

MARIO PINNA

L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO IN ITALIA

NOTE CLIMATICO-ECOLOGICHE

LE ATTIVITÀ UMANE E L'ALTERAZIONE DELL'ATMOSFERA

In epoca recente l'uomo ha saputo reagire in modo attivo all'influenza del clima, che in passato lo aveva condizionato pesantemente, cercando di modificare le condizioni climatiche del proprio territorio; e se è vero che ciò gli è riuscito soltanto in aree piuttosto limitate, nulla possiamo dire di ciò che avverrà in futuro. Oggi si costruiscono laghi artificiali, che modificano il clima delle zone circostanti, si attuano rimboschimenti o per converso si disboscano vasti territori, pure con conseguenze di qualche entità; inoltre si effettuano esperimenti per la stimolazione artificiale della pioggia e la dissoluzione delle nubi grandinifere in formazione. Accanto a queste modificazioni volontarie, che hanno lo scopo di piegare le condizioni naturali a vantaggio dell'uomo, ve ne sono altre che si possono definire involontarie e che purtroppo determinano un graduale deterioramento dell'ambiente, con grave danno per la salute umana, per l'economia e per il patrimonio artistico. Queste modificazioni sono una conseguenza delle molteplici attività economiche, soprattutto industriali, le quali portano inevitabilmente all'immissione nell'atmosfera di numerose sostanze nocive, solide, liquide e aeriformi, che modificano la naturale composizione dell'aria: è ciò che definiamo *inquinamento* (o *contaminazione* o *polluzione*) dell'atmosfera. Si può dire in sostanza che tutti i paesi industrializzati hanno conosciuto in epoca recente, insieme col progresso della tecnica e col diffondersi del benessere, anche situazioni gravi e perfino preoccupanti di alterazione dell'ambiente (atmosfera, acque, suolo, mare costiero).

L'inquinamento atmosferico e la contaminazione delle acque dolci sono i fenomeni che finora hanno maggiormente attirato l'attenzione degli studiosi, e questo si spiega agevolmente quando si consideri quale grave pericolo essi possono rappresentare per la salute dell'uomo o

per l'equilibrio biologico della natura. Da questo punto di vista si può dire che nel nostro paese la Pianura Padana rappresenta la regione più sfavorita, nella quale i due fenomeni raggiungono valori più alti che in altre parti d'Italia. In linea generale per entrambi i fenomeni vale la considerazione che i loro effetti si fanno sentire anche in luoghi molto lontani dalla fonte di immissione delle sostanze inquinanti; ma nel caso della contaminazione dell'atmosfera occorre distinguere un inquinamento di fondo, che in larga misura è irreversibile, dagli episodi locali e transitori, che in date circostanze possono raggiungere punte di particolare intensità, per esaurirsi poi non appena le condizioni meteorologiche si evolvono così da favorire la dispersione delle sostanze inquinanti. Tuttavia non sono da sottovalutare i pericoli di tali eventi, come le situazioni di *smog*, durante le quali l'aria diventa irrespirabile per l'uomo, o le piogge acide, che distruggono le foreste, alterano le acque dei laghi e dei fiumi e provocano danni (corrosione) agli edifici e ai monumenti a causa dell'acidità delle sostanze riportate al suolo.

Anche nel nostro paese, come in tutto il mondo industrializzato, l'aria che respiriamo è soggetta a una degradazione sempre più accentuata, che può diventare molto grave e irreversibile se non vi sarà una profonda revisione dei sistemi tecnici di produzione e soprattutto del nostro atteggiamento di fronte al problema dell'ambiente. A tale considerazione però ne dobbiamo far seguire subito un'altra: se è vero che non si deve eludere o sottovalutare il problema dell'inquinamento atmosferico, è altrettanto vero che non dobbiamo affrontarlo con pessimismo e rassegnazione, e meno che mai con un pessimismo che tragga origine da sfiducia nella scienza. Un approccio razionale, invece, consente di definire con precisione i confini di un fenomeno che non è certo nuovo, ma che solo negli ultimi tempi è stato oggetto di approfondite indagini da parte degli uomini di scienza. Ora ci sono sufficientemente chiare le dimensioni del problema: sappiamo che la massiccia immissione di sostanze solide e aeriformi nell'ambiente atmosferico non solo arreca danni gravi a livello locale, ma può modificare il naturale meccanismo degli ecosistemi anche a scala planetaria. Sappiamo inoltre che tale contaminazione ha subito nel corso del tempo un incremento non soltanto quantitativo ma anche qualitativo, perché se in passato i fattori inquinanti erano essenzialmente biologici, ora sono di molteplice origine, biologica, fisica e chimica, con prevalenza di questi ultimi, data l'importanza sempre crescente che ha assunto nell'economia moderna la trasformazione chimica dei prodotti; tali sostanze hanno determinato nei confronti della salute umana nuovi motivi di rischio, con l'aggravante che è ben difficile precisare l'entità del pericolo sia perché non sono ancora ben chiari i loro meccanismi di azione sia perché di solito sono assai numerosi i composti contemporaneamente presenti nell'atmosfera.

Questa degradazione non poteva non influire sul concetto stesso di *aria inquinata* che noi dobbiamo prendere come base per i nostri studi (1). Infatti, appena vent'anni addietro nelle indagini sulla contaminazione dell'atmosfera facevamo riferimento unicamente all'aria pura, con la sua composizione originaria, esente da ogni alterazione di natura antropica. Questo richiamo all'aria pura, che rimane necessario e inevitabile in altri campi di ricerca, non ha più alcuna base realistica negli studi sulla qualità dell'ambiente; in relazione a questi ultimi qualsiasi definizione scientifica non può che fondarsi sulla realtà prodotta dalla presenza dell'uomo e sempre condizionata dall'evoluzione dei suoi modelli di vita: e la realtà ci dimostra che certi inquinanti fisici e chimici sono ormai diventati dei *costituenti normali* dell'aria che respiriamo. Nella loro azione patologica queste sostanze possono dar luogo a meccanismi di sinergismo di fronte ai quali l'organismo umano non sempre è in grado di conservare il proprio stato di equilibrio; in altri termini, da qualche decennio a questa parte il nostro organismo subisce numerose «aggressioni» di vario tipo, la cui gravità non è facile da definire sia per le ragioni già dette, sia perché questa azione risulta in continua evoluzione: le ricerche condotte in alcuni istituti italiani di patologia medica conducono appunto a questi risultati (2).

(1) Se dobbiamo dare una definizione dell'inquinamento atmosferico in armonia con i principi sanciti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità possiamo esprimerci in questi termini: «L'inquinamento atmosferico è costituito da una variazione nella composizione chimica dell'aria, determinata in modo naturale o artificiale tramite immissione di sostanze con caratteristiche tali da presentare, per natura e concentrazione, *pericolo* o, quanto meno, *pregiudizio* per la salute umana e per l'ambiente in generale». Ho ripreso questa definizione dal recente volume di GILLI G., CORRAO G. e SCURATO-NE E., *Inquinamento atmosferico e salute*, Milano, Angeli, 1986, p. 24. Ricordo che il Consiglio d'Europa, in un suo rapporto del 14 settembre 1967, aveva dato questa definizione: «Vi è inquinamento dell'aria quando la presenza di una sostanza estranea o una variazione importante nella proporzione dei suoi costituenti è suscettibile di provocare un effetto nocivo, tenuto conto delle conoscenze scientifiche del momento, o anche soltanto di creare un fastidio». Per i primi lavori di sintesi sull'inquinamento atmosferico nel nostro paese rimando a queste tre opere: CNR, *Libro Bianco della Natura in Italia*, Roma, 1971, pp. 87-99; SENATO DELLA REPUBBLICA, *Problemi dell'Ecologia*, Roma, 1972, vol. I, pp. 37-68; TECNECO, *Prima relazione sulla situazione ambientale del Paese*, Firenze, Officine Grafiche, 1973, vol. II, pp. 291-356. Per la documentazione statistica sul fenomeno dell'inquinamento atmosferico negli anni più recenti si veda: ISTAT, «Statistiche ambientali», I, Roma, 1984. Una fonte preziosa di dati è costituita dalla collana ENEL-SERV. METEOROL. AERON., *Caratteristiche diffusive dei bassi strati dell'atmosfera*, 16 volumi dedicati alle varie regioni (anni '70 e '80).

(2) Cambia il nostro stile di vita, cambiano i nostri gusti e per questo cambiano i prodotti industriali di cui ci serviamo nella nostra vita quotidiana. Ne deriva una variazione nella tipologia (o almeno nelle proporzioni) delle sostanze che immettiamo nell'atmosfera. Poiché dunque l'inquinamento atmosferico è legato al processo evolutivo delle nostre esigenze di vita, nonché allo sviluppo delle conoscenze tecnologiche, è giusto che si abbia di tale fenomeno non un'idea statica ma un concetto dinamico.

D'altra parte, quando parliamo di azioni dannose esercitate dalle sostanze estranee presenti nell'atmosfera, non dobbiamo pensare solo agli effetti sull'apparato respiratorio ma al danno totale che ci deriva dal vivere circondati da una miscela di gas che può manifestare la sua tossicità indipendentemente dalla respirazione: certi inquinanti infatti non danneggiano l'uomo direttamente ma nuociono a determinati elementi dell'ambiente che sono essenziali alla vita umana.

In ogni caso, quando si studiano il problema dell'inquinamento e gli effetti che ne derivano per la salute umana, si deve partire da un preciso dato di fatto: nonostante la massiccia immissione nell'atmosfera di prodotti aeriformi, sono rimasti inalterati i livelli dei gas principali, ossia l'ossigeno e l'azoto. Da ciò discende che certe manifestazioni morbose che colpiscono l'uomo (ma anche il regno animale e quello vegetale) non traggono origine da una drastica trasformazione dell'aria respirabile, bensì dalla presenza di piccole quantità di sostanze considerate estranee all'aria e di conseguenza ai normali meccanismi fisiologici umani (come a quelli vegetali e animali). Il fenomeno dell'inquinamento, anche visto sotto questo aspetto, rimane pur sempre insidioso e ci pone dinanzi alla necessità di disporre di mezzi adeguati per poter seguire giorno dopo giorno il suo comportamento e la sua evoluzione nel corso del tempo. In altri termini, ci è necessario disporre di elementi oggettivi (mediante prelievi e accuratissimi esami) per affrontare in termini scientifici lo studio della degradazione dell'atmosfera e poter poi lottare contro questo male fino a ridurlo entro limiti compatibili con i normali fenomeni di autodepurazione dell'ambiente. In questo ampio campo di ricerca hanno occasione di collaborare tra loro fisici, chimici, biologi e climatologi. Dal punto di vista specifico della scienza climatologica il compito principale è quello di precisare il ruolo svolto dalle condizioni climatiche regionali nel determinare le situazioni di inquinamento, dato che i fenomeni meteorologici sono in grado di diluire e trasportare lontano le sostanze inquinanti o, al contrario, di accumularle entro spazi relativamente ristretti.

Poiché i fenomeni che danno luogo all'inquinamento atmosferico sono ben conosciuti, così come sono facilmente identificabili le sorgenti di emissioni delle sostanze inquinanti, è possibile stimare con buona approssimazione le quantità singolarmente emesse (3). Gli esperti ritengono che in ordine di importanza le sorgenti di emissione possano essere così classificate in ragione della quantità di sostanze portate nell'atmosfera: 1, combustione di benzina e gasolio per autotrazione; 2,

I problemi di carattere generale relativi all'inquinamento atmosferico sono ben trattati nell'articolo di PAGNEY P., *Vues générales sur la pollution atmosphérique*, in «Rev. Géogr. de l'Est», Nancy, 1981, pp. 137-151.

(3) Giova qui ricordare che le sostanze inquinanti vengono immesse nell'atmosfera da tre cause diverse: certi fenomeni meccanici, la combustione, alcune reazioni chimiche diverse dalla combustione. I fenomeni meccanici, che possono essere naturali (come il vento) o provocati da attività umane (ad esempio, l'estrazione di minerali a cielo aperto), immettono particelle solide. Dalla combustione derivano, oltre a materiali solidi, gas vari, soprattutto CO, CO₂ e SO₂; quest'ultima rappresenta da sola il 15-18% dei inquinanti presenti sopra le città industriali. Dalle reazioni chimiche si originano vari gas: questo tipo di inquinamento però pone problemi meno gravi di quelli derivanti dai prodotti della combustione.

Per i problemi di base sono molto utili: ELIAS G. e SINISCALCO F. (a cura di), *L'inquinamento dell'aria. Sorgenti, effetti, difese*, Milano, PEG Edit., 1972; SANTOMAURO L., *Dinamica dell'inquinamento atmosferico da impianti industriali*, Bologna, Calderini, 1975.

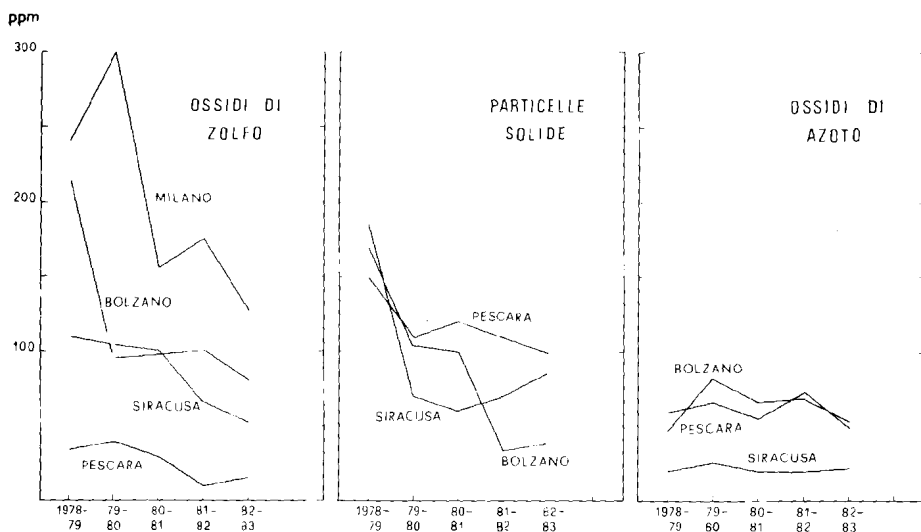


FIG. 1 — L'EFFICACIA DELLA «LEGGE ANTISMOG» DIMOSTRATA DALLA CONTINUA DIMINUZIONE DEGLI INQUINANTI.

ppm = parti per milione.

Fonte: ISTAT.

emissioni varie (gas e particelle) di provenienza industriale; 3, combustione negli impianti termoelettrici; 4, combustione per riscaldamento domestico; 5, smaltimento dei rifiuti. Fatta questa gerarchia di attività inquinanti, non si può non pensare alla Pianura Padano-veneta, dove su meno di 100.000 km² si concentrano la metà della popolazione italiana (quella che ha il più elevato tenore di vita) e oltre i due terzi delle industrie e del traffico automobilistico.

Le combustioni qui indicate portano nell'atmosfera un gran numero di sostanze estranee, e diverse a seconda della fonte, anche se alcune di esse sono comuni a tutte le sorgenti di inquinamento. In ogni caso i composti più importanti sono l'anidride solforosa (SO₂), l'ossido di carbonio (CO), l'anidride carbonica (CO₂) e gli ossidi di azoto (NO_x), oltre alle particelle solide di vario tipo ma costituite in prevalenza da prodotti carboniosi incombusti. Dalla utilizzazione dei petroli derivano soprattutto CO, CO₂ e SO₂; dal traffico degli autoveicoli CO e NO_x, ma anche certe quantità di Pb, dato che il piombo, in virtù del suo potere antidetonante, si aggiunge alla benzina per ottenere un maggior rendimento dei motori. Le industrie, oltre a SO₂ e CO₂, portano nell'atmosfera un'infinita varietà di composti gassosi e di particelle solide; particolarmente grave, infine, è l'incenerimento dei rifiuti urbani, da cui derivano, insieme con vari gas, anche certe sostanze venefiche, tra le quali la diossina.

Una volta ben conosciute le fonti e il loro relativo apporto all'in-

quinamento globale, è possibile intraprendere iniziative legislative opportune per ridurre entro limiti accettabili la quantità di sostanze estranee nell'aria che respiriamo. L'efficacia di tali iniziative deve essere poi controllata e accertata nel corso del tempo. A questo riguardo possiamo riportare un esempio quanto mai interessante: sappiamo che in Italia il 13 luglio 1966 è stata approvata la legge 615, nota come «legge antismog», allo scopo di contenere la quantità di anidride solforosa immessa nell'atmosfera. Ebbene, dopo l'entrata in vigore di quella legge, si è avuta ovunque una diminuzione non solo della SO_2 ma anche di altre sostanze nocive presenti nell'atmosfera: i dati dell'ISTAT dimostrano in modo inequivocabile l'efficacia della legge adottata (fig. 1), anche se la diminuzione risulta particolarmente evidente per l'anidride solforosa e le particelle solide (gli inquinanti che appunto si volevano combattere) e meno per gli ossidi di azoto. I buoni risultati ottenuti devono indurci a proseguire per questa strada delle leggi specifiche, se vogliamo mantenere entro livelli di concentrazione prefissati le sostanze più pericolose per la nostra salute. Per la maggior parte di esse, dunque, la situazione non è irreversibile: come testimoniano anche gli esempi che prendiamo da altri paesi (4), quando si approvino leggi adeguate, e giustamente severe, si assiste sempre a una graduale diminuzione delle quantità di contaminanti presenti nell'atmosfera.

Con altre iniziative legislative si possono stabilire anche i valori di riferimento nella qualità dell'aria; in tal modo è possibile da un lato ottenere un arresto della crescita delle concentrazioni di alcuni inquinanti pericolosi (obiettivo a breve termine) e dall'altro creare le condizioni più favorevoli per promuovere una inversione di tendenza fino a portare tali concentrazioni molto al di sotto dei limiti di sicurezza (obiettivo finale). In Italia però non si è fatta molta strada in questa direzione. Infatti, se limitiamo l'attenzione al pulviscolo e alla SO_2 , i due elementi che hanno sempre attirato l'attenzione per la loro ubiquitaria presenza e per il fatto che sono sempre i primi elementi di riferimento nella lotta contro l'inquinamento nel suo insieme, possiamo notare questo fatto significativo: mentre l'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS) ha fissato nel 1972 le concentrazioni medie annue in 40 microgrammi per m^3 per il pulviscolo e in 60 per la SO_2 (con l'ulteriore condizione che nel 98% dei casi le analisi debbano dare risultati inferiori, rispettivamente, a 120 e a 200 microgrammi per m^3), nelle nostre città questi limiti sono largamente superati, dato che la normativa italiana (DPCM 28 marzo 1983) stabilisce il limite di 150 microgrammi per m^3 per le polveri e di 80 per la SO_2 . Dal Ministero per l'Ambiente,

(4) Sono noti i vari *Clean Air Act* che hanno determinato una forte riduzione dell'inquinamento atmosferico sulle maggiori città degli Stati Uniti.

recentemente creato, ci attendiamo pertanto iniziative più efficaci e appropriate contro la degradazione dell'atmosfera.

FENOMENI ATMOSFERICI E INQUINAMENTO

Ancor oggi, pur disponendo di buone conoscenze sull'ubicazione delle sorgenti di inquinamento, sul tipo e la quantità di inquinanti generati da industrie e insediamenti umani e potendo quindi valutare l'entità delle emissioni in determinate aree, conosciamo assai poco sull'evoluzione e sulla destinazione di queste sostanze una volta entrate nell'atmosfera. In condizioni normali di temperatura, di pressione e di ventilazione gli effluenti gassosi emessi dai camini impiegano pochi minuti per disperdersi e diluirsi nell'aria, fino a perdere le loro caratteristiche originarie. Questo però non sempre avviene, dato che il destino di queste sostanze subito dopo il loro trasporto verso l'alto dipende sia dalla situazione meteorologica del momento, sia — più in generale — dalle caratteristiche climatiche dell'area in cui ha origine l'inquinamento. Sotto questo punto di vista vi è una notevole differenza tra le aree continentali, come la Pianura Padana, che hanno un'atmosfera piuttosto calma, e quelle marittime, come le pianure costiere della penisola e delle isole, dove è attiva anche una circolazione locale.

Le condizioni più sfavorevoli si realizzano, in assenza di vento, con una situazione di forte stabilità dell'atmosfera, originata dalla inversione del gradiente termico e con la contemporanea presenza della nebbia. Quando ciò si verifica, si può avere un inquinamento atmosferico intenso e pericoloso anche per molti giorni consecutivi: è questa la tipica situazione dello *smog*, da tempo oggetto di studio sia per la sua ciclica presenza nella Padania sia per gli effetti negativi che lo smog determina sulla salute umana. La sua composizione infatti si può considerare come un'associazione di polveri sospese e di nebbia, cui si uniscono elevate proporzioni di SO_2 ; per questa ragione, il fenomeno diventa particolarmente dannoso per l'apparato respiratorio. In condizioni di immobilità dell'atmosfera può accadere che alcune sostanze contaminanti reagiscano con altre per dar luogo a combinazioni chimiche nelle quali entra in gioco anche l'acqua presente sotto varie forme: così, agli inquinanti *primari* (direttamente provenienti dalle fonti di immissione), si uniscono anche quelli *secondari*, che si formano ex novo nell'ambiente atmosferico. In altri termini, queste due condizioni, ossia la possibilità che si verifichino reazioni chimiche e chimico-fisiche tra sostanze diverse e la situazione di stabilità dell'atmosfera, unendosi insieme, possono portare lo stato di inquinamento a valori di intensità molto elevati, con le conseguenze che è facile immaginare.

La frequente ventosità rimane il fattore più propizio per la dispersione dei inquinanti e il loro trasporto a grandi distanze. Non è qui il

caso di riportare una carta dei venti nel territorio italiano, dato che sono a tutti note le linee generali della distribuzione dell'indice di ventosità sul nostro paese (5). Sappiamo che il vento spira assai spesso lungo le coste, soprattutto delle isole, e nelle parti più elevate dei rilievi, e che la sua frequenza scende a valori piuttosto bassi nella Padania, in alcune valli alpine molto protette dalla montagna e nelle conche interne dell'Appennino. Questa semplice annotazione ci porta a confermare quanto già detto nei riguardi della Pianura Padana e cioè che essa rappresenta l'area più svantaggiata dell'Italia sotto il profilo dell'inquinamento atmosferico, perché vi si registrano queste tre condizioni concomitanti: un'alta concentrazione di insediamenti umani e di industrie, una scarsa ventosità e un'alta frequenza delle nebbie. Un modello a scala minore è offerto dal bacino di Firenze-Pistoia. Così stando le cose, ben si spiega la tendenza di certe industrie particolarmente inquinanti a spostarsi verso aree lontane dai centri urbani, e a costruire ciminiere sempre più alte per agevolare la dispersione degli effluenti. Questa funzione è svolta non soltanto dai venti, che però rimangono il solo fenomeno capace di realizzare il trasporto orizzontale a grande distanza, ma anche dalle correnti ascendenti e discendenti; queste, quando vi siano condizioni di forte turbolenza dell'atmosfera, possono assicurare la diluizione e la dispersione degli inquinanti a una certa distanza dalla sorgente. La loro funzione si esplica soprattutto nel semestre caldo dell'anno, durante le ore pomeridiane, e si rivela particolarmente preziosa nella Padania, in sostituzione del vento, tanto più quando questi moti verticali avvengono sopra le città e sono alimentati da deboli correnti orizzontali provenienti dalle vicine campagne, richiamate dall'«isola di calore» urbana.

I venti e i moti verticali assicurano bensì l'allontanamento delle sostanze inquinanti dalla sorgente, ma in ultima analisi non le sottraggono all'involucro d'aria che ci circonda; spetta quindi ad altri fenomeni meteorologici il compito di rimuoverle dall'ambiente e di riportarle al suolo: la pioggia, la neve e la grandine (a parte la ricaduta naturale per gravità) svolgono questa funzione di igiene dell'atmosfera. Le varie forme di precipitazione, peraltro, se da un lato purificano l'aria, dall'altro arrecano danni all'idrografia superficiale, alla vegetazione e alle stesse opere umane proprio a causa delle sostanze acide che

(5) L'indice di ventosità si può esprimere nella forma:

$$I_v = \frac{\text{Calme } 100}{\text{Totale delle osservazioni}}$$

ossia come percentuale delle calme sul totale delle registrazioni anemometriche (calma e vento insieme). Ovviamente, secondo questo indice la ventosità è tanto più alta quanto più il valore risulta basso (come accade per l'indice di aridità di de Martonne). La stazione più ventosa d'Italia è quella di Monte Cimone, mentre la Padania occidentale è l'area che vede la più alta frequenza delle calme.

riportano a terra. Riservandomi di ritornare più avanti sul problema delle precipitazioni acide, mi pare giusto in questa sede rilevare i vantaggi di certe concomitanze temporali. La prima riguarda il riscaldamento domestico. Questa operazione, che è responsabile di una parte cospicua dell'inquinamento atmosferico sopra le nostre città, come tutti sappiamo si effettua soltanto nel semestre freddo dell'anno; e poiché questo è anche il periodo più piovoso, risulta evidente che le precipitazioni svolgono una funzione importante nella rimozione degli inquinanti. La grandine invece, che proprio nella Padania è più frequente che in altre regioni, è un fenomeno tipico del semestre caldo; e in questo periodo, appunto, essa dà il suo contributo (non grande, se si vuole, ma neppure trascurabile) alla eliminazione delle sostanze inquinanti unitamente a quei moti verticali con i quali, dal punto di vista genetico, è strettamente collegata.

Dopo le considerazioni che precedono, ritengo di poter affermare che i fenomeni maggiormente interessanti negli studi sull'inquinamento atmosferico sono la stabilità dell'atmosfera (con inversione termica), il cosiddetto «effetto serra» e le precipitazioni acide: di questi dobbiamo ora occuparci per esaminare il comportamento nel tempo e la frequenza e quindi, in sostanza, il ruolo che svolgono nel determinare la contaminazione dell'aria sopra l'Italia.

La stabilità dell'atmosfera e l'inversione termica. — Come si è visto, la dispersione e il trasporto delle sostanze inquinanti a grande distanza dipendono dalle correnti aeree. Talvolta però la situazione meteorologica non è favorevole all'installarsi di tali movimenti, i quali possono essere ostacolati anche da particolari condizioni geografiche e topografiche o dalla presenza di cospicue opere umane. In questi casi l'azione di dispersione degli effluenti resta affidata alle sole correnti verticali, che hanno origine nei meccanismi di trasporto dell'energia termica dal suolo verso le parti più alte della troposfera. Vi sono però delle circostanze durante le quali anche i moti verticali si arrestano. Sappiamo infatti che il verificarsi o meno di tali moti è in relazione con le condizioni di instabilità e di stabilità dell'atmosfera; queste, a loro volta, dipendono dallo scarto fra il gradiente termico tipico di un «pacchetto» d'aria in movimento verticale e il gradiente dell'aria ambiente in un dato momento (6). Per un volume d'aria che si sposti verso l'alto la diminuzione della temperatura, come è noto, avviene sempre nella misura di 1° ogni 100 m (come di 1° ogni 100 m è il riscaldamento, se il movimento avviene verso il basso). Il gradiente dell'aria ambiente, invece, non è costante: infatti, se nella media spazio-tempo-

(6) Questi concetti sono trattati più ampiamente nel volume di PINNA M., *Climatologia*, Torino, UTET, 1977, pp. 19-27.

rale è pari a 0° , 55 per ogni 100 m, da una circostanza all'altra può variare notevolmente, se è vero che in certi casi si annulla del tutto, mentre in altri si inverte, in modo tale che la temperatura aumenta verso l'alto (*inversione termica*). Data questa diversità di comportamento, si possono verificare le seguenti situazioni: se un pacchetto d'aria, una volta spostatosi di 100 m verso l'alto, rimane più caldo dell'aria circostante, perché il gradiente di quest'ultima in quel momento è molto accentuato, esso risulta anche meno denso e pertanto prosegue il suo moto verso l'alto; se invece nell'ascesa è diventato più freddo e quindi più denso dell'aria che lo circonda, ritorna in basso al suo punto d'origine (*atmosfera stabile*); infine, se al termine del suo spostamento viene a trovarsi in equilibrio di temperatura e di densità con l'aria ambiente, rimane nel luogo di arrivo. Nel caso di un'inversione termica, in cui la temperatura più elevata si raggiunga sui 300 o 400 m di altezza, un pacchetto d'aria che dal suolo si sposti verso l'alto, ad ogni livello viene a essere più freddo e quindi più denso dell'aria circostante ed è quindi sollecitato a ritornare verso il basso.

In questi casi di atmosfera stabile i fumi e tutti gli effluenti che provengono dalle abitazioni e dagli stabilimenti industriali non si spostano verso l'alto ma si espandono a ventaglio entro uno strato relativamente sottile, formando una cappa sopra la città. Questa nera copertura in certi casi occupa spazi molto ampi, come accade talvolta nella regione lombarda, dove può estendersi da Milano a Pavia. Tali condizioni si verificano soprattutto di notte e nel primo mattino, quando si origina l'inversione termica negli strati più bassi, come effetto dell'intenso raffreddamento dell'aria a contatto con il suolo. Nelle ore successive, se il sole riesce a riscaldare il terreno, portando la temperatura al di sopra dello zero, l'inversione viene distrutta. Gli episodi di inquinamento atmosferico si aggravano quando si abbia un persistente anticiclone che porta temperature negative per molti giorni consecutivi: una situazione meteorologica abbastanza frequente, nelle Alpi e nella Padania, durante l'inverno. In questi casi, con cielo sereno o quasi sereno, si hanno lenti movimenti dall'alto verso il basso; l'aria pertanto si riscalda, ma di solito non arriva fino al suolo, per cui provoca un'inversione termica in quota (ad esempio, fra 700 e 800 m).

Tale stratificazione limita i rimescolamenti agli strati inferiori; ma se di notte, anche in conseguenza del cielo sereno, si ha un forte irraggiamento dal terreno, si forma un'altra inversione negli strati più bassi (ad esempio, fra la superficie del terreno e i 300 m di altezza). Queste due inversioni conferiscono all'atmosfera una particolare stabilità, e la conseguente mancanza di rimescolamento fa sì che le sostanze contaminanti si accumulino in vicinanza del suolo. Se ne deduce dunque che nelle situazioni di anticiclone, quando anche i venti come i moti verticali sono assenti, risultano totalmente neutralizzati i mezzi

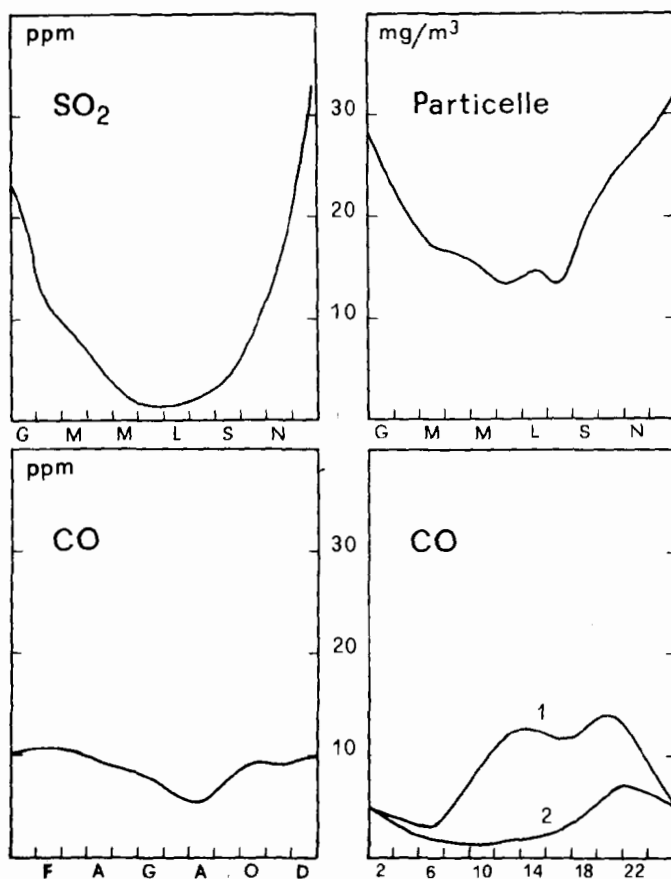


FIG. 2 — VARIAZIONE TEMPORALE DELLA CONCENTRAZIONE DEGLI INQUINANTI A TORINO-MIRAFIORI.

I primi tre grafici rappresentano la variazione mensile degli inquinanti principali; l'ultimo, la variazione oraria durante un giorno ferial (1) e una domenica (2).

di trasporto degli inquinanti, tanto che la concentrazione di questi ultimi può accentuarsi fino a raggiungere il livello di pericolo.

È evidente, da quanto si è appena detto, che sotto il profilo dell'inquinamento atmosferico l'inverno rappresenta la stagione più sfavorevole per tutte le aree poco ventose, come la Padania, nelle quali i tipi di tempo anticiclonici si ripetono con una certa frequenza. Ma quali inquinanti diventano pericolosi in queste situazioni? Sono quelli ormai noti, contro i quali viene condotta la lotta più accanita da parte delle scienze dell'ambiente, ossia l'anidride solforosa, le particelle e l'ossido di carbonio: tutti questi hanno effetti negativi sulla nostra salute, ma l'associazione dei primi due è ritenuta dalla maggior parte dei ricercatori la causa dei più importanti fenomeni morbosi che colpiscono le

collettività umana. La tossicità della SO_2 , secondo quanto si è potuto sperimentare nei casi di esposizione professionale in numerose lavorazioni industriali, si manifesta con forte irritazione agli occhi e alle vie respiratorie; nelle situazioni ambientali difficilmente si verificano patologie altrettanto acute, ma quando si abbia l'interazione tra SO_2 e sostanze in sospensione allo stato di polveri, l'alterazione delle funzioni respiratorie diventa un fatto abbastanza frequente. La minaccia proveniente da questa miscela è condizionata sia dalla capacità propria delle particelle di trattenere e veicolare sostanze allo stato liquido o gassoso, sia dalla loro dimensione. Infatti, se questa è contenuta entro valori prossimi a un micron, vi è la possibilità che quelle particelle raggiungano le parti più interne dell'apparato respiratorio. Il quadro è completamente diverso per l'ossido di carbonio. Questo gas proviene per il 30% da varie fonti industriali (petrolchimica, ecc.) e per il restante 70% dal traffico automobilistico: nelle grandi città infatti è possibile stabilire un netto parallelismo tra variazioni di intensità del traffico delle automobili e variazioni della concentrazione del CO nel corso della giornata (fig. 2). Diversa è anche l'azione tossica. Caratterizzato da scarsa reattività con le altre sostanze presenti nell'atmosfera, questo gas ha invece una netta affinità con le molecole dell'emoglobina, alle quali si unisce provocando, ad alte concentrazioni, sintomi di avvelenamento. Gli specialisti però ci dicono che è difficile, nell'ambito delle valutazioni tossicologiche, quantificare la responsabilità dell'inquinamento ambientale da CO, data l'interferenza di vari altri fattori, tra i quali principalmente l'esposizione attiva (ma in parte anche passiva) al fumo di tabacco.

In sintesi, la situazione di stabilità dell'atmosfera, unita all'inversione termica, se non introduce nuove variabili chimiche nel sistema (come può accadere, invece, quando entrano in gioco altri fenomeni), agisce però in modo da favorire l'alta concentrazione dei polluenti nell'aria che respiriamo, così da determinare condizioni sfavorevoli alla salute umana. Rimane da dire che in tutte le città industrializzate della Padania gli episodi più gravi di inquinamento atmosferico si sono verificati proprio con situazioni di inversione termica. Quando poi si pensi che questo fenomeno si presenta con notevole frequenza e sempre nelle stesse aree del nostro paese, si può ben comprendere come esso non solo porti in queste regioni isolati eventi di particolare intensità, ma abbia anche un ruolo non piccolo nel determinarvi, complici le attività industriali, una lenta ma inesorabile degradazione dell'ambiente, naturale e umano.

L'effetto serra. — Il fenomeno che va sotto questo nome è oggetto di misura anche in Italia, per quanto la sua azione si espliciti su scala planetaria e non su un dato luogo o regione. Si tratta di un fatto ben

noto anche al di fuori della comunità scientifica, dato che gli organi di stampa lo hanno fatto conoscere all'opinione pubblica, non mancando di rilevare che esso porta all'innalzamento della temperatura media del nostro pianeta, con imprevedibili rivolgimenti climatici. L'«effetto serra», che potrebbe anche definirsi «effetto CO₂», ha origine dal graduale incremento della quantità di anidride carbonica nell'aria che respiriamo, provocato da quelle attività umane (riscaldamento domestico, utilizzazione di combustibili, attività industriali varie) che annualmente scaricano nell'involucro atmosferico migliaia di tonnellate di questo gas; una parte della CO₂ è utilizzata dalla vegetazione, un'altra viene disciolta dalle acque del mare, ma una percentuale non piccola rimane nell'aria come prodotto di inquinamento. Lo dimostra il fatto che mentre negli anni '80 del secolo scorso l'anidride carbonica era presente nell'atmosfera nella proporzione di 285 parti per milione, oggi questo valore è salito a 340 ppm, e l'aumento continua tuttora. Tra poco vedremo in che modo questa crescita alteri gli equilibri naturali. Giova ora ricordare che il trasferimento di energia dal Sole alla Terra avviene mediante radiazioni di piccola lunghezza d'onda e che tale energia in parte è utilizzata per alimentare i molti fenomeni che avvengono sulla superficie del pianeta, in parte è rimandata nello spazio esterno come radiazione a grande lunghezza d'onda. A questo punto entrano in gioco le molecole di CO₂; esse hanno la funzione di riflettere verso il basso una parte dell'energia che altrimenti andrebbe dispersa nello spazio, contribuendo così a conservare l'equilibrio tra radiazione in arrivo e radiazione dispersa: è l'equilibrio che consente alla Terra di avere, nel suo insieme, una temperatura media di 15° e di mantenere le acque oceaniche e continentali allo stato liquido. Se però, in conseguenza delle attività umane, la quantità di CO₂ aumenta, come appunto avviene, aumenta necessariamente la proporzione di energia che rimane sulla Terra e questo non può che portare ad un incremento della temperatura media del nostro pianeta (7).

In Italia esiste l'unico osservatorio di tutta l'Europa meridionale specializzato nel controllo dell'inquinamento di fondo da CO₂: è quello di Monte Cimone, situato nella vetta più alta dell'Appennino Settentrionale, a 2165 m di altitudine. La sua posizione è eccellente, dato che ha l'orizzonte libero su tutti i 360°, ed è quindi esposto ai venti di tutte le direzioni; le aree più industrializzate, fonte di inquinamento anche di CO₂, si trovano a 50-60 km verso N e NE, mentre il Mediterraneo è distante 50 km in direzione SO. In questo osservatorio, che effettua i campionamenti di aria con metodi molto accurati in base a un

(7) Per i problemi relativi ai recenti mutamenti del clima rimando a PINNA M., *La storia del clima. Variazioni climatiche e rapporto clima-uomo in età postglaciale*, Roma, 1984 («Memorie della Società Geografica Italiana», XXXVI).

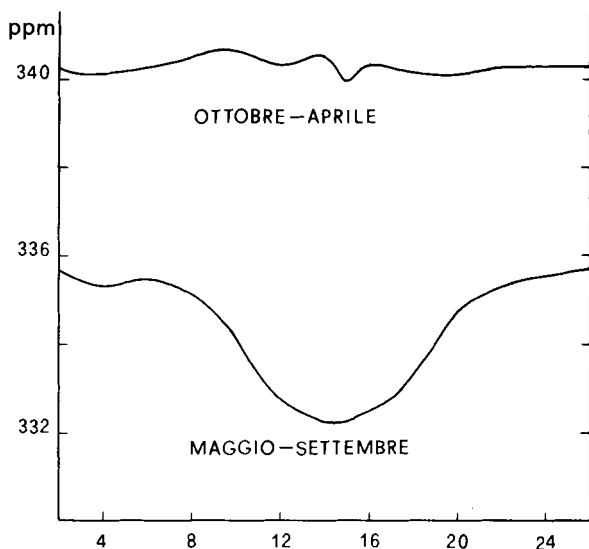


FIG. 3 — OSCILLAZIONE ORARIA DELLA CONCENTRAZIONE DELLA CO_2 A MONTE CIMONE IN UNA GIORNATA DEI MESI FREDDI E IN UNA DI QUELLI CALDI (media 1982-84).

programma internazionale varato dalla OMM, le registrazioni di concentrazione dell'anidride carbonica mostrano una chiara oscillazione oraria nel corso del giorno e una variazione altrettanto evidente nel corso dell'anno: vi è dunque un preciso *regime* della concentrazione della CO_2 ; non mancano però variazioni irregolari, ma interessanti, in relazione con la direzione di provenienza dei venti.

Per quanto riguarda l'andamento diurno, si nota una sensibile differenza fra il periodo invernale e quello estivo. Nell'inverno le variazioni appaiono correlate soprattutto con cambiamenti nella direzione di provenienza dei venti, mentre nella stagione calda, e particolarmente nei mesi di luglio e agosto, si delinea un regime molto preciso, dato che la concentrazione dell'anidride carbonica aumenta a partire dal tramonto mentre comincia a diminuire al sorgere del Sole (fig. 3). Questo fatto, che si riscontra anche nelle altre stazioni europee di osservazione, viene così interpretato: di giorno, a causa dell'assimilazione da parte della vegetazione, si ha sottrazione di CO_2 dall'atmosfera, mentre di notte, quando interviene la traspirazione, si ha di nuovo la crescita del tasso di concentrazione (8).

(8) CUNDARI V. e COLOMBO T., *Misure di concentrazione di anidride carbonica atmosferica a Monte Cimone: 1979-1983*, in «Atti del Convegno sulle attività di sorveglianza dell'inquinamento atmosferico in Italia», Vigna di Valle, Osservat. Scient. Sperim. Meteorol. Aeron., 1984, pp. 74-88.

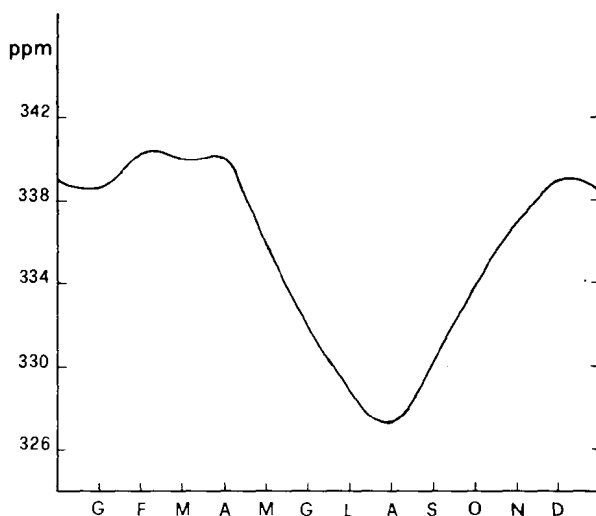


FIG. 4 — VARIAZIONE MENSILE DELLA CONCENTRAZIONE DELLA CO₂ A MONTE CIMONE (media 1982-84).

Nella variazione mensile si ha un andamento molto regolare, con massimo in febbraio e minimo in agosto (fig. 4), che risulta ancora una volta influenzato dalla vegetazione e in particolare dal ciclo dell'attività vegetativa dell'emisfero boreale, secondo l'interpretazione ormai generalmente accettata (9). Non sono però da trascurare altri fattori di varia natura. Ovviamente gli effetti di queste cause esterne si intrecciano tra loro, determinando situazioni non sempre facili da chiarire. I nostri specialisti hanno potuto constatare la complessità delle cause in gioco associando i dati registrati di CO₂ alle contemporanee osservazioni anemometriche. Da questa indagine, limitata ai soli venti con velocità superiore ai 6 nodi (per evitare l'effetto delle brezze locali), era lecito attendersi valori sempre superiori alla media in concomitanza con i venti di N e NE rispetto a quelli di direzione opposta, dato che a N e a NE di Monte Cimone si trovano le maggiori concentrazioni industriali italiane ed europee (10). Questa associazione però non si verifica

(9) CIATTAGLIA L., *Interpretation of atmospheric CO₂ measurements at Monte Cimone (Italy) related to wind data*, in «Journ. of Geophys. Res.», 1983, vol. 88, pp. 1331-1338.

(10) CIATTAGLIA L. e CRUCIANI L., *Programma OMM inquinamento atmosferico di fondo. Dati di torbidità dell'aria, chimica delle precipitazioni e S.P.M. della rete italiana 1982, 1983, 1984*, in «Riv. di Meteorol. Aeron.», Roma, 1986, pp. 69-85. L. Ciattaglia è il meteorologo che più di altri si è occupato dei problemi relativi all'inquinamento atmosferico, utilizzando i dati registrati nella rete dell'Aeronautica Militare; nell'articolo qui citato sono indicati, in bibliografia, i suoi lavori precedenti.

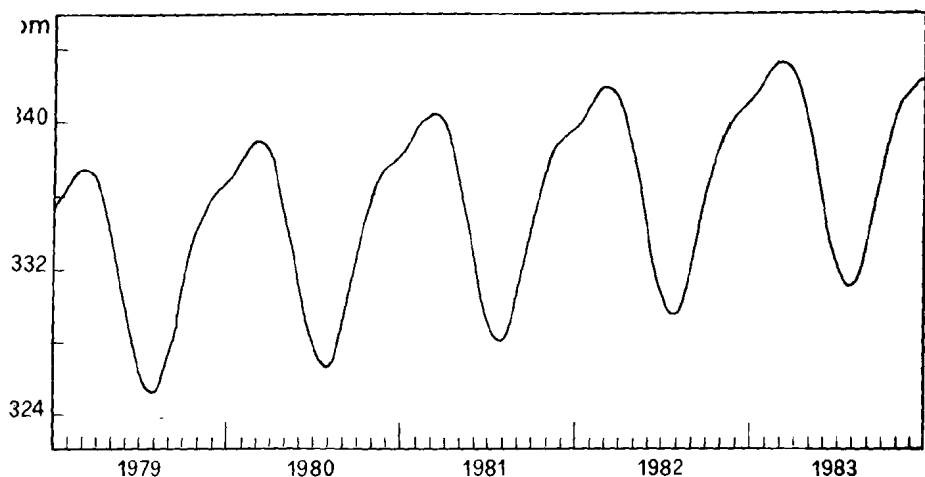


FIG. 5 — AUMENTO DELLA CONCENTRAZIONE DELLA CO₂ A MONTE CIMONE NEL PERIODO 1979-83.

in tutti i mesi dell'anno, proprio perché intervengono fattori diversi, alcuni di ordine naturale, altri di origine antropica: tra i primi sono da ricordare i fenomeni di trasporto della CO₂ atmosferica a scala regionale e continentale e l'assorbimento di questo gas da parte del mare, che avviene con maggiore intensità d'inverno che d'estate; fra le cause antropiche non è da trascurare il ciclo annuo di certe attività, per cui gli influssi antropici si fanno più intensi durante la stagione fredda (quando si aggiunge il riscaldamento degli ambienti) rispetto a quella calda (quando si ha la chiusura estiva degli stabilimenti industriali). Riportando in questa sede soltanto i fatti essenziali, risulta quanto segue: negli episodi con forte vento di SO (proveniente dal Mediterraneo) si hanno valori inferiori alla media in tutto il periodo freddo e maggiori in quello caldo. Può influire in questo ciclo il ruolo esercitato dal mare? Certamente sì, ma insieme con altre cause che non è facile individuare. Con venti intensi da NE (provenienti dalla Padania e dall'Europa centrale) la concentrazione della CO₂ rimane sempre elevata, fatta eccezione per i mesi di luglio e agosto. Un effetto del ciclo delle attività umane? Ancora una volta si può rispondere positivamente, ma senza escludere l'intervento di altri fattori. È giusto ora porre un'altra domanda: nei valori registrati a Monte Cimone è possibile riconoscere il contributo all'inquinamento atmosferico da CO₂ proveniente dal nostro paese? Potremmo dare una risposta positiva, ma soltanto in modo indiretto e vago, richiamandoci al fatto che allo spirare delle correnti aeree provenienti dalla Padania si hanno quasi sempre valori di con-

L'INCREMENTO DELLA CO₂ RILEVATO A MONTE CIMONE
TRA IL 1979 E IL 1983

Anno Mese	1979	1980	1981	1982	1983	Media
G	—	337,73	338,34	338,54	339,27	338,47
F	—	336,99	339,90	341,17	343,15	340,30
M	338,28	339,12	339,23	342,23	341,85	340,14
A	338,46	339,34	339,33	342,58	341,01	340,14
M	333,85	335,19	336,39	337,69	339,15	336,45
G	330,82	332,44	332,26	333,61	335,20	332,86
L	326,74	327,15	327,81	331,61	332,91	329,24
A	323,92	325,83	327,37	329,40	331,95	327,69
S	325,62	328,19	330,56	332,11	333,52	330,00
O	331,27	332,01	333,74	336,20	336,71	333,98
N	333,84	335,96	336,29	338,14	340,77	337,00
D	334,43	337,30	340,01	342,00	342,40	339,22
Totale	332,41	333,90	335,10	337,11	338,16	336,18

centrazione superiori alla media generale dell'inquinamento di fondo; una indicazione di questo contributo in termini numerici è invece assolutamente impossibile.

La variazione giornaliera e quella mensile, in ogni caso, non possono mascherare la tendenza generale della concentrazione di CO₂ ad aumentare di anno in anno. Abbiamo visto in precedenza lo scarto esistente fra i dati registrati nel secolo scorso e quelli attuali; ma anche nel breve periodo qui considerato (1979-1983) il *trend* è evidente, come appare dalla fig. 5 e dalla tab. 1: l'incremento risulta pari a 1,2-1,5 ppm all'anno. Sappiamo che questo fenomeno determina, con il tempo, un aumento della temperatura climatica del nostro pianeta, anche se non siamo ancora in grado di precisare l'entità di questa variazione per ogni aumento di 100 ppm nella concentrazione della CO₂. Trascurando tutte le ipotesi formulate dagli specialisti, anche con l'ausilio di modelli matematici, sulle variazioni del clima che si avrebbero in relazione a certi valori della concentrazione dell'anidride carbonica nell'atmosfera (che cosa accadrà con 400 e con 500 ppm?) e considerando soltanto quanto si è osservato fino ad oggi, si può affermare che i risultati ottenuti in Italia, come in altri paesi, non indicano una chiara correlazione tra aumenti dei livelli di CO₂ e aumento della temperatura media. Questa mancata coincidenza si può spiegare con il fatto che a partire dalla metà del nostro secolo due fenomeni contrastanti han-

no dominato la scena del clima: la tendenza a un leggero abbassamento della temperatura media, originato da cause naturali che ignoriamo ma testimoniato dall'espansione dei ghiacciai artici e continentali (evidente soprattutto nel ventennio 1955-1975), e l'aumento della CO_2 , dovuto a cause antropiche e confermato dalle osservazioni condotte in ogni parte del globo (11). È possibile che il raffreddamento che si deve ascrivere ai fattori naturali (cosmici o planetari) abbia mascherato finora gli effetti climatici che si possono attribuire alle attività umane? Certo è possibile, ma è prematuro in questo momento dare risposte di assoluta certezza.

Le piogge acide. — Le piogge acide rappresentano l'ultimo dei fenomeni dei quali dovevamo occuparci, tra quelli che hanno origine nell'atmosfera ma che fanno sentire i loro effetti negativi sui paesaggi, sulla vegetazione, sulle opere umane e sulla nostra salute. È noto che le sostanze estranee presenti nell'atmosfera, mescolandosi tra loro e con l'acqua, possono generare dei composti con valori di pH estremamente vari. Si può dire comunque che una certa acidità delle piogge è di per sé un fatto naturale, in quanto nell'atmosfera sono presenti naturalmente certe quantità di ossido d'azoto, di anidride carbonica e di anidride solforosa derivanti da eruzioni vulcaniche, incendi di foreste, decomposizione di sostanze organiche e altri processi (12). Dato ciò, diventa necessario fissare un certo pH da attribuire alla situazione di *normalità* perché si possa poi definire inquinata l'acqua in cui si abbia uno spostamento da questo valore standard in direzione dell'acidità. Negli studi sulla chimica delle precipitazioni questo valore di riferimento viene fissato in base al contributo dell'anidride carbonica, la quale, unendosi all'acqua che è sempre presente nell'atmosfera, dà luogo a piccole quantità di acido carbonico. Considerando la concentrazione della CO_2 costante e pari a 320 ppm, per una precipitazione nella quale sia entrata in gioco soltanto l'anidride carbonica, si ottiene un valore di pH pari a 5,65 (13). Si parla quindi di *piogge acide* ogni qual volta queste ultime (ma anche la neve o la grandine) abbiano un valore inferiore a 5,65. In certi casi tuttavia alcune sostanze che giun-

(11) PINNA M., *La storia del clima*, cit. pp. 224-242.

(12) La quantità di queste sostanze portate nell'atmosfera da fenomeni naturali è però piccola, in percentuale, rispetto a quella indotta da attività umane: appena il 10% per la SO_2 e circa il 50% per gli ossidi di azoto.

(13) I biologi hanno rilevato che un lago in «buona salute» ha un pH vicino a 8; se il valore scende alquanto al di sotto di 7, organismi come rane, salamandre e lumache diminuiscono notevolmente; con il valore di 5,5 comincia a essere compromessa la riproduzione di molte specie di pesci (tra le quali le più pregiate, come trote e salmoni); sempre con 5,5 si fa raro il plancton; con 4,5 spariscono quasi tutti i pesci.

Vale la pena di ricordare che i valori del pH hanno un andamento logaritmico, per cui un composto con indice 3,5 è dieci volte meno acido di un altro con valore di 2,5.

gono in vario modo nell'atmosfera (sabbie sottili sollevate e trasportate dal vento, nuclei salini, prodotti di decomposizioni organiche, ecc.), agendo insieme, possono annullare tale situazione e formare miscele liquide con pH spostato verso la basicità. Questo fatto, che può verificarsi in singole stazioni di particolare ubicazione, non è certo in grado di modificare la tendenza generale all'acidificazione delle precipitazioni: gli esami compiuti in quasi tutte le grandi città europee, anche italiane, e le ricerche condotte sui ghiacciai delle nostre montagne (ma anche su quelli della Groenlandia) confermano in modo inconfutabile questo fenomeno che ha la sua origine nell'inquinamento provocato dallo scarico nell'atmosfera di quantità ingenti di composti di zolfo e di azoto.

Il principale responsabile dell'acidità delle piogge è l'anidride solforosa, che deriva soprattutto dall'utilizzazione dei combustibili liquidi e solidi; in parte essa reagisce con l'acqua presente nell'atmosfera per dar luogo all'acido solforoso, in parte si trasforma in anidride solforica e quindi in acido solforico; le piogge pertanto riportano a terra sia acido solforoso sia acido solforico. La seconda fonte di sostanze inquinanti acide è costituita dagli ossidi d'azoto, che si formano durante i processi di combustione. La chimica degli ossidi di zolfo e d'azoto è quanto mai complessa e non molto si conosce sulle combinazioni di questi composti tra loro e con le polveri e i metalli presenti nell'atmosfera; è certo comunque che tutte queste sostanze riportate dalle precipitazioni sulla superficie terrestre (dove possono cadere anche come depositi secchi) hanno effetti devastanti sulla vegetazione, sui materiali da costruzione e sui monumenti (sia marmorei che metallici) situati all'aperto; non sorprende pertanto il fatto che alcuni studiosi si siano sforzati di precisare i costi monetari derivanti da tali effetti nocivi, che si uniscono ai danni provocati da altre forme di inquinamento.

In Italia, dove in passato si era data importanza soltanto agli studi sulla corrosione che subiscono i monumenti all'aperto, mancavano fino a pochi anni addietro studi sistematici sulle precipitazioni acide. Avevamo un certo numero di stazioni di osservazione (alcune sotto gli auspici del Ministero della Sanità, altre per cura del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica o di istituti scientifici) che svolgevano la loro attività di rilevazione e di campionamento delle precipitazioni, ma si trattava di una rete insufficiente in relazione alla superficie territoriale e, oltre tutto, priva di un'adeguata coordinazione. Le cose sono molto migliorate dopo l'inizio degli anni '80, sia per l'iniziativa del Ministero dell'Agricoltura di condurre un'indagine sistematica sui danni provocati dalle piogge acide alle foreste, sia per la creazione, da parte di vari enti, di una rete sufficientemente ampia nell'Italia settentrionale.

Interessanti dati invece sono stati raccolti sui quantitativi di ossidi di zolfo e di ossidi di azoto che vengono scaricati nell'atmosfera in se-

guito all'utilizzazione dei combustibili fossili. Gli ultimi dati che possiamo si riferiscono al 1980 e da essi risulta che in quell'anno il contributo delle singole fonti d'inquinamento (in migliaia di t/anno) era così ripartito:

TAB. 2

L'APPORTO DELLE PRINCIPALI FONTI DI INQUINAMENTO NEL 1980

Fonte di inquinamento	Anidride solforosa		Ossidi di azoto	
	t·1000	%	t·100	%
Industria	1.000	29,0	250	13,5
Agricoltura	50	1,4	50	2,7
Centrali termoelettriche	1.800	52,2	450	24,4
Trasporti	200	5,8	850	45,9
Usi domestici	400	11,6	250	13,5
<i>Totale</i>	<i>3.450</i>	<i>100,0</i>	<i>1.850</i>	<i>100,0</i>

Questi valori dimostrano che dalle centrali termoelettriche proviene più del 50% dell'inquinamento da anidride solforosa e dai trasporti quasi metà di quello dovuto agli ossidi d'azoto. È facile poi constatare che gli apporti di queste due fonti rappresentano nell'insieme quasi i due terzi degli inquinanti qui considerati. In Italia le grandi centrali termoelettriche sono poco numerose, ma gli esperti ci dicono che ciascuna di esse immette ogni ora nell'atmosfera alcune decine di t di SO₂: questa annotazione ci consente di avere un'idea dell'inquinamento provocato dai nostri più grandi impianti, come quelli di Piacenza, Ostiglia, La Spezia, Piombino, Brindisi, ecc. L'inquinamento dovuto ai trasporti e quello determinato dal riscaldamento domestico per almeno la metà del totale si possono considerare originati nelle città, per cui si presume che le precipitazioni riportino al suolo le relative sostanze in grande misura nelle città stesse e nei territori circostanti; non sempre però questo avviene, dato che il rapporto tra la quantità di inquinanti ricaduti in vicinanza della sorgente e quella trasportata a grande distanza varia nel corso dell'anno. Questi polluenti, come quelli di altra origine, possono rimanere nell'atmosfera anche alcuni giorni consecutivi e ricadere molto lontano dal luogo di origine: gli studiosi svedesi sono stati i primi a rilevare che le piogge acide normalmente registrate nella Scandinavia riportano al suolo inquinanti che provengono dalle industrie dell'Europa centrale (14).

(14) L'Italia è al terzo posto in graduatoria per inquinamento da SO₂; ecco i dati relativi al 1980, in migliaia di tonnellate: URSS, 22.670; Regno Unito, 1540; Italia, 1350. Per quanto riguarda le «im-

Per rilevare l'andamento del fenomeno nel tempo si possono effettuare dei raffronti fra dati registrati in due periodi diversi, distanziati tra loro da almeno un decennio. In Italia tale operazione è possibile soltanto con alcune stazioni, perché i pochi dati disponibili per gli anni anteriori al 1970 si riducono ulteriormente quando — come è giusto — si prendano in considerazione i soli luoghi di osservazione che hanno conservato nel tempo gli stessi metodi nelle rilevazioni e nell'esame dei campioni di precipitazioni. Questo raffronto è stato fatto pochi anni addietro da G. Tartari e R. Mosello (15) considerando il valore medio del pH delle piogge in alcune stazioni italiane nei due quinquenni 1960-64 e 1975-79. Secondo quanto rilevano quegli autori, negli anni '60 anche nell'Italia settentrionale le precipitazioni atmosferiche presentavano valori di pH oscillanti intorno a 5,5 (o poco al di sotto): una media accettabile in quanto vicina al valore di riferimento usato in questi studi. Nella seconda metà degli anni '70 la situazione risultava mutata, dato che il fenomeno di acidificazione delle piogge, pur con diversa intensità, si era manifestato quasi ovunque. I valori più bassi del pH si riscontravano nell'Italia settentrionale, sede delle maggiori concentrazioni industriali (4,3; 4,2), mentre le regioni meridionali e le isole presentavano medie prossime o superiori a 5,6. In altri termini, si può dire che nel Nord dell'Italia, come negli altri paesi dell'Europa occidentale, le precipitazioni sono andate progressivamente acidificandosi e che lo sviluppo industriale ha influito in modo considerevole sulle caratteristiche chimiche di queste acque atmosferiche.

Come ormai risulta da numerosi studi, il pH delle precipitazioni presenta un chiaro regime stagionale, con valori notevolmente bassi (forte acidità) nel periodo invernale e più elevati nella stagione estiva (fig. 6). In inverno le piogge sono più acide, dato che in questa stagione si verificano due condizioni concomitanti: una maggiore quantità di inquinanti presenti nell'atmosfera (per il fatto che alle normali attività si unisce il riscaldamento degli edifici) e il verificarsi di quelle particolari situazioni meteorologiche, già descritte, che favoriscono le alte concentrazioni; durante l'estate le cose migliorano, anche se la quantità di inquinanti contenuti nell'aria rimane notevole. Dalla tab. 3 appare anche evidente che nel Sud la situazione è molto migliore, particolarmente nella stagione estiva.

portazioni» e le «esportazioni» di sostanze inquinanti atmosferiche, si veda l'interessante articolo di MIGLIORINI P., *Le piogge acide e lo scambio ineguale dell'inquinamento atmosferico in Europa*, in «Boll. Soc. Geogr. Ital.», Roma, 1984, pp. 195-208.

(15) TARTARI G. e MOSELLO R., *Caratteristiche chimiche delle acque di pioggia: stato della ricerca e prospettive future*, in *Le piogge acide*, Milano, Angeli, 1984, pp. 45-59; MOSELLO R. e TARTARI G., *Acidification of atmospheric depositions and internal waters: the italian situation*, negli Atti del Congr. Intern. «Lake pollution and recovery», Roma, 1985, pp. 416-425. Ringrazio vivamente i due autori, che mi hanno fatto pervenire abbondante materiale utile per questo lavoro.

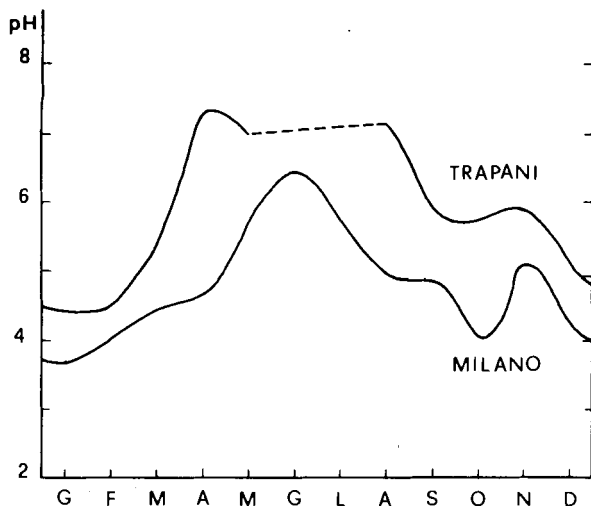


FIG. 6 — VARIAZIONE MENSILE DEL pH A MILANO E A TRAPANI (media 1981-83).

Dalle considerazioni che precedono sono dunque emerse le linee generali della distribuzione geografica delle piogge acide sul territorio italiano. Quali danni esse provocano all'ambiente, ai manufatti e alla salute dell'uomo? Invero, conosciamo in quali settori queste precipitazioni fanno sentire il loro effetto negativo, ma al momento attuale è impossibile precisare l'entità globale di questi danni. Esse infatti, pur conosciute da tempo, solo negli ultimi due decenni sono state studiate intensamente sia nella loro realtà sia nelle conseguenze che determinano. Infatti, finché le capacità chimiche e biologiche dei suoli e dei corpi idrici erano in grado di assorbirne le sostanze inquinanti, le piogge acide non costituivano un vero e proprio problema ambientale, anche perché rimanevano limitate ad aree piuttosto ristrette. Quando poi si è cominciato a costruire ciminiere sempre più alte per ridurre il tasso d'inquinamento locale, si è ottenuto il risultato di immettere le sostanze inquinanti nelle correnti della circolazione atmosferica generale, che le hanno trasportate a grande distanza, facendole ricadere spesso su aree ben determinate. Poiché in Europa le correnti aeree hanno direzione prevalente da O a E (o da SO a NE), in Italia registriamo passaggi di inquinanti tra la Francia ed il nostro territorio e tra l'Italia e la Jugoslavia, nel senso che riversiamo su questo nostro vicino le modeste quantità che riceviamo dalla Francia; le Alpi invece ostacolano gli scambi in senso N-S. Ciò significa che ricadono sul nostro stesso territorio le molte migliaia di t di SO_2 , di particelle solide e di altre sostanze che annualmente scarichiamo nell'atmosfera. Rimane da dire che

VARIAZIONE MENSILE DEL pH DELLE PIOGGE (1984-84)

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Milano	3,6	4,0	4,4	4,6	5,8	6,5	5,6	4,9	4,9	4,1	5,2	4,3
Verona	4,7	4,4	4,3	4,8	4,7	5,1	5,2	4,5	4,1	4,0	4,8	4,9
M. Cimone	5,4	4,3	4,8	4,0	4,9	4,5	5,3	4,5	5,2	5,1	4,6	5,1
Viterbo	4,8	4,4	4,9	4,6	5,1	5,5	—	5,6	4,8	5,1	4,7	5,2
S.M. di Leuca	4,2	4,7	5,2	5,7	5,7	—	7,5	6,8	6,0	5,7	4,8	4,6
Trapani	4,5	4,5	5,5	7,3	7,0	—	—	7,1	5,9	5,7	5,9	4,9

mentre qualche decennio addietro le piogge acide si avvertivano soltanto nell'area milanese, ora colpiscono gran parte dell'Italia settentrionale, le Marche e la Toscana, mentre più a sud i valori di acidità si fanno sempre più modesti (ma non irrilevanti), come già si è visto.

Per quel che riguarda l'impatto ambientale delle piogge acide, si può dire che gli effetti negativi più gravi siano quelli a danno dei vari elementi dell'idrografia superficiale; e in questo ambito, uno degli aspetti più preoccupanti è costituito dall'acidificazione delle precipitazioni che cadono sul versante italiano delle Alpi, per i danni arrecati ai laghi e ai ghiacciai: gli uni e gli altri riserve idriche importanti per i nostri bisogni in continuo aumento. Per quanto riguarda i laghi, è da ricordare un'indagine molto recente condotta dall'Istituto Italiano di Idrobiologia di Pallanza, dalla quale è emerso che su 320 laghi alpini esaminati, soltanto 5 presentano un pH inferiore a 5,6 mentre negli altri la situazione è buona o molto buona, senza alterazioni apprezzabili. Si è poi notato che l'acidità delle piogge diminuisce man mano che si sale verso le alte quote (Pallanza, 210 m, pH 4,31; Lago Devero, 1870 m, 4,83; Lago Toggia, 2160 m, 5,51) dato che le precipitazioni a notevole altitudine risentono assai poco dell'inquinamento proveniente dalla Pianura Padana (16).

L'incidenza delle piogge contaminate sull'ambiente è in relazione anche con la natura delle rocce del bacino in cui sono raccolte le acque lacustri. Infatti il grado di alterazione risulta elevato con rocce a prevalenza silicea, caratterizzate da scarsa capacità di neutralizzare aggiunte di acidità; la situazione invece rimane buona dove i corpi

(16) MOSELLO R. e TARTARI G., *Precipitazioni atmosferiche: caratteristiche chimiche e conseguenze sulla qualità delle acque fluviali e lacustri*, in *Le piogge acide*, cit., pp. 81-88; MOSELLO R., *Hydrochemistry of high altitude lakes*, in «Schweiz. Zeitschr. Hydrol.», Basilea, 1984, n. 1, pp. 86-99.

idrici e i corsi d'acqua sono impostati su rocce e suoli ricchi di calcio, perché in questo caso le acque sono in grado di «tamponare» le precipitazioni intensamente acide (17). In linea generale si può dire che la minaccia rappresentata da questo fenomeno è più grave per i laghi del settore propriamente alpino, sia per le loro modeste dimensioni sia per la natura litologica dei loro bacini (rocce cristalline e metamorfiche) mentre i grandi laghi della regione insubrica si trovano in condizioni più vantaggiose, sia per le loro maggiori dimensioni, sia perché le loro acque hanno maggiori capacità tampone essendo racchiuse tra rocce calcaree; perciò gli effetti delle piogge contaminate sono quasi trascurabili sui nostri grandi laghi rispetto alle modificazioni che questi subiscono in seguito ai fenomeni di eutrofizzazione.

Sono state studiate anche le conseguenze delle piogge acide sulle colture, e ricerche in tal senso sono in corso in vari centri di studio, come la Facoltà di Agraria dell'Università di Pisa, mediante l'ausilio di piante tenute in ambienti artificialmente inquinati. Gli effetti negativi in questi casi risultano evidenti, ma per le colture all'aperto le cose non appaiono altrettanto manifeste. Secondo quanto ci dicono gli specialisti (18), vi sono piante particolarmente sensibili agli effetti negativi degli inquinanti, tanto che esse potrebbero essere utilizzate come indicatori biologici di un'atmosfera contaminata, ma ciò solo quando sapremo interpretare nel modo più preciso i segnali che esse ci forniscono. Infatti le conseguenze dei tossici atmosferici dipendono da molti fattori (clima, natura del suolo, fatti parassitari presenti prima o durante l'esposizione agli inquinanti, ecc.) che possono accentuarle o ridurle; a ciò si aggiunga che le risposte sintomatologiche dei vegetali a concentrazioni piuttosto basse di inquinanti non sono perfettamente distinguibili. Nonostante queste difficoltà, è opportuno perseverare nelle ricerche in corso, come suggeriscono anche i tecnici della Comunità Europea, in quanto il monitoraggio biologico può fornire elementi preziosi da unire ai dati che ci forniscono gli strumenti.

Se poco finora si è detto e scritto sui danni che subiscono le piante coltivate, si è fatto invece un grande clamore sugli effetti delle piogge acide sulle foreste. Anche in questo caso però le cose non sono mol-

(17) MOSELLO R. e TARTARI G., *Chemistry of the precipitation in the Lake Maggiore watershed (Northern Italy)*, in «Mem. Ist. Ital. di Idrobiol.», 40, Verbania, 1982, pp. 163-180. Vi è poi un altro fattore geografico, oltre alla natura delle rocce, che entra in gioco, cioè l'esposizione dei versanti montani. Infatti i versanti sopra vento, sui quali si registrano le precipitazioni più abbondanti, hanno anche valori accentuati di acidità se le masse d'aria umida che abitualmente vi si scaricano provengono da regioni industriali, fonti di intense emissioni.

(18) LORENZINI G., *I vegetali come indicatori biologici degli inquinanti atmosferici: possibilità applicative*, in «L'Informatore Agrario», Verona, 1981, pp. 17191-17201. L'autore ha ripreso e ampliato tali argomenti nel recente volume LORENZINI G., *Le piante e l'inquinamento dell'aria*, Bologna, Edagricole, 1983.

to chiare, se è vero che nella Scandinavia, dove molti laghi muoiono, le foreste godono ottima salute; è vero peraltro — e senza ombra di dubbio — che in Germania estesi boschi della Westfalia e della Franconia sono stati fortemente danneggiati dalle acque piovane inquinate. Danni alle foreste dovuti a queste cause sono stati segnalati anche in alcune regioni della Francia e della Svizzera. In Italia è in corso un'ampia ricerca al riguardo a cura del Ministero dell'Agricoltura, ma dai risultati finora ottenuti sembra che solo il 3-5% dei boschi sia stato colpito da danni dovuti alle piogge acide; risulta inoltre che le conifere ne risentono più delle latifoglie (19).

Gravi sono anche i danni arrecati dalle piogge acide agli edifici e ai monumenti all'aperto. Su tale argomento esiste da noi una vasta letteratura, dato che nel nostro paese questa degradazione si è fatta piuttosto preoccupante in numerose città: è noto il deterioramento di certi monumenti di Venezia e di Roma (Arco di Tito, Colonna Traiana, ecc.). Poiché i meccanismi mediante i quali avviene tale aggressione sono ormai ben noti, in questa sede basterà ricordare che gli inquinanti atmosferici contenuti nelle acque piovane (o nelle nebbie) aggrediscono le opere umane in due modi diversi: attraverso reazioni chimiche tra i polluenti stessi e determinati composti che costituiscono i materiali dei monumenti e degli edifici (trasformando, ad esempio, il calcare in gesso), oppure mediante un processo indiretto; in questo caso le sostanze estranee presenti nelle acque meteoriche, una volta depositatesi sulla superficie dei manufatti, possono dar luogo a un substrato nutritizio utilizzato da certi microrganismi, i quali, moltiplicandosi, riescono ad alterare i materiali su cui si insediano.

Infine, si dovrebbe far cenno delle conseguenze negative delle piogge acide sulla salute dell'uomo. Quest'ultima, invero, riceve le minacce più gravi dagli inquinanti allo stato gassoso o di aerosol, più che dalle acque piovane alterate. Non dobbiamo però trascurare gli effetti negativi indiretti derivanti dall'utilizzazione di acque potabili affette da inquinamento acido,* al quale spesso si accompagnano metalli tossici provenienti non solo dall'atmosfera contaminata ma anche dalle molte sostanze che spargiamo sul terreno in conseguenza di varie attività agricole e industriali. Così, gli effetti dell'inquinamento atmosferico si sommano, purtroppo, a quelli della contaminazione delle acque e del suolo. Fortunatamente le prime importanti iniziative intese a fronteggiare gli effetti negativi derivanti dalle piogge acide sono state intraprese. Infatti la Comunità Europea, sollecitata dal fatto che queste precipitazioni riportano al suolo inquinanti prodotti in aree lontane,

(19) GELLINI R. e CLAUSER F., *Prime indagini sul deperimento dei boschi in Italia*, Roma, Min. dell'Agric., 1986 («Collana Verde», 72).

anche al di là dei confini di Stato, ha gettato le basi di una politica contro la contaminazione atmosferica e in particolare contro «gli inquinamenti onnipresenti, come l'anidride solforosa, gli ossidi di azoto e le particelle in sospensione». L'obiettivo di questa politica è quello di giungere a una graduale diminuzione del carico inquinante agendo con leggi capaci di regolare, in modo sempre più severo, le varie forme di emissione. Questa politica assume per il nostro paese una rilevanza particolare. Infatti, avendo ridotto drasticamente i nostri programmi nucleari, nel prossimo avvenire dovremo ricorrere a una utilizzazione sempre più intensa del carbone: questa circostanza porrà certamente gravi problemi di inquinamento per alcune regioni. Sarà perciò necessario prendere misure specifiche per ridurre le emissioni provenienti dalle centrali termoelettriche e sviluppare in tutti i settori dell'industria nuove tecnologie meno inquinanti. Abbiamo, del resto, l'obbligo di fare questo, perché l'Italia ha aderito, insieme con gli altri paesi della Comunità, alla «Convenzione sull'inquinamento transfrontaliero a grande distanza» e ciò significa che si è impegnata a rispettarne le norme e i principi.

L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO E LA SALUTE DELL'UOMO

Tra i molti effetti negativi della contaminazione atmosferica i più gravi e preoccupanti sono quelli che colpiscono la salute dell'uomo. La medicina ha studiato i danni provocati sull'organismo umano da ciascuna delle principali sostanze tossiche presenti nell'atmosfera, riuscendo a chiarire in alcuni casi i meccanismi di aggressione propri di quei polluenti e ha tenuto conto del fatto che l'alterazione dello stato di salute non deriva quasi mai dall'esposizione, per quanto prolungata, all'azione di un singolo inquinante, ma è la conseguenza dell'azione sinergica di vari agenti chimici, fisici e biologici ai quali siamo inevitabilmente esposti, data la loro presenza nell'aria che respiriamo. Anche se molti processi sono ormai noti, rimane difficile individuare con certezza l'incidenza dell'inquinamento atmosferico sulla salute di una collettività. Ciò dipende da due ragioni essenziali. La prima deriva dal fatto che gli abitanti più esposti alla contaminazione dell'aria sono quelli residenti nelle zone urbane; questi, in verità, sono bersaglio di inquinanti di ogni tipo (contenuti nell'acqua, nei cibi, ecc.) e di conseguenza sono più vulnerabili di altri alle aggressioni delle sostanze tossiche. Vi è però da dire che le popolazioni urbane, come i geografi ben sanno, differiscono da quelle delle aree rurali non solo per ciò che riguarda l'esposizione agli inquinanti atmosferici, ma anche per le abitudini di vita, le attività professionali, la struttura demografica, ecc. Tutte queste variabili incidono notevolmente sullo stato di salute e di benessere degli abitanti. Pertanto non è possibile attribuire con certezza

all'esposizione ai tossici atmosferici gli indici più elevati di morbosità o di mortalità per determinate patologie eventualmente registrati nelle popolazioni urbane, dato che quei valori possono essere conseguenza di certe abitudini di vita e di lavoro, nonché della debilitazione dell'organismo a causa dello stress proprio della vita urbana. In altri termini, non possiamo fare in ogni circostanza quelle comparazioni che pure saremmo tentati di stabilire, né riusciamo a isolare nella collettività urbana gli effetti patologici dell'inquinamento dell'aria.

L'altra difficoltà nasce dal fatto che l'azione di questo fenomeno sulla salute è molto lenta, per cui gli effetti, pur avendo carattere cumulativo, non si avvertono, soprattutto nella fase iniziale. Per questa ragione molti cittadini non attribuiscono la dovuta importanza all'inquinamento atmosferico come minaccia per la salute. È certo però che lentamente ma con continuità l'apparato respiratorio delle persone esposte all'aria contaminata si indebolisce e diventa vulnerabile: in tal modo si gettano le basi per la bronchite cronica acuta e per altre malattie molto più gravi. Secondo una giusta osservazione di G. Gilli e collaboratori (20), le patologie croniche a carico dell'apparato respiratorio causate dall'inquinamento atmosferico assumono nelle grandi città le dimensioni di «alterazioni endemiche dello stato di salute», che però raramente sono caratterizzate da momenti di particolare gravità. Nella stagione invernale può aversi quindi una situazione di patologia diffusa da aria contaminata che non si riesce a individuare sia per la relativa staticità temporale del fenomeno, che rende difficile percepire i mutamenti nelle condizioni medie di salute della popolazione, sia perché non tutti i servizi sanitari dispongono di una rete informativa efficiente. Soltanto un episodio grave e acuto, che si abbatta su una città, può spingere il pubblico a protestare per il continuo incombere dell'inquinamento atmosferico, a richiedere strutture sanitarie adeguate a fronteggiare questo pericolo e infine a prendere consapevolezza dei rischi derivanti dal vivere in un'atmosfera alterata dalla presenza di sostanze tossiche. Questi episodi intensi possono essere considerati come fenomeni epidemici che colpiscono la popolazione, determinando in breve tempo in essa elevati valori di morbosità e di mortalità; ed è proprio il loro carattere di evento acuto ma transitorio (3-4 giorni al massimo) che li isola dalla situazione normale e li rende particolarmente evidenti.

Da tempo i medici specialisti di igiene ambientale hanno rivolto la loro particolare attenzione alle bronchiti acute e croniche allo scopo

(20) GILLI G., CORRAO G. e SCURSATONE E., op. cit., pp. 128-129. In base agli studi dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, con una concentrazione media annua di circa 100 microgrammi di SO_2/m^3 e di 100 microgrammi di fuliggine $/\text{m}^3$ intervengono modificazioni polmonari in determinate persone (anziani e bambini).

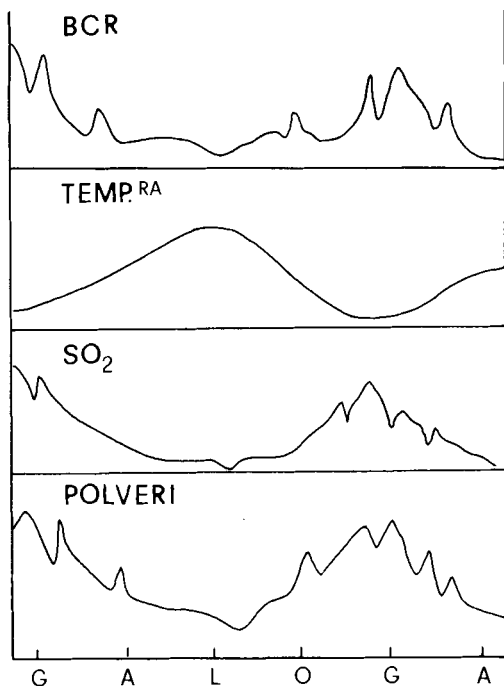


FIG. 7. — ANDAMENTO DEI RICOVERI PER BRONCHITE CRONICA RIACUTIZZATA, DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA, DELLA CONCENTRAZIONE DELLA SO_2 E DELLA CONCENTRAZIONE DELLE POLVERI NEL PERIODO 1° GENNAIO 1975 - 30 APRILE 1976.

(Da W. Arossa e altri, semplificato).

di ricercare le metodologie più adatte per individuare e verificare l'associazione fra livelli elevati di inquinamento atmosferico e l'incidenza di queste affezioni. Tra le non molte ricerche finora condotte in Italia su situazioni specifiche merita un cenno quella di W. Arossa e collaboratori (21) riguardante il numero di ricoveri per bronchite acuta registrati a Torino dal gennaio del 1975 all'aprile dell'anno successivo. Gli autori hanno messo in relazione l'oscillazione mensile del numero dei ricoveri con l'andamento della temperatura dell'aria e con quello della concentrazione dei due inquinanti atmosferici principali, l'anidride solforosa e le polveri di varia natura. Da questo studio appare evidente la strettissima relazione fra alta intensità dell'inquinamento, alto numero di ricoveri e bassi valori della temperatura dell'aria (fig. 7). Gli autori osservano giustamente che il fattore climatico esercita un'azione diretta e una indiretta: un'azione diretta in quanto le basse temperature favoriscono l'attacco da parte degli agenti microbici e ne accentuano la virulenza; una indiretta in quanto ad un abbassamento

(21) AROSSA W. e altri, *Ospedalizzazione per bronchite cronica riacutizzata ed inquinamento atmosferico nella città di Torino*, in «Medicina del Lav.», Roma, 1978, vol. 19, n. 4, pp. 542-551.

della temperatura corrisponde una maggiore intensità e un più largo uso del riscaldamento degli edifici, causa tra le più importanti dell'immissione nell'atmosfera dell'anidride solforosa e delle particelle solide, responsabili a loro volta del riacutizzarsi delle forme croniche di bronchite. È interessante infine rilevare che un'analoga ricerca condotta dagli stessi studiosi sull'eventuale relazione tra numero di ricoveri ed episodi di alta concentrazione di ossido di carbonio e ossidi di azoto non ha messo in evidenza alcuna correlazione significativa.

In ogni caso lo stretto rapporto fra estesi insediamenti urbano-industriali e alta incidenza di malattie da inquinamento atmosferico non può essere messo in dubbio. Esiste, quindi, una precisa *distribuzione geografica* di queste patologie che si può così sintetizzare: la loro frequenza è maggiore nelle grandi conurbazioni e minore nelle aree rurali e montane; è maggiore nelle regioni settentrionali che in quelle meridionali, ma con questa ulteriore differenza: mentre nel Nord l'inquinamento atmosferico, con le relative patologie, trova diffusione su larghi spazi senza soluzione di continuità (se pur con diversa intensità), nel Centro e soprattutto nel Sud è limitato a certe «isole» costituite dalle grandi città (Roma, Napoli, Palermo) e dai porti in cui si trovano centrali termoelettriche o impianti di raffinazione del petrolio. Ce ne offre la conferma un'indagine condotta negli anni '70 dal Ministero della Sanità in merito all'incidenza dell'inquinamento atmosferico sulla salute degli abitanti. Quell'indagine, dopo aver accertato lo stretto rapporto di cui si è fatto cenno qui sopra, aveva condotto anche alla suddivisione del territorio italiano in aree ad alto, medio e basso rischio (fig. 8). Le prime, che allora comprendevano il 20% della superficie e il 40% della popolazione italiana, unite a quelle che si potevano definire a medio rischio, coprivano gran parte dell'Italia settentrionale, mentre in quella centro-meridionale si distribuivano prevalentemente lungo le coste. Rimanevano immuni dall'inquinamento atmosferico le aree alpine, e in particolare quelle più elevate, quasi tutta la zona assiale appenninica, la Calabria e la Sardegna. Questa distribuzione, con qualche allargamento qua e là, può ritenersi valida ancora oggi.

Nel concludere, non posso che ripetere quanto ho detto più volte nel corso della trattazione, e cioè che le attività industriali, sospinte dalle nostre aspirazioni verso un tenore di vita sempre più elevato, hanno come conseguenza inevitabile la contaminazione dell'atmosfera, e non solo di questa. Ed è amaro dover accettare l'idea che ormai un certo grado di inquinamento esiste costantemente, e che di fronte a questo dato di fatto possiamo soltanto unire l'esigenza che non si raggiungano certi livelli di concentrazione, al di là dei quali si hanno fenomeni morbosi palesemente originati dall'aria contaminata. Tale stato di cose non è certo confortante, tutti ce ne rendiamo conto, ma se ormai è impossibile — come dicevo all'inizio — ritornare alla desidera-

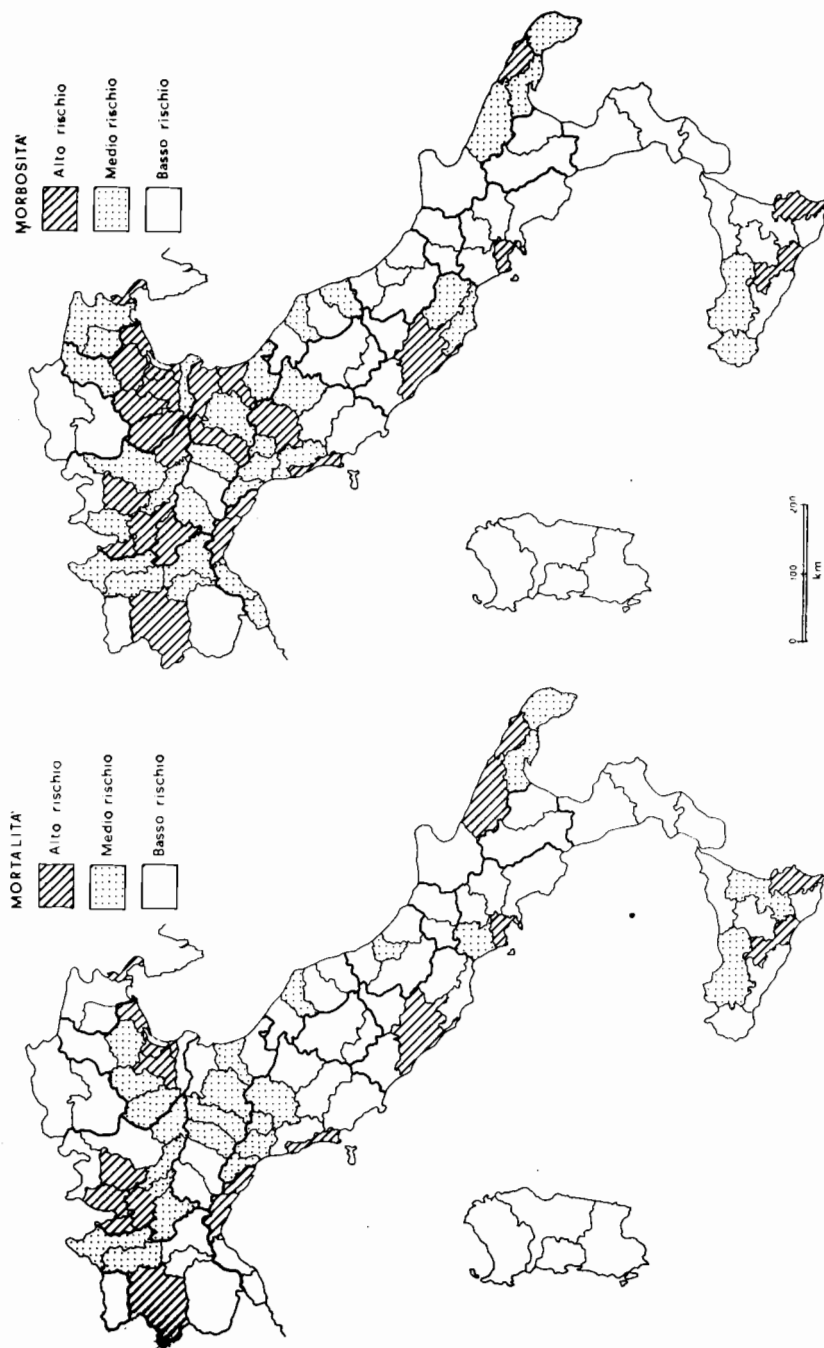


FIG. 8 — RISCHIO EPIDEMICO DA INQUINAMENTO ATMOSFERICO NELLE PROVINCE ITALIANE, SECONDO IL MINISTERO DELLA SANITÀ.

ta «aria pura» di un tempo, dobbiamo almeno cercare di fissare dei limiti di concentrazione piuttosto bassi, e impegnarci a non raggiungerli in alcuna circostanza. In ogni caso, una lotta attiva contro l'inquinamento atmosferico rimane possibile, quando vi sia la volontà di condurla. Un primo grande passo sarà compiuto quando tutti i paesi della Comunità Europea avranno deciso di far rispettare le norme e i valori limite fissati dagli esperti e avranno creato anche gli organismi specializzati per tenere sotto costante controllo la qualità dell'aria. Rispettando queste norme, non solo proteggeremo la salute della nostra popolazione, ma anche quella dei paesi confinanti, in base al principio «non inquinare il vicino», stabilito pur esso dalla Comunità e di recente riaffermato in occasione della ratifica della già citata «Convenzione sull'inquinamento transfrontaliero a grande distanza» (*Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*, 1983). Inizi promettenti, certamente, ma possiamo chiederoci, in una riflessione finale, se queste norme e questi principî siano stati adottati da tutti i paesi (22). Se teniamo conto di quel che accade non solo in Italia ma anche negli altri Stati che a quella convenzione hanno aderito, non vi è da stare molto tranquilli, come prova del resto il fatto che numerose proposte di risoluzione presentate al Parlamento europeo per ridurre drasticamente la quantità delle sostanze inquinanti nell'atmosfera non si sono tradotte in direttive e tanto meno in programmi d'azione. Rimangono dunque forti resistenze, soprattutto di origine industriale, a frenare lo slancio di coloro che lottano per la difesa dell'ambiente. È vero peraltro che solo dopo aver superato queste opposizioni (comprensibili, se si vuole, ma non certo giustificabili) potremo dire di aver fatto un bel passo in avanti nella campagna per la qualità della vita.

THE ATMOSPHERIC POLLUTION IN ITALY. SOME ECOLOGICAL AND CLIMATIC NOTES. — The author demonstrates that atmospheric pollution can be fought with suitable laws, supported by a strong political will, even if pollution has reached in some cities and industrial districts a really high level.

The three most important aspects of this pollution have been taken into consideration: the situation of inversion of temperature as ground for smog, greenhouse effect and acid precipitation. Of these phenomena have been considered geographical distribution and yearly variation.

In his conclusion the author considers the connection between atmospheric pollution and human health, with particular attention to the urban environments.

Università di Pisa, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio.

(22) I problemi che si pongono in due paesi confinanti con l'Italia sono discussi nei due articoli: ESCOURROU G., *La pollution atmosphérique en France*, in «Rev. Géogr. de l'Est», Nancy, 1981, pp. 163-184; WANNER H. e HERTIG J.A., *Studies of Urban Climates and Air Pollution in Switzerland*, in «Bull. Amer. Meteorol. Soc.», New York, 1984, pp. 4-11.