELLI, *Presagi meteorici in rapporto alle operazioni di guerra*, Comando 3^a Armata, 1918) l'Analisi periodale prese piede soltanto verso il 1940. Ne nacque un imponente numero di lavori. Molti di essi contengono notizie utili anche agli studiosi delle variazioni *tout court*:

- S. POLLI, *Analisi periodale di due serie climatiche centennali (Trieste 1841-1940)*, "Archiv. Oceanogr. Sismol.", v. II, n. 2-3, p. 107-115, 1942. Ristampato come: COMITATO TALASSOGRAFICO ITALIANO, Mem. CCXCVIII.
- S. POLLI, *Analisi periodale di una serie pluviometrica bisecolare (Padova 1727-1940)*, "Riv. Met. aer.", v. VIII, n. 1, p. 19-23, 1943.
- S. POLLI, *Analisi periodale delle serie pluviometriche di Mantova*, "Geofis. pura appl.", v. VIII, n. 1-4, p. 16-22, 1945.
- L. BRAMANTI, *Analisi di una serie pluviometrica (Firenze)*, "Geofis. pura appl.", v. VIII, p. 167-179, 1946.
- L. BORETTI e V. DE AMICIS, *Analisi periodale della serie pluviometrica di Genova*, "Geofis. pura appl.", v. XII, n. 5-6, p. 261-285, 1948.
- S. POLLI, *Criteri di realtà fisica per un ciclo climatico*, "Geofis. Meteor.", v. II, n. 3, p. 33-36, 1954.
- S. POLLI, *Analisi periodale di tre serie climatiche centennali (Milano 1851-1950)*, "Geofis. Meteor.", v. III, n. 3, p. 64-69, 1955.
- L. BARBANTI-SILVA e C. DEPIETRI, *La*

- temperatura media diurna a Modena. Valori normali ed analisi statistica*, "Atti Mem. Soc. Sci. Lett. Arti Modena", s. V, v. XII, 1954, 18 pp.
- C. DEPIETRI, *Analisi periodale di 60 anni di misure eliografometriche*, "Atti Semin. mat. fis. Univ. Modena", v. VII, p. 17-21, 1954.
 - L. BARBANTI-SILVA e C. DE PIETRI, *Aspetti statistici dell'andamento della pressione atmosferica a Modena*, "Atti Mem. Acc. Sci. Lett. Arti Modena", s. V, v. XIII, 1955, 18 pp.
 - C. DEPIETRI, *Analisi periodale della serie pluviometrica di Modena, 1830-1954*, "Geofis. Meteor.", v. III, n. 6, p. 140-143, 1955.
 - Id. *Periodicità delle precipitazioni in Italia*, "Atti Soc. Mat. Nat. Modena", v. LXXXIX-XC, 1958, 19 pp.
 - C. DEPIETRI e G. SALTINI, *La radiazione globale a Modena*, "Atti Soc. Nat. Mat. Modena", v. XCVII, p. 17-21, 1966.

3.5 Dendrocronologia

Il primo italiano ad esplorare le possibilità della nuova tecnica, tra il 1926 e il 1929, fu l'ingegnere G. DEL VALLE del Servizio idrografico del Ministero dei Lavori pubblici. Seguirono come abbiamo visto, con una mentalità molto simile a quella originale del DOUGLASS, il VERCELLI e il BULI.

Nell'ambito dei Botanici e dei Forestali la Dendrocronologia fu introdotta da Albina MESSERI, che pubblicò a partire dal 1948. Nel 1958 apparvero i primi studi di E. CORONA, che si può considerare quasi l'apostolo di quella disciplina nel nostro paese e il primo a stabilire una scuola. Nel 1983 riuscì anche a fondare l'Istituto italiano di Dendrocronologia e la rivista "Dendrocronologia" aventi entrambi sede a Verona presso il Civico Museo di Storia naturale.

3.6 Palinologia

Come abbiamo visto, il primo a comprendere l'importanza di questa tecnica ed a sforzarsi di farla conoscere fu il NEGRI. Ben presto G. DALLA FIOR produsse alcuni pregevoli lavori (*Sui primi risultati ottenuti nell'analisi di pollini fossili di due torbiere trentine*, "N. Giorn. bot. ital.", n. s., a. 38, p. 361-362; 1931) e quattro articoli apparsi a partire dal 1932 nelle "Mem. Mus. St. nat. Venezia trident.", v. I, n. 3-4, p.

139-166 e n. 5, p. 235-249 e p. 251-261; v. 3, n. 1, p. 65-86 e v. 5, n. 1, p. 122-176). Peraltro l'effettiva diffusione della Palinologia nel nostro paese si deve prima all'opera di A. CHIARUGI (*Cicli forestali postglaciali nell'Appennino Etrusco attraverso l'analisi pollinica di torbe e depositi lacustri presso l'Alpe delle tre Potenze e il Monte Rondinaio*, "N. Giorn. bot. ital.", n. s., v. V, 43, p. 1-41, 1936. *La vegetazione dell'Appennino nei suoi aspetti d'ambiente e di storia del popolamento montano*, SOC. ITAL. PROGR. SCI. "Atti XXVII Riunione", p. 1-37, 1939. *Le epoche glaciali dal punto di vista botanico*, in: R. FABIANI et al., *Le epoche glaciali*, Roma, Acc. Lincei, Problemi attuali di Scienze e di Cultura, quad. 16, 1950; p. 55-109) e poi alla scuola di Daria BERTOLANI MARCHETTI, la quale ha pubblicato alcune utili rassegne dell'attività in materia ed ha coordinato un'ottima bibliografia palinologica italiana, di 1201 schede, compilata da R. CAMELLO, C. SINISCALCO e V. POLINI ("Webbia", a. 45, n. 2, p. 241-301).

3.7 Attività del Servizio meteorologico dell'Aeronautica

Nel primo venticinquennio di questo dopoguerra l'attenzione dei Meteorologi sui cambiamenti di clima fu tenuta viva soprattutto da un costante interesse nell'ambito del Servizio dell'Aeronautica, indipendente dall'iniziativa per il recupero della climatologia italiana (cfr. CLIMATOLOGIA 3.2) e dalle inchieste dell'OMM per le variazioni climatiche, peraltro piuttosto a livello di curiosità o di desiderio di applicare e sviluppare nuove tecniche statistiche. Gli scritti più vicini al nostro indirizzo di ricerca ci sono sembrati i seguenti:

- F. CASTRIOTA, *Gli inverni molto freddi. Le estati molto calde. Gli inverni caldi. La temperatura della Terra aumenta*, "Riv. Meteor. Aeron.", a. VIII, n. 1, p. 66-67, n. 2, p. 63-64, n. 3, p. 44-45 e p. 52-53, 1948.
- R. BILANCINI, *L'aumento della temperatura della Terra*, "Riv. Meteor. aeron.", a. X, n. 4, p. 3-16, 1950.
- C. TODARO, *Analisi statistica delle temperature medie a Milano di 118 anni*, in ASSOCIAZ. GEOFIS. ITAL. *Atti del XII convegno annuale*, Roma, 1963, p. 343-348, e "Riv. met. aer.", a. XXIII, n. 3, p. 28-32, 1963. *Sull'andamento delle temperature medie estive a Milano*, in: ASSOCIAZ. GEOFIS. ITAL. *Atti del XIII convegno annuale*, 1963, p. 243-245, e "Riv. Meteor. aer.", a. XXIV, n. 2, p. 50-51, 1964 (Una

delle ventiquattro “previsioni climatiche a fondamento scientifico” recensite da H. H. LAMB nel suo classico *Climate: present, past and future* (cfr. 2.7) dove a p. 703 del v. 2 l'autore è indicato come J. COSIMO). *Probabilità e ricorrenza media delle temperature massime annuali a Milano*, “Riv. Met. aer.”, a. XXV, n. 1, p. 36-42, 1965, e in ASSOC. GEOFIS. ITAL, *Atti XVI convegno annuale*, Roma, 1966, p. 257-261. *Contributo alla previsione statistica della temperatura media estiva a Milano*, “Riv. Meteor. aer.”, a. XXVIII, n. 1, p. 51-55, 1968.

- A. GAZZOLA, *Osservazioni sull'evoluzione del clima negli ultimi decenni*, “Riv. Met. aer.”, a. XXVIII, n. 3, p. 62-83, 1968.

Il lavoro per rispondere alle inchieste dell'OMM suscitò altri due articoli pure apparsi sulla “Riv. Meteor. Aeron.” (a. XVII, n. 2, p. 71-73, 1967 e a. XXI, n.3, p. 289-296, 1971): V. CANTÙ e P. NARDUCCI, *Lunghe serie di osservazioni meteorologiche* e V. CANTÙ (*Periodicità e variazioni climatiche. Il punto di vista di un meteorologo*).

3.8 L'affermarsi della Climatologia storica

A imporre la Climatologia storica all'attenzione della cultura nazionale è stato Mario PINNA (Oristano 1923 – Pisa 2001) dell'Università di Pisa con una sintesi vasta ed equilibrata del 1969. *Le variazioni del clima in epoca storica e i loro effetti sulla vita e sulle attività umane*, “Boll. Soc. geogr. ital.”, s. IX, v. X, p. 198-275, 1969) cui seguì nel 1984 *La storia del clima. Variazioni climatiche e rapporto clima-uomo in età postglaciale*, (Roma, “Mem. Soc. geogr. ital.”, v. XXXVI, 264 pp.). Egli è stato stimolato dai convegni di Roma e di Aspen e -supponiamo- dall'opera del LE ROY-LADURIE al pari di altri italiani come C. TRASSELLI (*Studi sul clima e La siccità in Sicilia nel XVI secolo*, “Riv. St. Agricoli.”, 1968 e 1970) e A. PLACANICA, (*Uomini, strutture, economia in Calabria nei secoli XVI-XVIII*, Parte II. *Clima, produzione, rapporti sociali*, Chiaravalle, Catanzaro, 1975).

Importanti lavori più recenti condotti da ambienti che precedentemente erano lontanissimi dalla Climatologia storica sembrano doversi ad esempi stranieri, principalmente ancora a quello del LE ROY-LADURIE e a quello del LAMB.

3.9 Modellisti del Clima

Tra i primi ad impegnarsi nella costruzione di modelli di clima è stato G. VISCONTI, dell'Università dell'Aquila, il quale ha piena coscienza di tutte le insufficienze e le incertezze che ancora affliggono tali modelli e che di recente l'ha manifestata pubblicamente.

Oltre gli Istituti riuniti nell'ISAC (Meteorologia, 21) se ne occupano intensamente l'UCEA, il Servizio Agrometeorologico dell'Emilia-Romagna e l'Osservatorio di Brera. A. NAVARRA, proveniente dall'IMGA (Meteorologia, 21), ha costituito - non senza suscitare qualche malumore - un proprio centro di ricerca nell'ambito dell'Istituto Nazionale di Geofisica, centro specialmente orientato allo sviluppo dei modelli previsionistici.

3.10 Conclusioni e prospettive

Seguire l'attività recente e contemporanea con la relativa accuratezza raggiunta per tempi più lontani è praticamente impossibile perché dal 1967 non si pubblica più una bibliografia meteorologica italiana e la bibliografia mondiale non è più stampata ed è praticamente inaccessibile.

L'Italia manifesta oggi un'attività piuttosto intensa nel settore della Climatologia storica. Temiamo tuttavia che essa per la massima parte nasca dal risveglio di un interesse umanistico latente in molti Fisici e dal desiderio di sviluppare le tecniche statistiche per trattare le serie storiche in altri. Circa il futuro stentiamo ad immaginare un'evoluzione marcatamente più probabile di altre. Ci sembra peraltro verosimile che l'attuale operosità possa seguire la sorte dell'Analisi periodale e risulti alla fine deludente. Siamo convinti che sarebbe più fecondo dedicarsi agli sviluppi teorici che hanno dato origine alla Teoria del Caos oppure alla Meteorologia geografica del nostro paese e alle sue variazioni nel tempo.



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605 - 00143 Roma - Italy
www.ingv.it