

MARIO PINNA

LA CLIMATOLOGIA NELLA SECONDA METÀ DEL SECOLO XX ALCUNI ELEMENTI PER UN RIESAME

1950-75 - VARI FILONI DI RICERCA NELLO STUDIO DEL CLIMA

1. *L'avvento della climatologia sinottica e il rapporto con la meteorologia.* – Alla metà del secolo era già in atto nella nostra disciplina una svolta interessante, un profondo rinnovamento rispetto ai decenni precedenti, originato dalle critiche che alcuni autori avevano espresso nei riguardi della climatologia tradizionale alla vigilia della seconda guerra mondiale. Tra le principali obiezioni che allora venivano rivolte alla scienza del clima vi era anzitutto quella di non tener conto del decorso dei fenomeni meteorologici, ossia dell'evoluzione giornaliera del tempo, e di conservare pertanto un carattere essenzialmente statico. In sostanza, si disapprovava il fatto che gli studiosi del clima ignorassero i progressi realizzati in quel periodo dalla meteorologia sinottica, la quale andava applicando sempre più largamente i principi della teoria norvegese dei cicloni. Anche un altro errore veniva imputato alla climatologia, cioè quello di considerare singolarmente i vari elementi del clima (la temperatura dell'aria, l'umidità, la pressione, ecc.), prescindendo dal tipo di circolazione atmosferica, per cui veniva a mancarle una chiara visione non solo delle connessioni fra questi elementi ma anche e soprattutto di quelle tra ciascuno di essi e la circolazione dell'atmosfera. Le critiche di cui si è appena detto dovevano ben presto dare i loro frutti per il rifiorire della scienza del clima.

E' giusto riconoscere al meteorologo svedese Tor Bergeron il merito di aver compreso appieno la portata di queste obiezioni e di avere smosso la climatologia dalle sue concezioni tradizionali. Egli infatti ha gettato le basi di quella disciplina che dopo di lui doveva chiamarsi *climatologia dinamica* e che si fondava sullo studio delle caratteristiche fisiche delle masse d'aria, nonché sull'evoluzione dei cicloni, degli anticicloni, ecc., come già facevano i meteorologi sia nei loro studi teorici sia nella pratica giornaliera della previsione del tempo (meteorologia sinottica). Questo metodo di studio consi-

dera la massa d'aria come un vero e proprio «ambiente geografico», al cui interno, come ha detto Charles-Pierre Péguy, esiste tra i vari elementi del clima «une interconnexion, une sorte d'organisation structurale qui pourrait effectivement servir de fondement à une climatologie régionale» (Péguy, 1970, p. 326). Di quest'ultima fa parte anche lo studio dei tipi di tempo e dei sistemi di circolazione (aventi un certo grado di persistenza cronologica), sia nella frequenza con cui essi si presentano nella regione presa in esame, sia nel loro succedersi durante il corso delle stagioni.

Anche alcuni geografi che da qualche tempo seguivano con interesse la meteorologia sinottica si erano convinti che certi suoi concetti fondamentali dovessero entrare nella climatologia geografica al fine di rendere più vivaci e più realistiche le descrizioni climatiche regionali (Pinna, 1955 e 1964). A tale riguardo pare ora opportuno rilevare che numerosi autori avevano contestato la denominazione di climatologia dinamica, preferendo quella di *climatologia sinottica*, più adatta, secondo il loro giudizio (da me ora condiviso), a caratterizzare il contenuto di questa disciplina, ossia lo studio della relazione fra la circolazione atmosferica e l'origine dei climi locali e regionali. Essi quindi proponevano di riservare la denominazione di «climatologia dinamica» allo studio e alla spiegazione della circolazione atmosferica generale. Questo punto di vista è espresso in maniera molto chiara nel *Glossary of Meteorology* della Società Meteorologica Americana (American Meteorological Society, 1951, pp. 184 e 562), nel quale sono contenute le due definizioni che seguono. Per la prima delle due discipline: «*Dynamic Climatology* – The climatology of atmospheric dynamics and thermodynamics; a climatological approach to the study and explanation of atmospheric circulation». Per la seconda: «*Synoptic Climatology* – The study and analysis of climate in terms of synoptic weather information, principally in the form of synoptic charts». La distinzione è molto razionale, non vi è dubbio, ma è mia impressione che essa si sia affermata solo dopo l'inizio degli anni '60. Da quel momento in poi i geografi e i meteorologi usano quasi sempre l'espressione «climatologia sinottica»; per portare un esempio, si può dire che anche nell'ottimo trattato di Blüthgen e Weischet (1980, cap. III) si parla di *Synoptische Klimageographie*.

Il secondo cinquantennio del secolo, dunque, vede al suo inizio affermarsi, nell'ambito della cultura geografica, la grande novità della climatologia sinottica, la cui diffusione era stata invece ostacolata negli anni precedenti, dapprima dalla situazione bellica e subito dopo dalle difficoltà che hanno caratterizzato l'immediato dopoguerra. Ma anche dopo il superamento di questi delicati momenti storici, la nuova climatologia si è imposta meno rapidamente di quanto si potesse sperare, sia perché allora non era facile reperire il materiale documentario necessario per questi studi, dato che erano ancora poco numerose (almeno fino alla metà degli anni '60) le stazioni meteorologiche che effettuavano le osservazioni sinottiche, sia perché vi era stata una forte resistenza da parte di molti geografi, che temevano un'eccessiva specializzazione degli studi climatologici. Vi è però da notare, come ha

fatto Ch.-P. Péguy, che dopo gli inizi promettenti, la generalizzazione di questo metodo di studio del clima aveva urtato contro varie difficoltà pratiche e teoriche, soprattutto per il fatto che si è voluto applicarlo a scale territoriali molto diverse e sempre più ridotte: da spazi regionali di 2-4 mila km² al solo territorio circostante una stazione di osservazione (50-100 km²), con evidenti forti differenze nella disponibilità di dati. Tuttavia anche in questo campo è intervenuto l'ausilio di razionali metodi statistici per il trattamento dei dati provenienti dalle osservazioni meteorologiche, compresi quelli relativi alla dinamica atmosferica. In sostanza, si era compreso che unendo allo studio climatologico-dinamico un'indagine statistica raffinata estesa anche a vari aspetti della dinamica atmosferica sarebbe stato possibile giungere ad attenuare le posizioni contrastanti tra «les partisans d'une "climatologie séparative" et d'une "climatologie dynamique"», poiché le loro posizioni «paraissent aujourd'hui être dépassées par les conditions de travail actuelles, et notamment l'emploi des ordinateurs» (Péguy, 1970, p. 328). Se ciò era vero negli anni '60 e '70, quando gli elaboratori cominciavano a diffondersi, lo è tanto più oggi che tali strumenti di lavoro hanno avuto ovunque una diffusione eccezionale.

In sostanza, il passo verso lo studio dinamico del clima era ormai compiuto, per cui non solo si fecero sempre più frequenti gli studi impostati su queste nuove vedute, ma non mancarono neppure degli sforzi per giungere a una classificazione dei climi su base dinamica: tentativi del genere furono compiuti dai tedeschi M. Hendl e H. Flohn, dal russo B. Alissov e da altri. Tra le opere di orizzonte regionale fondate sui principî della climatologia sinottica spicca in ambito europeo l'elegante saggio di P. Pédelaborde *Il clima del bacino di Parigi* (1957), mentre fra i manuali che impostano lo studio del clima sull'esame della dinamica atmosferica è da ricordare almeno l'eccellente volume *Synoptic Climatology*, redatto dai geografi R.G. Barry e A.H. Perry (1973).

Si può dire dunque che tra la fine degli anni '50 e la metà del decennio successivo la climatologia sinottica (dinamica) sia entrata nella cultura e nella ricerca dei climatologi-geografi. I quali peraltro, non diversamente dai loro colleghi meteorologi, non abbandonarono mai lo studio delle medie care alla vecchia climatologia, ritenendole assai preziose per mettere in evidenza certe sfumature del clima regionale altrimenti non rilevabili, ossia certe *facies* di dettaglio che avrebbero potuto sfuggire alle maglie troppo larghe di uno studio condotto soltanto sulle basi della dinamica atmosferica. Lungi dunque dal contrapporre una «climatologia classica», fondata soltanto sull'esame dei valori medi, a una «climatologia moderna», basata unicamente sulla dinamica dell'atmosfera, i geografi-climatologi e i meteorologi stabilirono il principio secondo cui la moderna climatologia dovesse essere statistica e sinottica insieme.

Un'ultima annotazione. Come si può constatare dalle due definizioni del *Glossary*, ma soprattutto dalla prima, al termine climatologia viene dato il significato di «sintesi», di «studio sintetico». Questo fatto si spiega tenendo pre-

sente che nel corso degli ultimi decenni sono stati sempre numerosi (e lo sono ancor oggi) gli studiosi i quali non considerano la climatologia come una disciplina autonoma (con propri fini e metodi), staccata dalla meteorologia, ma soltanto come il «momento sintetico» di questa scienza, tanto che i temi di studio di cui si occupano i climatologi – secondo il loro giudizio – potrebbero essere contenuti in alcuni capitoli finali di un buon trattato di meteorologia. In altri termini, la distinzione fra quest'ultima e la climatologia sarebbe del tutto ingiustificata e perfino suscettibile di generare errori ed equivoci.

In questo punto di vista vi è una buona dose di verità. Potremmo dire che il concetto di clima come sintesi del tempo – *Climate, the synthesis of weather*, come dice C.S. Durst nel *Compendium of Meteorology* (American Meteorological Society, 1951, p. 967) – e le stesse grandi classificazioni del clima sono dei risultati cui gli specialisti sono pervenuti con uno sforzo di sintesi in cui hanno compendiato unicamente elementi e fenomeni meteorologici. Non vi è dubbio. Tuttavia è lo stretto collegamento con i caratteri fisici e biologici della superficie terrestre (il clima come realtà condizionata dai caratteri naturali del pianeta e d'altra parte il clima come fattore condizionante di fatti e fenomeni della superficie terrestre) che giustifica la trattazione dei temi della climatologia in un *corpus* separato, il quale ha poi finito per acquisire una propria individualità e una propria autonomia. Nel concludere, potremmo anche sostenere la tesi che la questione dell'autonomia o meno della climatologia non ha, in fondo, una grande importanza. Poiché vi è certamente in tutti gli studiosi la consapevolezza che i concetti di base di cui si occupa la climatologia sono derivati dalla meteorologia, e poiché tutti riconoscono che quest'ultima scienza rimane il fondamento e il nucleo essenziale di riferimento per lo studio dell'atmosfera, non vi è nulla di strano che un certo numero di ricercatori si dedichino in modo specifico alle tematiche relative al clima, nonché al reciproco rapporto tra clima e ambiente terrestre, e ne facciano il proprio campo di specializzazione.

2. *Lo studio del clima su basi fisico-matematiche.* – Gli anni '60 saranno ricordati nella storia della meteorologia perché hanno fatto registrare nel dominio di questa disciplina dei progressi grandissimi, che ovviamente erano destinati a riflettersi in breve tempo nello studio del clima. In quel decennio infatti i meteorologi hanno visto accrescersi in misura del tutto insperata le loro possibilità di indagare a fondo i processi atmosferici per tre ragioni principali: anzitutto, il lancio dei primi satelliti meteorologici, che hanno fornito, insieme con molti dati scientifici, anche immagini o sequenze di immagini di certi fenomeni della dinamica atmosferica, aprendo prospettive sorprendenti fino a quel momento inconcepibili; in secondo luogo, l'invenzione e il perfezionamento continuo degli elaboratori elettronici, che hanno consentito di effettuare calcoli assai complessi in tempi brevissimi, rendendo possibile in tal modo l'impiego di modelli matematici; infine, l'effetto di retroazione positiva venuto a stabilirsi tra conoscenze teoriche e impiego delle

nuove strumentazioni: queste ultime, infatti, mettendo a disposizione degli studiosi dell'atmosfera un'enorme quantità di dati e di informazioni, hanno accelerato i progressi della meteorologia sul piano teorico, progressi che a loro volta hanno consentito di trarre maggiore profitto da quei mezzi di indagine e di calcolo.

La climatologia, dunque, si è fortemente avvantaggiata di questi cospicui progressi della scienza dell'atmosfera; e anzi si può dire che dalla metà degli anni '60 alla metà del decennio seguente essa ha conosciuto un ampliamento dei suoi orizzonti così forte come mai era accaduto in precedenza. Infatti, accanto alla climatologia regionale, più familiare ai geografi, che poco tempo prima si era arricchita dei principî della meteorologia sinottica, è venuta delineandosi una nuova branca, altamente specializzata, che si sforza di padroneggiare in modo unitario (e globale) tutta la fenomenologia meteo-climatica del pianeta. E' stata proprio l'utilizzazione delle informazioni e dei dati forniti dai satelliti che ha consentito di gettare le basi di questa nuova climatologia, basata sullo studio sistematico (e sistemico) della circolazione atmosferica generale, che tende a interpretare i meccanismi di fondo da cui hanno origine i singoli climi. Si tratta in realtà di una vera e propria «meteorologia matematica», ossia di una meteorologia basata sempre più sulla fisica e realizzata attraverso modelli matematici di atmosfera, con i quali la scienza attuale tende da un lato a formulare previsioni sull'evoluzione del tempo con un anticipo anche di 15-20 giorni, e dall'altro a penetrare nel profondo i rapporti esistenti fra l'atmosfera e la superficie terrestre, per poter chiarire (tenendo conto ovviamente anche dei fenomeni radiativi) i meccanismi di formazione dei climi. Si potrebbe definire questo nuovo campo di ricerca «climatologia globale».

Essa si è sviluppata soprattutto nell'ultimo ventennio del secolo dopo aver tratto un forte impulso dallo studio di due fenomeni particolarmente importanti e ancora poco conosciuti: da un lato gli episodi collegati con *El Niño*, che sembrano rivelare periodiche modificazioni del sistema degli alisei e che alterano l'assetto della circolazione atmosferica nelle basse latitudini, e dall'altro le variazioni correlate di pressione tra il Pacifico occidentale e quello centrale, la *Southern Oscillation*, già individuata da Walker nella prima metà del secolo. Oggi questi due fenomeni vengono studiati congiuntamente, onde si parla di fenomenologia El Niño-Southern Oscillation (*Enso*). Qualunque sia la causa fondamentale (in prima analisi sono stati invocati dei processi di interazione fra oceano e atmosfera), è certo che le sue conseguenze hanno una portata veramente globale: quando *Enso* esplica tutta la sua azione, si hanno variazioni sensibili nei parametri climatici in varie parti del mondo, come temperature piuttosto elevate nel Sudamerica, negli Stati Uniti di nord-ovest e nell'Europa occidentale; precipitazioni scarse negli Stati Uniti di sud-ovest, variazioni, rispetto alla norma, della posizione dell'anticiclone delle Azzorre nell'Atlantico nord-orientale, ecc. *Enso*, insomma, è uno dei fenomeni più affascinanti che la scienza dell'atmosfera abbia mai affrontato e di cui ora essa cerca di scoprire non solo i vari meccanismi del suo manifestarsi ma anche le sue cause più profonde.

Teoria generale dei sistemi e modelli. Lo studio dei fenomeni di cui si è appena detto ha indotto la climatologia, durante gli anni '70, a far propri i principî fondamentali e la filosofia di fondo della «teoria generale dei sistemi» (TGS). Alcuni studiosi infatti, partendo dal presupposto che il clima non dipende soltanto dall'atmosfera ma anche dagli oceani e dalla superficie solida della Terra, hanno ritenuto che si dovessero considerare queste singole entità fisiche come componenti di un unico sistema, appunto il «sistema climatico». Esse sono, in sostanza, l'*atmosfera*, l'involucro gassoso, con i suoi aerosol, che circonda la Terra, l'*idrosfera*, comprendente le acque continentali, i mari e gli oceani, la *litosfera*, costituita dalle rocce e dai suoli della superficie terrestre, la *criosfera*, in cui includiamo tutte le aree coperte da nevi e ghiacci, la *biosfera*, cioè il mondo delle piante e degli animali in stretta relazione fra loro, e infine l'*uomo* stesso, con la sua straordinaria capacità di modificare i caratteri ambientali del pianeta. Come ha detto W. Lawrence Gates in una interessante relazione da lui svolta a Ginevra, nel 1979, in occasione della Prima Conferenza Mondiale del Clima (relazione nella quale per la prima volta appare l'espressione «sistema climatico»), questa nuova visione del clima prevede che qualsiasi modificazione intervenga in una sola delle sue componenti si ripercuote sull'intero sistema, il quale reagisce portando a una continua, seppur lentissima, variazione del proprio assetto globale. In sostanza, questo insieme di elementi si può considerare come un sistema fisico unico, il cui comportamento è soggetto ai mutamenti di certe condizioni esterne, come la quantità di radiazione solare che giunge sulla Terra, e di altre interne, come la distribuzione delle terre e dei mari, dei ghiacci e dello stesso rilievo terrestre. Tutte queste condizioni, esterne e interne, sono mutate considerevolmente nel corso dell'evoluzione geologica del pianeta (ma anche nella pur breve era quaternaria), esercitando un'influenza decisiva sulle variazioni del clima in tempi geologici e storici.

Gli specialisti delle scienze dell'atmosfera affrontano lo studio sistemico del clima per comprendere le ragioni di fondo di tali variazioni, sia di quelle compiutesi in passato sia di quella attualmente in corso. Nei loro studi essi si servono di modelli fisico-matematici relativi ai caratteri stabili della circolazione atmosferica generale, per cercare di comprendere i meccanismi essenziali del funzionamento della macchina atmosferica. In questa ricerca, almeno in un primo approccio di sintesi, si ignorano tutte le particolarità a micro e mesoscala al fine di avere un'immagine unitaria dell'evolvere dei fenomeni a scala planetaria; ma una volta raggiunta tale conoscenza (naturalmente nella consapevolezza dell'alto grado di aleatorietà in cui si opera), si cerca di dedurre i comportamenti climatici veri e propri, e cioè in primo luogo la distribuzione della temperatura e delle precipitazioni. In questi modelli si inseriscono i caratteri essenziali dell'atmosfera a vari livelli (ad esempio, al suolo, a 500 e a 300 hPa, o a un maggior numero di livelli quando si vuole ottenere un dettaglio maggiore nei risultati), l'energia solare in arrivo e la controradiazione dovuta al sistema climatico, l'albedo delle aree continentali, dei mari e delle zone ricoperte da nevi e ghiacci, il rilascio e l'assorbimento

di calore sensibile (oceani con la loro circolazione interna, calotte polari), l'attrito superficiale e l'influenza delle grandi catene montuose (soprattutto se di direzione meridiana) sulla circolazione atmosferica. Naturalmente, la quantità di elementi iniziali sarà tanto maggiore quanto più profonda è la conoscenza dei fatti che si intende ottenere.

Una volta inseriti nel modello (che si imposta con l'ausilio di grandi elaboratori elettronici) tutti questi elementi e le leggi fisiche fondamentali alle quali obbediscono i fenomeni atmosferici, si ottiene quel quadro d'insieme della dinamica atmosferica che si voleva appunto compendiare; ma è anche possibile – aggiungendo o togliendo qualche parametro o variandone i valori numerici – avere un'idea dell'evoluzione nel tempo dei più importanti elementi del clima nelle condizioni ipotizzate dal modello stesso. Con questi aggiustamenti non solo si riesce a migliorare la bontà del modello attraverso il confronto con le condizioni reali, ma si può anche conoscere quali modificazioni intervengono quando si abbia un cambiamento nelle condizioni di partenza: ad esempio, inserendo i dati attuali relativi all'effetto serra, si può prevedere o almeno ipotizzare quali saranno le condizioni climatiche della Terra (o anche delle singole fasce di latitudine) per una concentrazione dell'anidride carbonica che arrivi a 400 o anche a 500 parti per milione, oppure nel caso in cui l'albedo terrestre dovesse mutare in maniera sensibile per l'intensificarsi del processo di desertificazione dei continenti o dell'espansione (o riduzione) delle aree ricoperte da nevi e ghiacci. Le debolezze di fondo delle indagini con i modelli sono ben note agli stessi studiosi che le conducono. E' qui sufficiente accennare alla difficoltà di stabilire perfettamente le condizioni iniziali (quelle di un dato anno, ad esempio il 1960), essendovi la possibilità che pur con una differenza molto piccola in qualche parametro climatico della condizione iniziale si giunga alla fine a risultati profondamente differenti l'uno dall'altro, come E.N. Lorenz ha potuto dimostrare. Per tali ragioni gli stessi modellisti, che pure si impegnano di continuo a perfezionare i loro metodi di calcolo, presentano i risultati delle loro proiezioni con estrema cautela. Questi tentativi di previsione, d'altra parte, sono molto utili, per cui non è realistico pensare che la scienza possa rinunciarvi, venendo meno al proprio dovere di perseguire fini di conoscenza pura e di fornire il suo costante sostegno alle attività dell'uomo.

Possiamo dunque dire che la concezione sistemica del clima non solo ha aperto nel campo della climatologia importanti prospettive di ricerca, ma ha pure affermato due presupposti del tutto nuovi per i geografi: da un lato ha inglobato nel sistema climatico quei singoli ambienti (la crosta terrestre, le acque, ecc.) che in precedenza la climatologia considerava non come «elementi» (ossia componenti) del clima bensì come «fattori», o cause esterne, capaci solo di influenzare in qualche modo la fenomenologia atmosferica; dall'altro ha potuto riconoscere che esistono importanti interconnessioni fra tali componenti entro l'unità del sistema. Mettere in evidenza i vantaggi che la scienza del clima ha ricavato dall'avvento di questa nuova teoria è giusto, ma è pure lecito aggiungere che l'importante innovazione rappresentata dal-

la concezione sistemica, se è di essenziale importanza negli studi di climatologia globale, risulta di minor ausilio nelle indagini climatologiche di ambito locale o regionale. Si è infatti delineata tra questi due filoni di ricerca una netta dicotomia, che solo una forte preparazione culturale, unita alla piena consapevolezza della comunità di intenti, permetterà di superare.

3. *I più importanti programmi internazionali di ricerca sul clima.* – A partire dalla fine degli anni '70 gli organismi internazionali hanno dato un forte impulso allo studio sistematico del clima e della sua evoluzione. Queste ricerche sono state suggerite dalla constatazione di fondo che l'uomo sta modificando in maniera sensibile non solo la composizione dell'atmosfera, ma anche i caratteri della superficie terrestre attraverso la deforestazione di estese aree e la desertificazione. Questi fenomeni, che hanno origine dalla cattiva gestione delle risorse naturali, potrebbero avere conseguenze molto gravi per l'avvenire dell'umanità. Una volta subentrata nel mondo scientifico tale consapevolezza, l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) è subito scesa in campo con due importanti iniziative: l'organizzazione della Prima Conferenza Mondiale sul Clima (*World Climate Conference*, Ginevra, febbraio 1979) e il varo di un grandioso programma di ricerche climatologiche esteso a tutto il mondo. Invero tale ciclo di studi, denominato «Programma Mondiale del Clima» (*World Climate Programme*, WCP), è stato promosso, sempre nel 1979, in collaborazione dalla WMO con l'UNESCO e con l'ICSU (International Council of Scientific Unions) e ha come scopo «to determine to what extent climate can predicted and the extent of man's influence on climate».

Queste ricerche, che nel loro insieme investono i quattro ambienti essenziali del nostro pianeta, ossia l'atmosfera, gli oceani, la criosfera e le terre emerse con i loro sistemi idrici superficiali e profondi, si articolano su cinque temi principali: *a*) la circolazione oceanica e il suo ruolo sul clima (Progetto *World Ocean Circulation Experiment*, WOCE); *b*) i flussi globali di energia e il ciclo dell'acqua in natura (Progetto *Global Energy and Water Cycle*, GEWEX); *c*) i processi stratosferici e la loro influenza sul clima (Progetto *Stratospheric Processes and their Role in Climate*, SPARC); *d*) il sistema climatico artico e il suo ruolo nel bilancio di calore della superficie terrestre (Progetto *Arctic Climate System Study*, ACSYS); infine, *e*) particolarmente importante, «The study on Climate Variability and Predictability in an attempt to understand and predict climate variability and climate change on time-scales of a month to a century including anthropogenic effects» (Progetto *Climate Variability and Predictability*, CLIVAR) (Cronqvist, 1997, p. 46).

L'Unione Europea ha avviato un grande programma pluriennale per lo studio sistematico del clima e dell'ambiente, avendo di mira questi tre obiettivi principali: anzitutto comprendere i processi fondamentali che sono all'origine del cambiamento ambientale; in secondo luogo rendere più affidabili le periodiche valutazioni delle conseguenze antropiche del cambiamento climatico e ambientale; infine, perfezionare la rete di controllo e di monitoraggio ai fini di una più razionale gestione dei rischi naturali. Per

quanto riguarda in particolare la ricerca climatologica, il programma dell'Unione Europea intende raggiungere questi obiettivi: conseguire una più profonda conoscenza e una più chiara descrizione dei processi che stanno alla base del sistema climatico; migliorare i modelli climatici integrandoli con questa conoscenza più puntuale del sistema stesso; ricostruire la variabilità e le variazioni recenti del clima (dal secolo scorso) allo scopo di rendere più attendibili le stime sull'evoluzione futura del clima; infine, valutare gli effetti più importanti del mutamento climatico sulle risorse naturali, per poter apprezzare adeguatamente la capacità dell'ambiente di resistere all'impatto sia delle attività umane sia del mutamento climatico (Commissione Europea, 1994, pp. 15-29). Altri subprogrammi prevedono lo studio della riduzione dello strato di ozono e della chimica della stratosfera, indagini sulla fisica e la chimica della troposfera, e così via. Tutte queste ricerche vengono condotte in stretto rapporto con quelle promosse dalla WMO e con il programma del «Global Change», che qui subito viene ricordato.

Le più note riviste di geografia hanno dato informazione dei progetti di cui si è fatto cenno promossi dagli organismi internazionali e dall'Unione Europea. I geografi però seguono con interesse anche gli studi condotti nel quadro del grande programma del «Global Change». Questo ciclo di indagini, che si definisce *International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change* (IGBP), è stato promosso dall'ICSU in collaborazione con la Commissione Europea e con alcuni enti promotori della ricerca scientifica della Svezia e della Norvegia. Il suo obiettivo fondamentale è: «to describe and understand the interactive physical, chemical and biological processes that regulate the total Earth system, the unique environment that it provides for life, the changes that are occurring in this system, and the manner in which they are influenced by human actions». I fenomeni che investono l'atmosfera sono oggetto di attenzione di vari programmi, tra i quali è di particolare rilevanza lo *International Global Atmospheric Chemistry Project* (Progetto IGAC), che riguarda in modo specifico la contaminazione dell'atmosfera e che viene condotto in stretta collaborazione con il WCP e in particolare con il progetto SPARC (Cronqvist, 1997, pp. 5 e 24).

Nel concludere, mi pare opportuno auspicare che i periodici resoconti sugli avanzamenti della ricerca scientifica in tutti i campi nei quali si indaga – il discorso vale per il WCP, per le ricerche europee e per il «Global Change» – siano portati a conoscenza dei geografi nel più breve tempo possibile, mediante pubblicazioni accessibili a questa comunità di studiosi.

4. *Gli studi di ambito regionale e locale.* – Nei primi tre decenni di questa seconda metà del secolo sono stati assai numerosi, in ogni paese, gli studi sulla distribuzione spazio-temporale della temperatura e delle precipitazioni, gli elementi meteorologici considerati come i più importanti per definire le condizioni del clima. In questo filone di studi penetra ben presto il concetto di *evapotraspirazione potenziale* (Etp) che era stato proposto pochi anni prima (Thornthwaite, 1948); pertanto da quel momento in poi la temperatura e

le precipitazioni vengono studiate sia per cogliere i caratteri essenziali del clima, sia per calcolare il bilancio idrico di territori più o meno vasti, ma di solito geograficamente ben delimitati (come un bacino idrografico). Il metodo di Thornthwaite è stato impiegato anche per ottenere una nuova classificazione dei climi del pianeta, che in alcuni trattati è stata affiancata a quella di Köppen. Numerosi sono stati poi gli autori che hanno preso per base il concetto di Etp per giungere all'individuazione di vari tipi di clima entro spazi regionali o statali. Il successo di questo metodo si è accresciuto grandemente dopo che lo stesso Thornthwaite, in collaborazione con Mather, ha fornito precisi ragguagli e tabelle numeriche per un più accurato calcolo del bilancio idrico (Thornthwaite e Mather, 1957). Tali studi hanno avuto grande fortuna sia tra i geografi climatologi sia tra gli specialisti di studi idrologici.

La climatologia ha ricevuto un notevole impulso anche da certe nuove acquisizioni nel vasto orizzonte delle scienze naturali. In particolare, dopo l'introduzione in queste ultime del concetto di ecosistema e dopo la sua applicazione nello studio di quegli ambienti, più e meno estesi ma in larga misura autosufficienti, nei quali la natura realizza i suoi equilibri ecologici, la climatologia di ambito locale e regionale ha potuto offrire una preziosa collaborazione con indagini sul bilancio termico e idrico.

Infine, occorre ricordare che in questa seconda metà del secolo si è verificato un notevole sviluppo della microclimatologia, intesa come studio delle caratteristiche fisiche degli strati d'aria più vicini al suolo. Invero, agli inizi si era discusso se il «microclima» dovesse essere quello qui appena indicato o piuttosto il clima di un'area molto ristretta nello spazio, entro la quale l'indagine può diventare estremamente minuziosa. Tale contrasto di opinioni è riflesso, fra l'altro, nel trattato di climatologia di Ch.-P. Péguy (I ediz., 1961) e in un articolo di Sorre dello stesso anno (Sorre, 1961); ne ha poi fatto cenno anche Joachim Blüthgen nel suo trattato e l'argomento è ripreso nell'edizione del 1980 completata e aggiornata da Wolfgang Weischet. Senza entrare nei dettagli, che qui non ci sembrano necessari, possiamo dire che dopo l'evoluzione di pensiero avutasi negli anni successivi, oggi distinguiamo due campi di studio diversi, ma molto vicini e strettamente collegati tra loro, la microclimatologia e la topoclimatologia. Usiamo il termine «microclimatologia» per indicare lo studio degli strati atmosferici più bassi, come dice il «Glossary» americano: «*Microclimatology* – The study of microclimate. It includes the study of profiles of temperature, moisture and wind in the lowest stratum of air, the effect of vegetation and shelterbelts, and the effect of towns and buildings in modifying the macroclimate» (American Meteorological Society, 1959, p. 369). E' vero peraltro che l'indagine sull'azione modificatrice delle città sui caratteri dell'atmosfera si è organizzato in quella disciplina specifica che è la climatologia urbana, della quale si farà cenno nelle pagine successive. Il termine «topoclimatologia» ha avuto una diversa evoluzione. Esso era stato introdotto nella letteratura scientifica dal geografo Charles Warren Thornthwaite, nel 1953, per indicare lo studio del clima di un'area assai piccola (Thornthwaite, 1953; si veda anche Yoshino, 1975, p. 6). Successiva-

mente quel termine è emerso in Germania per indicare in modo specifico lo studio di un clima locale (di una valle, un versante montano, ecc.) dominato dall'influenza dell'orografia e della morfologia. Invero in Germania era comparsa prima la dizione «Geländeklima» (Knoch, 1949) e solo in seguito quella di «Topoklima». La distinzione fra microclimatologia e topoclimatologia si è affermata in modo definitivo negli ultimi vent'anni. E' interessante infine rilevare che nei due campi di studio di cui ora abbiamo trattato si sono distinti soprattutto studiosi europei, tra i quali ricordiamo A. Defant (sono ben noti i suoi studi sulle correnti aeree nelle valli montane), H.H. Lettau, L. Prandtl, R. Geiger, F. Pasquill, A.M. Obukov e altri.

5. *Si sviluppano tre importanti settori specializzati: la climatologia storica, la climatologia urbana e la bioclimatologia umana.* – Il venticinquennio 1950-1975 non ha fatto registrare soltanto dei grandi progressi nelle conoscenze di fondo della climatologia, e nella stessa concezione del clima, ma ha anche visto lo sviluppo di alcune branche specializzate, che hanno polarizzato le preferenze degli studiosi molto più di quanto fosse accaduto in tempi passati. Questi campi di studio sono la climatologia storica, la climatologia urbana e la bioclimatologia umana.

La climatologia storica. Per lungo tempo gli specialisti delle scienze della Terra avevano studiato con grande attenzione le variazioni climatiche verificatesi nel Quaternario antico (Pleistocene), che si erano manifestate con l'alternarsi di grandi glaciazioni e di periodi caldi interglaciali, mentre avevano rivolto minore attenzione ai mutamenti di minore ampiezza avvenuti nell'Olocene, dopo il grande ciclo glaciale würmiano. Tale stato di cose derivava dal fatto che a coltivare gli studi sui climi del passato erano soprattutto i geologi e i glaciologi; un notevole interesse per queste ricerche, invece, vi era stato anche nei botanici. Non sorprende quindi che per lungo tempo, nella prima metà del secolo, fosse largamente diffusa la convinzione, anche tra le persone di buona cultura (ma non tra gli specialisti delle scienze dell'atmosfera), che il clima fosse costante; più precisamente lo si considerava mutevole e perfino infido entro i limiti di un decennio o poco più, ma stabile nel lungo periodo. La scienza ufficiale però era ben consapevole che il clima è soggetto a un costante cambiamento, tanto più che certe discipline, come la glaciologia, la botanica e le scienze forestali, avevano già riunito importanti testimonianze di mutamenti del clima avvenuti in età postglaciale e perfino in età moderna e contemporanea. Questi studi si sono intensificati dopo l'inizio della seconda metà del secolo.

Quando ormai erano state raccolte molte prove di tali variazioni, vennero indette due importanti riunioni scientifiche, a breve distanza l'una dall'altra, che si possono considerare come il momento iniziale, in questo secondo cinquantennio, delle indagini sistematiche nel campo della storia del clima: il congresso sui mutamenti climatici organizzato a Roma nel 1961 congiuntamente dall'UNESCO e dal WMO e il colloquio tenutosi nel 1962 ad Aspen,

Colorado, a cura della Società Meteorologica Americana, ma limitato a un ristretto numero di specialisti e avente come tema specifico di studio i climi dell'XI e del XVI secolo (sul primo: UNESCO-WMO, 1963; sul secondo: Le Roy Ladurie, 1967 e 1972). Queste due riunioni di scienziati, ma particolarmente la seconda, hanno segnato una vera e propria svolta nel campo della storia del clima, non solo per aver stimolato un'intensificazione delle ricerche, ma anche (e soprattutto) per avere inaugurato la collaborazione fra scienziati e umanisti. Infatti, mentre in precedenza questi studi erano coltivati prevalentemente da geologi, glaciologi e botanici, come si diceva qui sopra, dopo l'inizio degli anni '60 accanto a questi studiosi sono scesi in campo i meteorologi, i geografi e gli storici. Poco meno di vent'anni dopo il convegno di Aspen, quando le ricerche sui mutamenti climatici si erano sempre più estese, sia in Europa sia negli Stati Uniti, si è tenuto nell'Università della East Anglia, nella sede della prestigiosa Climate Research Unit, diretta dal noto climatologo Hubert H. Lamb, un congresso altrettanto importante (Norwich, luglio 1979) che ha fatto il punto sulle conoscenze conseguite e ha dato nuovo impulso alle ricerche storico-climatiche. Gli Atti sono apparsi due anni dopo (Wigley, Ingram e Farmer, 1981). E' nata così la «climatologia storica» o «paleoclimatologia dei tempi storici e preistorici», il cui scopo è quello di ricostruire con il maggior dettaglio possibile tutta la storia climatica dell'età postglaciale, che è di importanza essenziale per conoscere i mutamenti intervenuti nel paesaggio naturale del nostro pianeta durante gli ultimi venti millenni. Alcuni autori hanno inserito in ogni fase climatica ben riconosciuta anche quei fatti rilevanti della storia umana nei quali si è ritenuto di intravedere l'azione del clima (ad esempio, tendenza all'aridità e migrazioni di alcuni popoli; riscaldamento del clima e popolamento delle zone subartiche, ecc.), perché quegli eventi umani sono prova e conseguenza insieme del mutamento del clima.

Tra le fasi climatiche verificatesi negli ultimi 1500 anni e già riconosciute con certezza dalla scienza sono da ricordare: un «periodo caldo medioevale», dall'800 al 1200, una «piccola età glaciale» dal 1550 circa al 1850 (Grove, 1988) e un «periodo caldo posteriore al 1850», tuttora in atto. In questi ultimi decenni numerosi specialisti hanno rivolto particolare attenzione proprio a questa variazione climatica iniziata verso la metà del XIX secolo (l'attuale tendenza verso l'aumento della temperatura media), perché è la prima che sia stata individuata e rilevata direttamente mediante registrazioni strumentali; ma anche la prima, oggi possiamo aggiungere, che sia stata determinata da cause umane, precisamente dal progressivo inquinamento dell'atmosfera, che ha avuto inizio nei primi tempi della rivoluzione industriale. Per tale ragione gli studi sull'evoluzione del clima che sono stati condotti in questa seconda metà del XX secolo hanno finito per intrecciarsi da un lato con quelli riguardanti la contaminazione dell'atmosfera e dall'altro con quelli compiuti dai climatologi modellisti al fine di prevedere fin d'ora l'evoluzione futura del clima: queste proiezioni verso il prossimo secolo, in sostanza, nascono anch'esse dalla preoccupazione della scienza per il deterioramento che sta subendo la nostra atmosfera giorno dopo giorno.

La climatologia urbana. Per quanto non abbia raggiunto la diffusione ormai conseguita dalla storia del clima, la climatologia urbana ha avuto pur essa un vivace sviluppo dopo il 1950. Molti climatologi infatti hanno studiato con grande attenzione le modificazioni dei parametri climatici e degli stessi fenomeni dinamici propri degli strati più bassi dell'atmosfera provocate dalle città di grandi dimensioni e a maggior ragione dalle aree metropolitane. Tali modificazioni non riguardano soltanto la temperatura dell'aria, il grado di umidità e così via, ma anche la composizione chimica dell'aria: in questo caso si tratta di vera e propria contaminazione, dovuta all'immissione nell'atmosfera di numerose sostanze estranee che la città e le industrie producono. L'inquinamento atmosferico, appunto, rappresenta una caratteristica particolare del clima urbano, e anche la più significativa per individuare un clima della città nettamente distinto da quello delle aree agricole circostanti.

Le ricerche finora condotte su città europee e americane hanno messo bene in evidenza anche l'importanza dell'innalzamento della temperatura media, che in certi casi può essere dell'ordine di $2^{\circ}\text{--}3^{\circ}\text{C}$ rispetto alla media generale del territorio. L'incremento termico, che è più marcato nei giorni lavorativi (quando tutti gli abitanti sono in sede e lavorano), rimane percettibile anche in quelli festivi (quando le industrie sono ferme e molti cittadini si trovano nei luoghi di vacanza). Data questa situazione, i climatologi considerano la città come una vera e propria «isola di calore» (*urban heat island*). Studi su Parigi e Londra hanno permesso di identificare bene sia i limiti di quest'area, sia l'entità delle differenze termiche rispetto alle campagne. Per le precipitazioni le modificazioni apportate dagli agglomerati urbani appaiono meno evidenti, perché non si è ancora riusciti a dimostrare che le aree estesamente edificate provochino sempre un aumento della pioggia, come alcuni vorrebbero e come in effetti si è notato in qualche caso. Tale incremento peraltro può avere almeno due buone ragioni: anzitutto nell'ambito delle zone urbanizzate i moti convettivi sono più intensi che in campagna, proprio per il maggiore riscaldamento degli edifici e delle strade, e inoltre nell'atmosfera sovrastante i centri urbani vi è sempre una maggiore quantità di nuclei di condensazione, una circostanza che risulta assai propizia alla formazione non solo della nebbia (e dello smog) ma anche delle precipitazioni. Premesso che le condizioni locali possono giocare un ruolo diverso a seconda dei casi, rimane l'auspicio che le prossime ricerche possano dare risposte definitive a questo importante problema.

La bioclimatologia umana. Tale disciplina, che in passato era conosciuta come «climatologia medica», e che per i temi di cui si occupa si fa risalire all'insegnamento di Ippocrate, ha conosciuto alterne vicende nel corso degli ultimi cento anni. Verso la fine dell'Ottocento e ancora nei primi decenni del nostro secolo, quando la climatologia generale aveva già realizzato sensibili progressi, essa rimaneva legata a molte delle antiche nozioni e a non poche affermazioni non dimostrate. Per tali ragioni e per il fatto che molti dei suoi cultori con deprecabile disinvoltura troppo spesso trasforma-

vano in vero rapporto di causalità delle semplici correlazioni di tipo statistico tra eventi meteorologici e certe patologie, quel corpo di conoscenze aveva suscitato numerose critiche, dapprima da parte degli studiosi dell'atmosfera e poi degli stessi esponenti della scienza medica. Durante la prima metà del secolo però è cominciato il suo rinnovamento, soprattutto per merito di scienziati anglosassoni.

Negli ultimi tre-quattro decenni, dopo che in questo campo hanno cominciato a cimentarsi anche studiosi non provenienti dalle facoltà mediche, la bioclimatologia umana (la denominazione di climatologia medica rimane, ma è sempre meno usata) ha conosciuto una grande espansione che l'ha imposta all'attenzione di tutti i climatologi. Oggi i cultori di tale disciplina hanno ben compreso che la ricerca di correlazioni significative tra meteorologia e patologia ha le sue esigenze, fatte di umiltà e di grande rigore metodologico, perché solo in tal modo è possibile conseguire risultati di alto interesse senza staccarsi mai dal piano strettamente scientifico. A favorire lo sviluppo della bioclimatologia dopo il 1950 (e soprattutto dopo il 1960) ha contribuito in grande misura l'improvviso emergere della problematica ambientale, che ha portato in primo piano il tema dei rapporti tra l'uomo e l'ambiente, considerato in tutti i suoi aspetti. Da quel momento alcune discipline da tempo coltivate ma caratterizzate da un blando ritmo evolutivo hanno conosciuto uno slancio sorprendente, suscitando l'interesse di un gran numero di ricercatori. E' questo anche il caso della bioclimatologia umana. Nel corpo delle scienze mediche lo studio delle relazioni reciproche fra società umane e quadri naturali di vita ha offerto l'occasione per gettare le basi di una «medicina ambientale», di cui la climatologia medica può essere considerata come una parte integrante. E' ovvio infatti che nell'ambito della tematica relativa alla protezione (e al miglioramento) dell'ambiente una conoscenza più profonda delle relazioni tra fatti climatici e salute umana, tra clima e malattie, riveste particolare importanza per assicurare un'alta qualità della vita in qualsiasi territorio e per proteggere e accrescere sempre più la salute degli uomini.

Non mi soffermo a descrivere le basi metodologiche sulle quali poggia oggi questa disciplina, avendone già trattato in un articolo apparso pochi anni addietro (Pinna, 1993). Ritengo invece di dover rilevare che nella seconda metà del secolo essa ha visto accrescersi il suo prestigio internazionale, come dimostrano questi due fatti importanti: da un lato che nella Prima Conferenza Mondiale del Clima (Ginevra 1979) tra i grandi temi del convegno sia stato inserito anche quello relativo al rapporto tra clima e salute dell'uomo e dall'altro che un autorevole sodalizio scientifico, la Società Internazionale di Bioclimatologia e Biometeorologia, si sia assunto il compito di favorire gli scambi di esperienze fra studiosi di tutti i paesi, pubblicando un periodico assai qualificato, dal titolo «International Journal for Biometeorology». Gli specialisti italiani della disciplina però seguono con viva attenzione anche gli studi del gruppo di lavoro francese Climat et Santé, guidato dall'attivo geografo Jean-Pierre Besancenot. Questa *équipe* pubblica la rivista «Climat et Santé. Cahiers de Bioclimatologie et Biométéorologie Humaines», che costi-

tuisce una fonte assai preziosa per tutti coloro che si dedicano a tali studi. Merita di rilevare infine che non sono mancati i tentativi di pervenire a una classificazione dei bioclimi nel mondo sulla base di indici bioclimatici più o meno complessi. In questo sforzo si è distinto il climatologo americano W. H. Terjung.

DOPO IL 1975: LA CLIMATOLOGIA E LE ESIGENZE DELLA VITA UMANA

6. *Lo studio del clima in funzione delle attività economiche e della problematica ambientale.* – Agli inizi degli anni '80 gli studiosi Charles-Pierre Péguay e Jean-Pierre Marchand (1982; ma anche il precedente Marchand, 1981) in Francia ed Ezio Rosini in Italia mettevano in evidenza, in maniera del tutto indipendente, come la climatologia tradizionale (di ambito regionale o nazionale) andasse sempre più orientandosi verso le finalità applicative, in supporto delle attività economiche dell'uomo. I due autori francesi, a tale proposito, parlano di una «climatologie à visage humain». Questa tendenza invero si inquadrava in un movimento più ampio delineatosi tra la fine degli anni '60 e gli inizi del decennio successivo, quando all'interno della cultura scientifica si erano verificati importanti rivolgimenti, che non potevano non investire anche il campo della nostra disciplina. Il fatto essenziale da ricordare è che in quel periodo venne stringendosi sempre più il legame tra scienza e attività economiche. Per quanto riguarda in particolare il nostro campo di studi, si erano fatte sempre più pressanti le richieste di conoscenze climatiche da parte di certe attività fortemente legate alle vicende del tempo e del clima, dato che i loro continui sviluppi, se da un lato le rendevano economicamente più efficienti, dall'altro ne accrescevano la dipendenza dalle leggi della competizione produttiva. Tali esigenze non potevano essere soddisfatte da descrizioni qualitative o da semplici tabelle di dati, ma richiedevano elaborazioni particolari, adatte alle specifiche utilizzazioni agricole, industriali, urbanistiche, turistiche e così via. Si sentì insomma il bisogno di sviluppare delle climatologie finalizzate.

Le organizzazioni culturali internazionali, come l'UNESCO e la WMO, hanno dato il loro appoggio a questa tendenza generale, che si può definire della «cultura a servizio dell'uomo», con lo scopo principale di fornire un valido aiuto a tutti i paesi sia nella lotta contro le avversità climatiche sia nei programmi di sviluppo economico, particolarmente delle aree arretrate.

Uno dei settori in cui la climatologia è stata chiamata, in questo caso direi sollecitata, a sostenere le attività umane è quello della lotta contro le calamità di origine atmosferica. Come è noto, nelle zone temperate, in quelle monsoniche e in altre parti del nostro pianeta non sono rare le precipitazioni di forte intensità che generano violente alluvioni, così da compromettere le colture e numerose altre opere umane, spesso in modo intensamente devastante. Secondo una valutazione dell'UNEP, infatti, di tutte le catastrofi naturali, come eruzioni vulcaniche, terremoti, maremoti e alluvioni, queste ultime da sole costituiscono almeno il 40% del totale e provocano in proporzione

un numero di vittime ancora maggiore. Pertanto gli organismi internazionali, e in particolare la WMO, hanno suggerito ai servizi meteorologici nazionali di accelerare le ricerche concernenti il rapporto tra clima e idrologia e di imprimere a esse una particolare specializzazione in merito all'influenza degli eventi estremi sugli ecosistemi naturali, sulle aree coltivate e sulle opere umane più vulnerabili da quei fenomeni. Ciò è stato fatto in numerosi paesi. Data l'importanza di queste conoscenze, è auspicabile che dall'insieme delle specializzazioni già conseguite (non solo sul tema dei rapporti tra clima e idrologia ma anche tra clima e lotta contro l'inquinamento atmosferico) possa delinearsi una sorta di climatologia applicata operativa, capace di ricavare da quelle esperienze gli elementi che possono essere più utili per la soluzione di problemi concreti.

Per ciò che riguarda il rapporto tra scienze dell'atmosfera e sviluppo economico, è sufficiente ricordare i due episodi che seguono.

Nel 1973 la WMO festeggia il suo primo secolo di vita con una solenne cerimonia; nelle allocuzioni pronunziate in tale circostanza è stata messa bensì in evidenza la complessità dei fenomeni atmosferici, ma si è sottolineata soprattutto la necessità di studiare l'azione del clima sull'uomo e sulla sua economia. In uno di quei discorsi lo studioso belga E. Bernard ha detto: «Fino a epoca recente la meteorologia era sinonimo di fisica dell'atmosfera. Oggi essa è la scienza dell'ambiente atmosferico umano, e le sue applicazioni mirano al miglioramento del benessere dell'umanità». Parole assai esplicite, non vi è dubbio. Sei anni più tardi la WMO è l'ente organizzatore della Prima Conferenza Internazionale sul Clima, che qui è stata già ricordata. Ebbene, tra le mozioni espresse in tale convegno vi è stata anche quella di considerare con particolare attenzione «le caratteristiche di certe società che le rendono particolarmente vulnerabili, o al contrario resistenti, ai mutamenti e alla variabilità del clima» (Péguy e Marchand, 1982, p. 188). In altri termini, esistono certamente dei condizionamenti che il clima, con la dinamica che gli è propria, impone alle società umane, ma è possibile contrastare le ripercussioni negative sulle attività economiche con una precisa conoscenza sia del clima, sia della realtà geografica del territorio.

Le attività dell'uomo strettamente legate al clima sono numerose, come a tutti è ben noto, ma in questa seconda metà del secolo sono emersi in primo piano i rapporti tra clima ed economia dell'energia. Con la ricostruzione dell'immediato dopoguerra e con lo sviluppo industriale degli anni '60 il consumo energetico fa registrare un incremento eccezionale, toccando punte che sembravano irraggiungibili. Tuttavia la crisi petrolifera del 1973 porta nel mondo occidentale un grande choc non solo economico ma anche psicologico. Si ripongono allora grandi speranze nel nucleare, ma ben presto sorgono quelle difficoltà che tutti ricordano, compresa l'opposizione di una gran parte della popolazione nei riguardi di questa pericolosa fonte di energia. L'entusiasmo quindi si sposta verso le cosiddette «energie naturali rinnovabili» (solare, eolica, di biomassa, geotermica), tanto che i meteorologi vengono subito mobilitati, anche in Italia, per la ricerca e lo studio dei siti più adatti per gli

impianti solari e per quelli eolici. Poco tempo dopo però si è potuto accertare che tali impianti (tutti molto costosi) non possono avere una resa molto alta e che quelli eolici, in particolare, hanno limiti di impatto negativo sull'ambiente (forte rumorosità e insulto all'estetica del paesaggio). Gli entusiasmi poi si sono placati quando gli specialisti di studi sulla biomassa e i geologi esperti di geotermia hanno affermato che anche quelle fonti di energia avrebbero potuto dare un contributo molto piccolo al consumo energetico nazionale. Nel fare il loro bilancio complessivo, gli studiosi italiani di economia dell'energia, dopo aver consigliato l'opinione pubblica e il governo a non rinunciare del tutto alle fonti naturali rinnovabili, hanno calcolato che esse, nell'insieme, non potrebbero fornire più del 3-4% del fabbisogno totale.

Anche una delle attività più tipiche del nostro tempo, il turismo, esige una buona conoscenza del clima. Nel settore del turismo montano e invernale occorre conoscere la durata del gelo, la durata del manto nevoso, ecc., per poter investire somme cospicue negli impianti sportivi o nelle strutture ricettive; per il turismo marino, la durata delle temperature medie diurne al di sopra di una certa soglia, il numero dei giorni piovosi e i valori dell'umidità relativa rivestono un'eguale importanza. Non è il caso di soffermarci sul tema del rapporto fra precisa conoscenza delle condizioni climatiche e pratica dell'agricoltura, trattandosi di un tema del tutto ovvio; e del resto vi è in quasi tutti i paesi una meteorologia agraria che provvede a queste ricerche. Tuttavia in questa sede è da esprimere almeno l'auspicio che ulteriori studi climatici e geografici possano aiutare gli abitanti della Russia, dell'India e della Cina a contrastare nel modo più efficace le periodiche crisi di siccità che colpiscono quelle regioni.

Giova rilevare peraltro che se esiste un'influenza, ora positiva ora negativa, del clima sulle attività umane, esiste pure un'azione di direzione opposta, decisamente negativa e dunque da combattere, che procede da certe attività economiche verso il clima. Questa azione è l'inquinamento. Ed è ovvio che anche per lottare contro questo male diventa necessaria una più puntuale conoscenza del clima e della scienza del clima. Tale constatazione induce ad affermare che in questa seconda metà del secolo anche l'emergere della problematica ambientale ha fatto sentire il suo peso sulla climatologia. Oggi vi è un interesse crescente, non solo in sede scientifica ma anche politica, per i molti rischi e danni che l'uomo provoca a se stesso attraverso un anarchico uso dell'ambiente e delle sue risorse; ed è da questa consapevolezza che sono scaturiti i primi seri provvedimenti per combattere l'inquinamento atmosferico. A tale riguardo è sufficiente ricordare due momenti assai significativi: la Conferenza Mondiale sull'Ambiente, tenutasi a Rio de Janeiro nel giugno del 1992, e la Conferenza Mondiale sul Clima, che si è svolta a Berlino nel marzo-aprile del 1995. A Rio sono stati approvati due documenti, la Convenzione sul Clima e L'Agenda 21 per la protezione dell'atmosfera contro ogni forma di inquinamento (compresa la salvaguardia dello strato di ozono), mentre a Berlino si è stabilito di varare al più presto un programma mondiale per la riduzione delle emissioni di anidride carbonica, di cui sono

ben noti gli effetti negativi. Oggi dunque è di dominio comune il fatto che il clima costituisce una parte essenziale dell'ambiente, e che esso, se alterato, può diventare un fattore peggiorativo delle nostre condizioni di vita. Pertanto la scienza del clima (con l'apporto di altre discipline) si è rivolta a studiare i vari tipi di alterazione dell'atmosfera, la loro intensità e le loro conseguenze. E' nata così una «climatologia ecologica», che si sforza di approfondire tali problemi per poi cercare di suggerire i rimedi più razionali da apportare. Dai risultati di questi studi dipenderanno le linee generali delle politiche nazionali e internazionali di protezione ambientale.

La preoccupazione degli organismi internazionali per la contaminazione dell'atmosfera e le conseguenti variazioni climatiche è testimoniata dalla creazione dello Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), avvenuta nel 1988, per iniziativa di due agenzie delle Nazioni Unite, ossia la WMO e il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP): si tratta di un gruppo di ricerca che ha il compito di esaminare il mutamento climatico in tutti i suoi aspetti fisici, nella sua possibile evoluzione e nelle conseguenze che esso può avere in vari campi, compreso il quadro biologico. Fin dalla prima riunione il Panel ha indirizzato i suoi lavori in tre direzioni: *a*) lo studio delle basi scientifiche del cambiamento climatico, affidato al Gruppo di lavoro n. 1 (WG, 1); *b*) la valutazione delle conseguenze di tale cambiamento (WG, 2); *c*) l'elaborazione di strategie di risposta da adottare per ridurre i rischi, adattarsi al cambiamento e limitare i danni (WG, 3). Il primo incontro di valutazione delle attività dei diversi gruppi si è svolto a Washington nel 1990 e ne sono scaturiti tre rapporti, uno per ciascun gruppo, costituenti i documenti di base, che vengono aggiornati periodicamente (all'incirca ogni due anni) (1).

Pur non aggiungendo altre considerazioni, si può ben dedurre da quelle appena esposte che in questa seconda metà del secolo la climatologia ha dovuto accogliere il principio secondo cui *il clima rappresenta una vera e propria risorsa economica*, della quale occorre saper utilizzare nel miglior modo tutte le potenzialità positive, e che la precisa conoscenza del clima costituisce uno degli strumenti con cui l'uomo trae profitto dal mondo naturale o con cui si difende da esso; ma è anche vero che quella scienza considera *il clima come una risorsa da salvaguardare* in tutta la sua integrità, data l'es-

(1) Particolarmente importanti dal punto di vista scientifico sono stati i lavori del WG, 1 che ha fatto il punto sul problema delle emissioni inquinanti, sugli scenari previsti per il prossimo secolo e sulle conoscenze attuali dello stato del clima a scala globale e regionale. Tra i temi studiati dal WG, 2 il problema che desta maggiore preoccupazione è quello relativo alla previsione dell'innalzamento del livello dei mari, poiché tale fenomeno avrebbe conseguenze gravissime anche e soprattutto in termini economici e sociali. Infine il WG, 3 ha proposto delle strategie di risposta, che vengono discusse anche al fine di dare contenuto alla convenzione quadro sui cambiamenti del clima (adottata nel 1992 nel vertice di Rio de Janeiro su «Ambiente e Sviluppo»); ma su tali strategie l'accordo appare ancora molto difficile, malgrado le buone enunciazioni di principio.

Le informazioni qui riportate sull'IPCC mi sono state fornite dal collega e amico Michele Colacino, direttore dell'Istituto di Fisica dell'Atmosfera (IFA) del CNR. Gli giungano da qui i miei più vivi ringraziamenti.

senziale (e ben nota) funzione che esso svolge non solo per l'uomo ma per tutta la biosfera. In sostanza, i climatologi sono oggi pienamente consapevoli non solo della tendenza al pragmatismo che di recente ha investito la loro disciplina, ma anche dell'importanza e della delicatezza che hanno assunto i loro studi: ciò è vero, perché dal punto di vista antropico *oggi tutta la climatologia è climatologia ecologica*.

7. *La climatologia con fini applicativi si fonda oggi su più razionali basi statistiche.* – Il passaggio della climatologia a una impostazione più rigorosamente scientifica rispetto al passato, sia nei lavori aventi fini di ricerca pura sia in quelli finalizzati alla soluzione di problemi concreti, non ha cancellato dalle sue basi la definizione di clima che veniva data in epoca precedente e che qui è stata riportata all'inizio (il clima come «sintesi dell'evoluzione giornaliera del tempo»); ha però imposto l'adozione di più avanzati strumenti statistici per il lavoro del climatologo.

La natura del clima, come è noto, è fisica e statistica, inscindibilmente. Che sia fisica non può esservi alcun dubbio. Poiché l'atmosfera è un corpo materiale, è ovvio che i suoi comportamenti sia a breve periodo (stati atmosferici e loro successione; meteorologia) sia a lungo periodo (stati climatici e loro successione; climatologia) debbano essere soggetti alle leggi della fisica. Altrettanto certo, anche se meno evidente nei suoi aspetti sostanziali, è il fondamento statistico, se è vero che il clima di una località o regione si può definire – con le parole di Ezio Rosini, che si ispira a precedenti affermazioni di Cosimo Todaro – come «la totalità degli stati atmosferici, ciascuno con il proprio peso di frequenze, che in un lungo periodo si verificano in quella località o regione, stati che sono quantitativamente espressi dall'insieme dei parametri e misure atti a definirli».

L'Organizzazione Meteorologica Mondiale definisce convenzionalmente il clima, dal punto di vista operativo, come la situazione media dell'atmosfera risultante dall'elaborazione dei dati di osservazione di un trentennio. Partendo da questo presupposto, ci sembra giusto da un lato definire «stato climatico» di un trentennio l'insieme dei dati relativi a quel periodo (come vuole la WMO) e dall'altro indicare con l'espressione «clima attuale» lo stato climatico dell'ultimo trentennio. Todaro, precisando la sua definizione di clima, afferma che esso deve essere considerato come una trama di fondo sopra la quale si susseguono le situazioni meteorologiche reali giorno dopo giorno e anno dopo anno; in termini più chiari è la matrice che genera volta per volta quelle situazioni. Si può dunque dire che il clima è rappresentato dalla collettività dei dati e delle situazioni meteorologiche cui quella matrice dà esistenza nei singoli giorni e nei singoli anni, e che a esso si può risalire solo analizzando tale collettività. Ponendo il quesito «*Consecutio* tempo-clima o clima-tempo?», Todaro sostiene che in tempi non lunghi, «a scala umana», come egli dice, è valido il primo dei due casi, mentre «a misura di madre Natura» lo è il secondo, proprio per le ragioni appena esposte. Le sue argomentazioni appaiono convincenti. Invero, molti studiosi di vari paesi hanno di-

scusso in questa seconda metà del secolo sull'essenza e sull'origine del clima, ma non è qui il caso di soffermarci sulle varie opinioni, poiché quei lavori sono facilmente reperibili nelle normali bibliografie.

Senza dunque rinunciare a considerare anche i fenomeni essenziali della dinamica atmosferica e anzi proprio per padroneggiarli nel loro ricorrere su un dato luogo o regione, la statistica moderna offre strumenti molto avanzati. Si ricorda intanto che prendendo come base un trentennio e supponendo che il clima rimanga nel corso del tempo sempre stabile (ma è noto che non è così), si parte dal presupposto che il trentennio di osservazioni registrate rappresenta soltanto un campione statistico realizzato fra i tanti possibili, e tra loro diversi solo per l'intervento del caso. Pertanto appare più realistico considerare l'insieme dei dati rilevati nel trentennio considerato non come il clima, unico e definito, di quella località o regione ma come un campione statistico del clima vigente in quel trentennio. Tale differenza non è solo di ordine concettuale, ma ha anche i suoi riflessi nella concezione delle statistiche climatologiche da offrire agli utilizzatori: non più le tradizionali medie ricavate direttamente, e con calcoli elementari, dai dati ripresi dalle osservazioni meteorologiche, ma indicazioni probabilistiche riguardanti la distribuzione delle frequenze dei vari parametri climatici. Tutto ciò conduce a ridimensionare l'importanza dei valori medi e degli estremi assoluti, e a sostituirli con le distribuzioni verosimili di frequenza; particolarmente utili sono poi i valori di frequenza espressi come periodi medi di ritorno in anni. Ciò consente l'uso dei dati climatologici per il calcolo del «rischio climatico» come probabilità del verificarsi di un evento dannoso in un determinato periodo di tempo. A tale riguardo sono molto utili anche i cosiddetti «calendari delle probabilità» introdotti nella climatologia da Péguy una ventina di anni addietro (Péguy, 1976).

Nel campo della geografia questa tendenza si è imposta in brevissimo tempo. Un grande impulso allo studio delle realtà climatiche regionali mediante l'ausilio dei moderni metodi statistici di cui si è appena fatto cenno si è avuto infatti nel corso degli anni '70, quando nel mondo della geografia e delle scienze naturali si è realizzata, con sorprendente rapidità, la diffusione delle matematiche applicate. Meritano di essere qui ricordate le linee di ricerca che da allora si sono affermate: *a*) un indirizzo facente capo alla *cluster analysis*, che si propone di individuare attraverso un esame puramente statistico le zone che sono omogenee da un punto di vista prefissato (termico, pluviometrico, climatico generale, ecc.); i risultati di tali elaborazioni, che possono essere sintetizzati con particolari grafici chiamati «dendrogrammi» e che vengono poi raffrontati con quelli ottenuti mediante l'impiego di altri metodi di individuazione e classificazione di tipi regionali, si presentano molto spesso di grande utilità nei progetti di pianificazione territoriale. La *cluster analysis* però viene impiegata anche per impostare delle classificazioni climatiche a grande scala; *b*) una linea di ricerca volta all'individuazione delle probabilità degli estremi, ad esempio dei valori termici, ossia degli estremi di caldo e di freddo, dato che la conoscenza di tali probabilità è molto utile in vari campi, come la bioclimatologia e la meteorologia agraria;

altrettanto vale per le precipitazioni di massima intensità, che rivestono particolare importanza per il calcolo del rischio delle alluvioni e quindi per la progettazione di opere idrauliche fluviali. Possiamo qui trascurare altri indizi che hanno avuto, rispetto ai due precedenti, un minore sviluppo.

8. *Una breve annotazione finale: i geografi dinanzi alla nuova climatologia.* – Esposti, in sintesi, i più significativi avanzamenti compiuti dalle scienze dell'atmosfera nella seconda metà del XX secolo, pare doveroso porre il quesito: quali reazioni hanno suscitato all'inizio queste nuove acquisizioni nei geografi impegnati nello studio del clima?

Bisogna riconoscere che quelle novità hanno colto impreparati numerosi specialisti di geografia fisica e che in qualche caso li hanno perfino disorientati. Alcuni di essi si convinsero che la loro tradizionale preparazione geografico-naturalistica fosse ormai inadeguata per intraprendere le nuove vie della ricerca; a loro avviso, insomma, i progressi compiuti dalla scienza dell'atmosfera erano stati così rapidi e i mutamenti così profondi che il geografo difficilmente avrebbe potuto dare, in tema di clima, nuovi contributi importanti. Questa visione pessimistica delle cose però non è stata largamente condivisa. Nessuno infatti ha mai pensato di lasciare definitivamente il compito di studiare i climi del pianeta ai soli meteorologi in quanto ricercatori dotati di una maggiore preparazione fisico-matematica; sempre, in passato, la collaborazione tra questi studiosi e i geografi era stata proficua proprio in virtù della diversa estrazione culturale e della diversa mentalità. Invero il distacco del geografo dalla scienza del clima non è neppure pensabile, dato che egli ha l'obbligo di proseguire nei suoi studi di climatologia (ma anche di bioclimatologia, di climatologia urbana, ecc.) sia per fini di pura conoscenza scientifica, sia per acquisire quella cultura di base che gli è indispensabile per affrontare ricerche di idrologia, di geomorfologia e di glaciologia, discipline palesemente geografiche, che esigono una buona conoscenza non solo del clima ma anche della storia climatica. Questa cultura di base è poi necessaria al geografo per lo studio dell'ambiente e di tutta la complessa problematica relativa alla protezione ambientale.

Del resto sorregge il geografo-climatologo la consapevolezza di aver dato in questo secolo contributi essenziali alla conoscenza dei caratteri naturali della superficie terrestre: le grandi classificazioni sintetiche del clima, ossia l'articolazione del nostro pianeta in grandi regioni climatiche (la classificazione di W. Köppen, anzitutto, ma anche quelle di H. von Wismann, di A. Hettner e di altri), le classificazioni fondate sulle idee della climatologia sinottica, l'introduzione del concetto di evapotraspirazione potenziale, per fare solo alcuni esempi significativi, sono contributi che i geografi hanno consegnato non solo alla climatologia ma alla scienza in generale.

E' vero peraltro che nel decennio '70 i geografi climatologi avevano riconosciuto due cose importanti: da un lato che nel campo della climatologia globale delineatosi poco tempo prima sarebbero rimasti pur sempre dei temi di studio riservati a ricercatori aventi una maggiore preparazione nel campo

della fisica e della matematica; dall'altro che per essi si poneva la necessità di rafforzare le proprie conoscenze nel dominio della matematica e della statistica per poter comprendere e affrontare adeguatamente molti dei nuovi problemi aperti nella scienza dell'atmosfera. Questo nuovo orientamento si è affermato abbastanza presto (precisamente nell'epoca in cui sono apparse le geografie quantitative), tanto che già alla fine degli anni '70 le principali riviste di geografia, come «Annals of the Association of American Geographers» o «Progress in Physical Geography», hanno cominciato a pubblicare articoli di climatologia e di altre branche del sapere geografico corredati da formule matematiche e in generale impostati su un certo linguaggio formalizzato. Invero, una più consistente preparazione in campo matematico-statistico si rendeva necessaria anche per far fronte alla nuova tendenza che in quel periodo andava affermandosi in seno alla climatologia, ossia lo studio del clima in supporto di molte attività economiche dell'uomo, proprio la tendenza della quale nei paragrafi che precedono sono stati illustrati gli aspetti maggiormente significativi (*).

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, *Compendium of Meteorology*, a cura di MALONE T.F., Boston, Mass., 1951.
- AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, *Glossary of Meteorology*, a cura di HUSCHKE R.E., Boston, Mass., 1959.
- BACH W., *Our threatened climate*, Dordrecht, Reidel, 1984.
- BACH W., PANKRATH J. e WILLIAMS J., *Interactions of energy and Climate*, Dordrecht, Reidel, 1980.
- BACH W., PANKRATH J. e WILLIAMS J., *Food-Climate Interactions*, Dordrecht, Reidel, 1981.
- BARRY R.G., *Recent Advances in Climate Theory Based on Simple Climate Models*, in «Progress in Phys. Geogr.», Londra, 1979, pp. 119-131.
- BARRY R.G. e PERRY A.H., *Synoptic Climatology*, Londra, Methuen, 1973.
- BERTALANFFY (von) L., *General System Theory*, New York, Braziller, 1968 (traduz. ital. *Teoria generale dei sistemi*, Milano, ISEDI, 1971).
- BESANCENOT J.-P., *La géographie face à l'étude des relations climat-santé. Premiers résultats et pistes de recherche*, in «Climat et Santé», Digione, 1989, pp. 1-18.
- BESANCENOT J.-P., *Pour une approche géographique des risques climatopatologiques*, in «Ann. de Géogr.», Parigi, 1995, pp. 360-375.

(*) Lo scopo del presente articolo (come già il titolo lascia intuire) non è quello di tracciare un quadro esauriente dell'evoluzione della climatologia negli ultimi cinquant'anni, ma solo quello di fornire alcuni elementi (che spero utili), alcune informazioni, provenienti soprattutto dall'ambiente dei geografi, che un altro climatologo o uno storico della scienza potranno utilizzare per costruire una puntuale storia della nostra disciplina nel XX secolo.

- BLÜTHGEN J. e WEISCHET W., *Allgemeine Klimageographie*, Berlino, De Gruyter, 1980 (terza ediz.).
- BRUNET R., *Systèmes et approche systématique en géographie*, in «Bull. Ass. des Géogr. Français», Parigi, 1979, pp. 399-407.
- CHANDLER T.J., *London's Urban Climate*, in «Geogr. Journ.», Londra, 1962, pp. 279-298.
- CHANDLER T.J., *Selected Bibliography on Urban Climate*, Ginevra, WMO, 1970 («Techn. Note», 155).
- CHEN R.S., BOULDING E. e SCHNEIDER S.H., *Social Science Research and Climate Science*, Dordrecht, Reidel, 1983.
- CHORLEY R.J., *Models in Geography*, Londra, Methuen, 1967.
- CNRS, *Carte climatique détaillée de la France au 1/250.000* (sotto la direzione di PÉ-GUY Ch.-P.), Parigi, Ophrys, 1971 e segg.
- COMMISSIONE EUROPEA, *Ambiente e clima 1994-1998. Programma di lavoro*, Bruxelles, 1994.
- CRONQVIST L.W. (a cura di), *IGBP Directory 1977*, Stoccolma, 1997.
- DA POZZO C., *Teoria generale dei sistemi e geografia*, in «Riv. Geogr. Ital.», Firenze, 1982, pp. 191-220.
- D'ARGE R.C., *Climat et activité économique*, in OMM/WMO, *Conférence Mondiale sur le Climat*, Ginevra, 1979, pp. 320-336.
- DURAND-DASTES F., *La notion de système et la circulation atmosphérique*, in «Bull. Ass. des Géogr. Français», Parigi, 1979, pp. 391-398.
- ESCOURROU G., *Le climat et la ville*, Parigi, Nathan, 1991.
- ESCOURROU P., *Les critères d'étude de la bioclimatologie humaine*, in «Climat et Santé», Digione, 1989, pp. 21-31.
- GATES W.L., *La base physique du climat*, in OMM/WMO, *Conférence Mondiale sur le Climat*, Ginevra, 1979, pp. 74-87.
- GROVE J.M., *The Little Ice Age*, Londra, Methuen, 1988.
- HOUGHTON J.T. (a cura di), *The Global Climate*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1984.
- HUFTY A., *Propos sur la climatologie*, in «Ann. de Géogr.», Parigi, 1981, pp. 428-444.
- KALKSTEIN L.S., *Bioclimatological Research. The Issue of Climatic Sensitivity*, in «Phys. Geogr.», Washington, 1991, pp. 274-286.
- KNOCH K., *Die Geländeklimatologie, ein wichtiger Zweig der angewandten Klimatologie*, in «Berichte zur Deutschen Landeskunde», Lipsia, 1949, 7, pp. 115-123.
- LAMB H.H., *Climate: Present, Past and Future*. I, *Fundamentals and Climate Now*, Londra, Methuen, 1972; II, *Climatic History and Future*, ibid., 1977.
- LANDSBERG H.E., *City Climate*, in LANDSBERG H.E. (a cura di), *General Climatology*, Amsterdam, Elsevier, 1981.
- LE ROY LADURIE E., *Le climat depuis l'an Mil*, Parigi, Flammarion, 1967.
- LE ROY LADURIE E., *Times of Feast, Times of Famine: A History of Climate Since the Year 1000*, Londra, Allen and Unwin, 1972 (traduz. ital.: *Tempo di festa, tempo di carestia. Storia del clima dall'anno Mille*, Torino, Einaudi, 1982).

- MARCHAND J.-P., *Climatologie science humaine*, in «Informatique et Sciences Humaines», Parigi, 1981, 48, pp. 43-57.
- MOUNIER J. e PAGNEY P., *Climats et satellites*, in «Ann. de Géogr.», Parigi, 1982, pp. 273-300.
- PAGNEY P., *Réflexions à propos d'un projet d'atlas mondial des bioclimats humains*, in «Climat et Santé», Digione, 1991, pp. 7-24.
- PEDELABORDE P., *Le climat du Bassin Parisien. Essai d'une méthode rationnelle de Climatologie physique*, 2 voll., Parigi, Genin, 1957.
- PEGUY Ch.-P., *Précis de Climatologie*, Parigi, Masson, 1970 (seconda ediz.).
- PEGUY Ch.-P., *Une nouvelle expression graphyque de la variabilité interannuelle des climats: les «calendriers de probabilités»*, in «Bull. Ass. des Géogr. Français», Parigi, 1976, pp. 5-16.
- PEGUY Ch.-P. e MARCHAND J.-P., *Climatologie et Culture*, in «L'Espace Géogr.», Parigi, 1982, pp. 185-195.
- PINNA M., *Climatologia dinamica e geografia*, in «Boll. Soc. Geogr. Ital.», Roma, 1955, pp. 143-152.
- PINNA M., *La climatologia come disciplina geografica*, in «Cultura e Scuola», Roma, 1964, pp. 129-137.
- PINNA M., *Climatologia*, Torino, UTET, 1977.
- PINNA M., *Su due importanti congressi internazionali di climatologia (Ginevra 12-13 febbraio 1979, e Norwich 8-14 luglio 1979)*, in «Boll. Soc. Geogr. Ital.», Roma, 1979, pp. 677-684.
- PINNA M., *La storia del clima. Variazioni climatiche e rapporto clima-uomo in età postglaciale*, Roma, Soc. Geogr. Ital., 1984 («Mem. Soc. Geogr. Ital.», 1984, XXX-VI).
- PINNA M. (a cura di), *Le variazioni recenti del clima (1800-1990) e le prospettive per il XXI secolo*, Roma, Soc. Geogr. Ital., 1991 («Mem. Soc. Geogr. Ital.», 1991, XLVI).
- PINNA M., *La Bioclimatologia umana. Lo sviluppo recente di un'antica disciplina*, in «Riv. Geogr. Ital.», Firenze, 1993, pp. 487-511.
- PINNA M., *Le variazioni del clima. Dall'ultima grande glaciazione alle prospettive per il XXI secolo*, Milano, F. Angeli, 1996.
- ROSINI E., *Nuovi orizzonti della climatologia*, Napoli, Istituto Universitario Navale, 1985 (testo dattil.).
- ROTBERG R.I. e RABB T.K., *Climate and History*, Princeton, Princ. Univ. Press, 1981 (traduz. ital.: *Clima e storia*, Milano, F. Angeli, 1984).
- SARGENT T. e TROMP S.W., *A Survey of Human Biometeorology*, Ginevra, WMO, «Techn. Note», 1964 («Techn. Note», 65).
- SORRE M., *La notion de microclimat*, in «Bull. Ass. des Géogr. Français», Parigi, 1961, pp. 162-169.
- STREET-PERROTT A., BERAN M. e RATCLIFFE R., *Variations in the Global Water Budget*, Dordrecht, Reidel, 1983.
- TERJUNG W.H., *Physiologic Climates of Conterminous United States: A Bioclimatic Classification Based on Man*, in «Ann. of Assoc. of Amer. Geogr.», New York, 1966, pp. 141-179.

- TERJUNG W.H., *World Patterns of the Distribution of Monthly Confort Index*, in «Intern. Journ. of Biomet.», 1968, pp. 119-151.
- THOM H.C.S., *Analytical Foundations of Climatology*, in «Arch. Met. Geoph. Biokl.», Berlino, serie B, 18, 1970, pp. 205-220.
- THORNTHWAITE C.W., *An Approach toward a Rational Classification of Climate*, in «Geogr. Review», New York, 1948, pp. 55-94.
- THORNTHWAITE C.W., *Topoclimatology*, in «Proceedings of the Toronto Conference», Toronto, 1953, pp. 227-232.
- THORNTHWAITE C.W. e MATHER J.R., *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance*, Centerton, N. J., 1957.
- TODARO C., *Il clima. Fonti, concezioni, problematiche*, in PINNA M. (a cura di), *Contributi di climatologia*, Roma, Soc. Geogr. Ital., 1985 («Mem. Soc. Geogr. Ital.», 1985, XXXIX), pp. 7-22.
- UNESCO-WMO, *Changes of Climate. Proceedings of the Rome Symposium (2-7 october 1961)*, Parigi, UNESCO, 1963.
- WIGLEY T.M.L., INGRAM M.J. e FARMER G., *Climate and History*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1981.
- WILLIAMS L., *Climatology and Geographers*, in «The Profess. Geogr.», Washington, 1961, pp. 11-15.
- WMO e ICSU, *The Physical Basis of Climate and Climate Modelling*, Ginevra, WMO, 1975 («Garp Publ.», 10).
- WRIGHT H.E., KUTZBACH J.E. e altri, *Global Climates Since the Last Glacial Maximum*, Minneapolis, Univ. of Minnesota, 1993.
- YOSHINO M.M., *Climate in a Small Area*, Tokio, Univ. of Tokio Press, 1975.

CLIMATOLOGY IN THE SECOND HALF OF THE 20TH CENTURY. SOME ELEMENTS FOR A RE-EXAMINATION. – The author examines the more important events in the recent history of the climatology. At the beginning of this half-century, the synoptic (or dynamic) climatology was rising, but its diffusion was slow and contested.

In the 1960s, technological changes (as satellites and computers) allow to carry out fast improvements and to regard the climate a «system»; also the oceans, the solid crust of the Earth, the ice extents were considered among its elements, while previously climatologists regarded them as «factors» conditioning the climate from the outside. So a «global climatology» was founded: its aims are to compose an unitary picture of the Earth's climates, to follow the climatical change and to foresee as possible the consequences of the present increasing of the temperature.

A different trend addressed today's climatology towards applied purposes (support of economic activities), while sciences rose as historical climatology, urban climatology and human bioclimatology (or medical climatology), thanks to collaboration among geographers, meteorologists, naturalists, physicians and humanists.

Università di Pisa, Dipartimento di Scienze dell'ambiente e del territorio