

ALDO SACCHETTI

ABC dell'ecologia

ALDO SACCHETTI

L'INCOMPATIBILITÀ BIOLOGICA DELLO SVILUPPO INDUSTRIALE, FONDAMENTO SCIENTIFICO DEL MOVIMENTO ECOLOGISTA

*I processi tecnologici degradano
l'informazione di quelli biologici*

Circa tre milioni di anni fa cominciammo a fabbricare i primi rudimentali strumenti: i ciottoli scheggiati. E più di un milione di anni sono occorsi per migliorarne la punta, i margini taglienti. Appena un centinaio di secoli ci separano dalla riduzione degli animali in cattività e meno dall'origine del mercato e dello schiavismo. Un'immaturità tipicamente infantile caratterizza l'uomo, ancora incapace di un corretto rapporto con i propri simili e di armonizzare il suo pensiero con il più ampio sapere della natura.

I nostri strumenti hanno raggiunto la complessità delle centrali nucleari, degli stabilimenti automatizzati che ogni giorno generano altre macchine a migliaia. I flussi chemioenergetici antropogenici sono divenuti colossali: in un anno i minerali estratti dalle viscere della Terra si contano a decine di miliardi di tonnellate, a centinaia di milioni di t. le materie plastiche sintetizzate dall'industria, mentre l'energia degradata supera i 300.000 miliardi di megajoules (pari a oltre 80 mila miliardi di kWh).

Volgendosi indietro non si può non rimanere stupefatti per quanto la società industriale ha saputo realizzare. Meno di tre secoli fa l'energia meccanica era ancora quella dell'acqua o del vento, del lavoro umano e animale. Appena sceso da cavallo l'uomo si è avventurato fra le stelle.

Appagare ogni capriccio è la droga ideale per dissolvere la realtà in un'illusione di potenza (in particolare se la conseguente anestesia morale fa velo alla consapevolezza del tributo pagato in termini di sofferenze umane, conflitti sociali, culture e valori obliterati, dilapidazione di risorse, decadimento biologico). È comprensibile quindi l'arroganza che la civiltà tecnologica ostenta nel ritenersi ormai arbitra assoluta della natura e della propria storia.

Considerazioni fisiche fondamentali, tenute accuratamente in sordina, costituiscono però di ogni base scientifica sia la possibilità del «dominio», sia quella di continuare a muovere flussi chemioenergetici di tale intensità nell'angusto spessore dei 10-20 km. di biosfera, la sottile pellicola che avvolge il glo-

bo e rimane l'unico spazio del sistema solare fisicamente compatibile con la vita.

Innanzitutto, per le ferree leggi della termodinamica questa febbrile attività trasformativa dà luogo a un'intensa, ineluttabile dissipazione di materia ed energia: dissipazione avvertibile come macroscopico aumento di rifiuti, ma assai più grave nella dimensione implicita e occulta del crescente disordine molecolare che sta trascinando il pianeta verso il caos.

Le nostre percezioni sono inevitabilmente limitate dalla soglia di attivazione dell'apparato sensoriale: ciò che è subliminale non può destare attenzione. Tuttavia l'impercettibile è altrettanto presente, effettuale e interattivo del percettibile. Ci è consueto cristallizzare in una forma, un nome, un contesto ogni essere vivente. Eppure nessun essere è stabile. L'organismo biologico è un sistema aperto, alimentato da una corrente continua di materia-energia. Un «trasformatore» che, a differenza delle macchine costruite dall'uomo, è esso stesso il prodotto dinamico di quella corrente. Il che spiega da una parte la continuità filogenetica e dall'altra l'irripetibilità di ogni essere, il suo ininterrotto divenire, sì che il soggetto di oggi è diverso da quello di ieri e, in ogni istante, da quello di prima. Quando la corrente viene meno o diventa incompatibile con gli equilibri omeostatici, l'organismo biologico muore e si dissolve nell'anonimato fisico e chimico dell'ambiente.

Non v'è atomo in noi che non provenga direttamente o indirettamente dall'esterno. Il flusso chemioenergetico che sostanzia la vita dell'individuo e della biosfera è solo un aspetto del più universale flusso che plasma, muta e disperde tutte le cose. Si calcola che nel volgere di qualche millennio l'insieme delle reazioni ossidative cellulari di tipo respiratorio assorba l'intera massa dell'ossigeno atmosferico, mentre la fotosintesi clorofilliana la reintegra compiutamente. Ciò significa che i miliardi di miliardi di molecole di ossigeno introdotte a ogni respiro sono tutte passate più volte nelle strutture biologiche.

Poiché la vita ricicla sempre la stessa materia (non più di 27 elementi chimici, meno di un terzo di quelli naturalmente presenti nel pianeta), utilizzare sostanze che hanno già animato altri esseri è normale. Nell'economia dell'informazione appare logico che il controllo dell'interscambio quotidiano con l'ambiente, a livello molecolare, sia svincolato dalla sfera cosciente.

Nondimeno i titanici sovvertimenti ambientali determinati dallo sviluppo industriale hanno creato problemi nuovi alla biologia, perché anche sostanze xenobiotiche tratte alla luce dalle profondità del sottosuolo e disperse nell'ecosfera, così come le molecole di sintesi prodotte dall'uomo, vengono incorporate dagli organismi viventi. Se la concentrazione del piombo nei ghiacci della Groenlandia e dell'Antartide è aumentata centinaia di volte negli ultimi due secoli, analogo è l'innaturale accumulo, nella più nascosta trama dei nostri tessuti, di elementi e composti tossici e cancerogeni, rilevabili perfino nel sangue dei neonati.

Contemporaneamente molteplici forme di energia di origine antropica (rumori, ultrasuoni, infrasuoni, radiazioni ionizzanti, onde elettromagnetiche) alterano, con

processi impercettibili, le caratteristiche bioelettriche e le proprietà informative delle microstrutture vitali.

Ma le regole del gioco biologico, fissate nell'ordinamento cellulare miliardi di anni fa, non possono essere impunemente violate. Tutti gli esseri, animali o vegetali, sono espressione di uno specifico assetto molecolare consolidato nel lungo corso della filogenesi e codificato nel patrimonio genetico con il medesimo alfabeto. Ogni attimo, all'interno di ogni cellula e dell'intero organismo, infiniti messaggi biochimici intrecciano un dialogo armonico, un flusso di informazione immanente che costituisce il supporto fisico, geneticamente programmato, dell'esistenza. Perciò il disordine chemioenergetico provocato dall'industria è processo antagonista alla vita. Il dilagare, nei paesi sviluppati, del cancro, dell'aterosclerosi e di altre malattie degradative sempre più numerose e imprevedibili ne è una precisa conferma epidemiologica.

L'esperienza storica ci porta istintivamente a respingere la guerra come estremo limite della brutalità distruttiva. E la potenza apocalittica degli ordigni elaborati dall'industria non può che corroborare questa opposizione. Individuiamo le cause prime della violenza - seppure in una vasta gamma di interpretazioni filosofiche e sociologiche - nel mito del potere (sostenuto dal successo egemonico della specie) e nell'atrofia morale indotta dai principi materialistici del produttivismo. Ma «credere che con valori non perversi potremmo sconfiggere le leggi naturali riflette una visione davvero perversa della realtà» (N. Georgescu-Roegen).

Le leggi di degradazione di materia ed energia rendono conto della dimensione dissolutrice e antibiologica dello sviluppo industriale, giacché non è possibile costruire e far lavorare le macchine senza dissipazione di materia, così come non si può impedire che il disordine molecolare dell'ambiente determini un disordine ancora più grave nei protoplasmici.

L'attacco alla vita è oggi drammatico, planetario. Avvelenamento dell'aria, del suolo, dell'acqua, degli alimenti: specie animali e vegetali che scompaiono, foreste abbattute dall'uomo o deteriorate da piogge acide e tossiche, terreni fertili erosi, deserti che avanzano. La rapida necrosi della biosfera è il fatale epilogo di una civiltà che ha contrapposto mente e materia, pretendendo di valutare l'universo in termini deterministici e quantitativi, quali si addicono appunto al dominio delle macchine. La morte della natura, già intrinseca alla cultura meccanicistica, fu anzi il «presupposto necessario dell'aggressione manipolatrice» per avviare «sia lo sfruttamento delle risorse, sia l'ideale scientifico della conoscenza di un mondo reso prevedibile, e perciò controllabile, proprio dal suo carattere passivo e inanimato» (E. Donini).

Opporsi con fermezza alla guerra rimane esigenza prioritaria, ma non basta a contrastare il coerente approdo di una ideologia che affida i destini umani alla disponibilità di beni abiotici e di energia. È sempre più evidente che la libertà e la pace tra gli uomini, l'armonia con la natura, non possono essere perseguite senza ripudiare le premesse antropologico-culturali della civiltà produttiva: la ragione come strumento utilitaristico di potere, l'assoluto egemonismo dell'uomo nell'ecosfera, il primato dell'economia nella società.

Per superare le tensioni sociali da essa stessa provocate, l'industria mira a conciliare nell'abbondanza, nell'appetibilità dei prodotti gli interessi di produttori e «consumatori»: questi vengono spinti a identificare nel proprio status di fruitori di beni e di servizi, nella soddisfazione di sempre nuovi bisogni, il piacere della vita e la stessa immagine del progresso. La produzione, astratta dalle leggi biologiche quanto da quelle fisiche termodinamiche, è riguardata come la nuova causa del contratto sociale. Crescenti disponibilità di risorse e di energia dovrebbero garantire il benessere dell'umanità. Se non che, mentre le risorse si vanno dissipando e trasformando in rifiuti, la disputa per il possesso di quelle ancora dotate di valore economico alimenta una conflittualità irriducibile, fonte di periodiche esplosioni parossistiche. Esplosioni differite solo volgendo le tensioni all'esterno della specie, nel saccheggio della natura. Le congiunture favorevoli, per altro sempre più effimere, sono quelle in cui il livello di dissipazione è più elevato.

Il quoziente antibiologico che sta alla base dello «sviluppo» sembra non lasciare alternative tra una fine repentina, bellica o accidentale, e quella da intossicazione progressiva e degradamento sociale. Se nel suolo, nelle acque, nell'aria vanno obliterandosi i presupposti fisici della vita, il delirante distacco dalla Madre Terra già prefigura la salvezza in un'assurda fuga nei deserti siderali.

Mai civiltà è apparsa tanto fragile, cultura tanto avulsa dalla realtà. L'amministrazione pubblica e i governi si ispirano univocamente a teorie economiche illusorie, secondo cui all'aumento della produzione industriale corrisponde crescita di ricchezza per un mondo più ordinato. Il valore delle cose viene riferito esclusivamente all'uso e al mercato, come se esse venissero dal nulla e tornassero nel nulla. Nessuna valenza è attribuita all'esaurimento delle risorse non rinnovabili, all'aumento dei rifiuti, all'alterazione dei parametri ambientali che condizionano la vita e di quelli omeostatici all'interno degli organismi biologici.

Ma la scienza termodinamica smaschera la povertà di quella economica. Se ogni lavorazione comporta, in qualche misura, dissipazione irreversibile di materia e di energia, l'utilità (temporanea) del prodotto industriale viene pagata, anche in termini economici, come una perdita (permanente) di beni non rinnovabili. Ogni processo tecnologico presenta un bilancio negativo nei riguardi del patrimonio fisso utilizzabile della crosta terrestre, del quale riduce in tutti i casi la disponibilità. «Sotto questo profilo, il prodotto nazionale lordo rappresenta, più esattamente, il costo nazionale lordo» (J. Riskin). Costo che grava sulle generazioni future ed è la vera e ineliminabile causa di degradazione e inflazione in ogni economia industriale (a base pubblica o privata).

Nello stesso tempo il vertiginoso incremento del disordine molecolare richiede un controllo generalizzato dell'ambiente e delle stesse strutture biologiche, sempre più colpite da processi degradativi delle cellule e dei tessuti. E mentre le libertà native declinano, si erodono anche le premesse essenziali della democrazia. L'uomo è ridotto a «consumatore», a produttore di rifiuti eterodiretto mediante le tecniche di persuasione occulta più raffinate. Renderlo tale è il successo unificante e propiziatorio del mercato industriale. E i consumatori, non potendo distinguere la miriade di molecole tossiche e le radiazioni (ionizzanti

e non) da cui vengono aggrediti, sono di fatto espropriati di quell'autonoma capacità di percepire le insidie che ha consentito la sopravvivenza della specie per milioni di anni. Ultima atipica classe sociale, una «metaclassa» che virtualmente comprende la totalità della popolazione, non potranno mai essere veramente «tutelati». Sono schiavi senza speranza. L'angoscia della diffidenza è l'intimo attributo della nuova condizione esistenziale. Indipendentemente dall'efficienza e dalla democraticità delle istituzioni, essere costretti a delegare a queste in maniera completa e irrevocabile la propria difesa non costituisce una garanzia: è impossibile controllare un processo di accelerata entropia molecolare, disinformativo per definizione.

Paradossalmente la chiamiamo civiltà dell'informazione, della programmazione, del controllo. Ma gli ingegneri e i chimici che dovrebbero assicurare l'ordine tecnologico pianificato non sono onniscienti e non conoscono, neppure essi, gli effetti ecobiologici a lungo termine delle proprie azioni. La chimica dell'industria non è la chimica della vita. La biosfera, per quanto ne sappiamo, si arricchisce articolando diversamente le stesse molecole di base: i cinque nucleotidi che custodiscono e traducono, nel pianeta, tutta l'informazione geneticamente programmata, e la ventina di amminoacidi con cui vengono costruite le proteine di tutti gli esseri viventi. Marchio di fabbrica garantito da un'esperienza antica quanto la vita stessa (più di tre miliardi e mezzo di anni di interazione costante e globale con l'ambiente).

L'evoluzione biologica non può rinunciare ai presupposti fisici fondamentali che ne consentono la continuazione: esige sempre, rigorosamente, la compatibilità con lo stato preesistente, la coerenza interna dell'organismo e quindi, soprattutto, la conservazione delle strutture formali cellulari e dei modelli funzionali elementari comuni a tutti gli esseri viventi. In primo luogo l'immutabilità del sistema formato da quei cinque nucleotidi e da quella ventina di amminoacidi, che costituisce la trama informativa e catalitica del divenire vitale. L'evoluzione naturale, inoltre, premia la sopravvivenza della biosfera rispetto a quella delle singole specie e le sorti delle specie rispetto a quelle dell'individuo. Essa, per mezzo di circuiti causali autocorrettivi, intesi a mantenere gli equilibri dinamici ai vari livelli, evita accuratamente finché possibile i «circoli viziosi», ossia i processi irriducibilmente divergenti, «schismogenici», tipici del declino terminale degli individui e delle specie (come pure di tutte le civiltà).

I criteri informatori della società industriale sono antitetici a quelli della biologia. Funzionale allo sviluppo dell'industria (cioè dell'apparato strumentale esosomatico, estraneo ai flussi vitali), questa società ignora ogni incompatibilità e cancella tutto ciò che non è omogeneo alla propria dinamica unidimensionale. Sotto la maschera della razionalità tecnologica contrabbanda i processi schizogenici insiti nell'eversione antinaturalistica.

L'ordine, la programmazione, il controllo, presuppongono la conoscenza. E l'uomo, fisicamente vincolato nell'esperienza del mondo esterno, mediata dalla codificazione e decodificazione soggettiva di messaggi, non potrà mai raggiungere una conoscenza meramente oggettiva e integrale della realtà. Egli (anche prescindendo dal carattere personale e transeunte delle sue valutazioni) progetta

in una prospettiva necessariamente definita, isolando e interpretando singole serie causali secondo una logica particolaristica, che non è quella universale della natura. «Le regole dell'universo che crediamo di conoscere sono sepolte nel profondo dei nostri processi di percezione» (G. Bateson). Per questo l'«epistemologia è sempre e inevitabilmente personale». E, del resto, la storia della cultura riflette quella dei limiti umani.

La coscienza dei vincoli fisici non deve indurre disperata rassegnazione, ma temperanza e modestia. La saggezza è, da sempre, consapevolezza di limiti. E in ciò, tuttavia, li trascende, per quel tanto di capacità, acquisita nell'evoluzione, di intuire e generalizzare, di cogliere le linee di un universo naturale coerente, tutto connesso da un fitto tessuto di sottili equilibri. È affascinante pensare in termini olistici alla natura (e a noi stessi, che ne siamo parte) come a una «danza di parti interagenti». Danza intrecciata a livello atomico, molecolare, cellulare, sistemico, cosmico. È immaginare che il progetto genetico dell'organismo adulto, già racchiuso nello zigote, sia espressione delle medesime leggi che regolano il processo informativo in ognuna dei 50-100.000 miliardi di cellule del nostro corpo, così come in tutta la sconfinata serie di strutture viventi.

Ogni molecola fisiologica del flusso alimentare e respiratorio porta un messaggio di antica origine alla costruzione e al mantenimento dell'ordine somatico geneticamente programmato. Il processo di comunicazione codificato nelle parole forse non è dissimile da quello codificato nelle molecole biologiche (coinvolte entro di noi in infinite reazioni chimiche al secondo, armonicamente modulate e coordinate) e sembra giustificare la convinzione che il nostro conoscere sia soltanto «una piccola parte di un più ampio conoscere integrato che tiene unita la biosfera» (G. Bateson).

Certo, sotto questa angolazione, la pretesa di controllare, programmare tutto, conferire ordine alla natura, si mostra puerile e, per la dimensione, tragica. Ciò che secondo i nostri schemi mentali può essere ordinato (una città razionalmente pianificata, un congegno elettronico, un oggetto di plastica) per la biosfera è «not self», marginale agli equilibri che assicurano la continuità del flusso informativo nella materia viva.

L'interpretazione di un messaggio è data dal contesto che lo riceve: le strutture riceventi biologiche si sono selezionate in tempi lontani, nel corso della filogenesi, e non possiamo modificare a discrezione la grammatica, nè tanto meno l'alfabeto che le ha plasmate. Agli organismi viventi giungono messaggi «strutturanti» dalle molecole organiche e dagli elementi chimici che si inseriscono nel loro programma metabolico predeterminato. La catastrofe di Chernobyl ha volgarizzato la nozione che lo iodio trova nelle cellule follicolari della tiroide un contesto programmato per la sua utilizzazione biologica, attraverso processi enzimatici coerenti che lo incorporano in una proteina specifica sintetizzata dalla stessa ghiandola. Ma il piombo, il mercurio, i pesticidi e la maggior parte dei milioni di molecole xenobiotiche dissipate dall'industria non arrecano alcuna informazione ai tessuti viventi. Anzi esercitano su di essi un'azione «destrutturante», aggreddendo molecole fisiologiche e squilibrando

intere catene metaboliche. Il messaggio ordinato di vita diviene una disinformazione degradatrice, di morte.

A questo livello di conoscenza, quale che sia la propria concezione del mondo, ciascuno ha il dovere di confrontarsi, senza diaframmi ideologici, con i nuovi orizzonti che la termodinamica e la teoria dell'informazione aprono all'intelligenza della biologia, dei processi produttivi e di tutte le trasformazioni operate dall'uomo. È inutile disquisire di problemi particolari (concreti o teorici) e dividersi in schieramenti secondo un approccio tradizionale, se prima non si dà risposta alla discriminante di fondo, circa la compatibilità biologica dello sviluppo industriale. Compatibilità non solo quantitativa (in relazione alla portata del flusso chemioenergetico attivato dall'industria), ma soprattutto qualitativa, circa l'idoneità fisiologica di quel flusso rispetto al trasformatore vivente. Approdati in due secoli dai mulini all'energia nucleare, non abbiamo il diritto di rimandare ad altre generazioni questa risposta decisiva.

Oggi sappiamo che l'ordine nella biosfera passa necessariamente attraverso la fotosintesi, momento organizzativo primario dei flussi vitali, e che il contenuto informativo di questi è degradato in maniera ineludibile, per le leggi della termodinamica, dall'apparato tecnologico. Le istituzioni si affannano a stabilire livelli di tollerabilità di singole sostanze e di energie xenobiotiche (livelli che vengono abbassati o innalzati d'autorità in una continua mediazione tra le esigenze, ormai divergenti, della produzione e della salute). Esse dimenticano che al disordine molecolare l'evoluzione genetica non potrà mai «adattarsi», in quanto non obbedisce alla legge del caos ma si risolve in un incessante e ordinato riequilibrio sotto la pressione selettiva. Quando la compatibilità omeostatica non può essere garantita, si verifica semplicemente il declino e la scomparsa della specie. A questa società contro natura possiamo soltanto «assuefarci», perché l'adeguamento psicosomatico è la forza apparente ma anche il grave limite di un'evoluzione culturale nutrita di astrazioni, animata dalla contingenza, incapace di discernere, senza il conforto della memoria storica, ciò che a lungo termine non sarà vantaggioso alla sopravvivenza.

Acquisita però la consapevolezza dell'antinomia tra le leggi della macchina e quelle della biologia, una scelta conseguente si impone. Se, per conservare i presupposti fisici della vita, va abbassato il livello dissipativo del sistema antropico e reinserita l'attività produttiva entro i cicli biogeochimici naturali, la nuova cultura deve aderire a un modello di frugalità.

Finora la ricerca dei rimedi all'alienazione dell'uomo nei suoi prodotti (giunta nella civiltà industriale a innescare il corto circuito apocalittico degradazione dell'ambiente e della specie) è rimasta legata agli stessi strumenti di produzione. Siamo prigionieri delle false «necessità». Mentre non ci si libera dalla dannazione faustiana se non uscendo dalla trappola tecnologica. «Non si può sfuggire a un modo di pensare ricorrendo a sequenze che riflettono lo stesso modo di pensare» (G. Bateson).

Urge una svolta radicale che rompa con la religione della produttività e dei consumi, con il mito del benessere materiale, inesauribile generatore di bisogni (e quindi di disagi, frustrazioni, violenza, guerre, dissipazione, malattie). Il con-

sumatore, scaduto a oggetto di marketing, non potrà riacquistare dignità di soggetto se non rifiutando di consumare; non potrà recuperare la funzione orientativa sensoriale (e quindi l'autonomia valutativa e l'autodifesa) se non sottraendosi al dominio della tecnologia, al mito dell'innovazione a tutti i costi, e ricercando in ciò che è naturale la sincerità informativa garantita dall'esperienza storica della specie.

La logica della democrazia non può rinnegare quella della biologia. Come il filatoio gandhiano fu il simbolo vittorioso dell'opposizione non violenta al giogo coloniale in India, così la volontaria rinuncia ad appagare bisogni materiali superflui e l'apprezzamento di quanto è semplice, genuino, non denaturato dalla industria, appaiono l'unica alternativa non violenta per sottrarre società e natura al distruttivo sfruttamento del potere tecnologico.

L'ecologismo non è una ruota di ricambio dello sviluppo esosomatico, ma una concezione esistenziale diametralmente inversa a quella egemonica che ha avvelenato le relazioni tra gli uomini e infranto la loro solidarietà con la natura.

È ormai tempo di superare il vecchio dualismo che sta all'origine di questa opposizione disgregatrice. Ogni rivoluzione culturale non può che essere sofferta, perchè cambiare sè stessi è un po' morire. Ma le premesse per un prorom-pente rinascimento dei valori umani, per una nuova unità tra l'uomo e la biosfera (unità che, ha scritto Bateson, «ci legherebbe e rassicurerebbe tutti in una affermazione di bellezza») sono già ben delineate.

Se il socialismo saprà affrancarsi dall'antropologia economicistica dell'homo faber e i cristiani oseranno dare una testimonianza francescana della loro fede, il superamento delle contraddizioni interne alla società e di quella, più profonda, con la natura si proporrà concretamente come l'annuncio di salvezza capace di riscattare la nostra generazione e l'umanità stessa nel futuro della vita.

ALDO SACCHETTI

ECOLOGIA E SALUTE

Desidero innanzi tutto complimentarmi con i promotori di questo ciclo di incontri, intesi a divulgare i fondamenti di una cultura della vita. Malgrado la sua basilare importanza, l'ecologia (che in verità è qualcosa di più di una scienza: un diverso modo di pensare, un tentativo di ricomporre concettualmente l'unità del reale, distrutta proprio dal riduzionismo scientifico) si trova ancora ai margini delle università istituzionali. Esse trascurano l'approfondimento olistico delle interazioni tra gli organismi viventi e l'ambiente perfino nelle discipline che proprio dalla comprensione di tali interazioni dovrebbero trarre la propria legittimazione, come la biologia, la medicina, l'agraria.

I futuri medici vengono subito messi a confronto col cadavere, molto più adatto del vivente alla cultura della macchina. Al tavolo anatomico la conoscenza è indirizzata in senso deterministico, meccanicistico, verso la dissezione analitica di ciò che si può misurare. È il modo migliore per non capire nulla della vita, dei suoi vincoli, della sua imprevedibilità.

La profonda crisi ambientale conseguente allo sviluppo dell'industria ha destato negli ultimi anni un grande interesse ecologico: tutti sono ormai consapevoli dei gravissimi danni inferti tanto alla natura quanto alle testimonianze culturali del passato. Inquinamento dell'aria, delle acque, del suolo; modificazioni climatiche, collasso di interi ecosistemi. Il Sahara si allarga in media di 10 km. all'anno e l'Algeria perde ogni giorno 100 ettari di terreno agrario (molto meno, per altro, di quanti negli ultimi trent'anni ne siano stati quotidianamente sottratti all'agricoltura italiana).

Non altrettanto lucida è la consapevolezza di come e perchè i processi degradativi coinvolgano solidalmente la nostra stessa salute. Ed è intuitivo che un chiarimento del genere trovi formidabili resistenze, non soltanto culturali.

Dato che le nozioni essenziali di irreversibilità e di entropia sono già state esposte in precedenti incontri, limiterò il mio intervento ad alcune considerazioni sugli effetti entropici in biologia.

La vita è sorretta da un ciclo continuo di materia, attivato dal sole. Ogni anno la fotosintesi produce - secondo un calcolo ovviamente approssimativo - 200 miliardi di tonnellate di sostanza organica e 220 miliardi di ossigeno, utilizzando 240 miliardi di t. d'acqua (di cui la metà viene immediatamente restitui-

ta all'ambiente) e 300 miliardi di anidride carbonica. Nello stesso tempo il complesso dei trasferimenti energetici cellulari degrada la materia organica e fissa l'ossigeno, liberando anidride carbonica e acqua in un processo inverso rispetto a quello fotosintetico.

Ogni essere, animale o vegetale, è un aspetto di questo perenne fluire di materia e di energia. Non è dunque possibile astrarre la vita dall'habitat che l'alimenta: anche nel grembo materno la corrente chemioenergetica che consente allo zigote di moltiplicarsi e plasmarsi in un nuovo organismo viene tutta dall'esterno.

I processi biologici non provocano disordine sulla Terra, perchè dissipano esclusivamente energia solare e riciclano sempre gli stessi elementi chimici. Ciò che è rifiuto di una specie è alimento di altre. Se residui si accumulano in superficie, non sono certamente tossici: pensiamo alle vette dolomitiche, vestigie fossili di scogliere coralline vissute fra 180 e 200 milioni di anni fa.

Il lavoro umano invece, con l'inizio dell'attività mineraria e, soprattutto, con la rivoluzione industriale, non ha fatto che smagliare sempre più profondamente il tessuto ecologico, rompendo l'armonia dei cicli biogeochimici che lo sottendono ed affogandolo in un mare di sostanze ostili ai suoi processi metabolici (1). Mentre da una parte le risorse naturali vanno rapidamente degradandosi, dall'altra la caotica dispersione di scorie, di composti xenobiotici e l'eccessiva diffusione di radiazioni elettromagnetiche antropogeniche (raggi gamma, raggi x, raggi ultravioletti, radiazioni luminose, infrarosse, microonde, radioonde, correnti alternate) alterano tutti i flussi chemioenergetici nell'ecosfera.

L'impatto umano sull'ambiente è strettamente collegato con la quantità e qualità dell'energia disponibile: un'economia fondata sui cavalli e sui mulini non poteva infliggere danni irreparabili alla natura. Ma l'uso dei combustibili fossili e nucleari ha dato un impulso eccezionale alla trasformazione della materia e allo sviluppo di industrie particolarmente inquinanti, come la chimica e la petrolchimica. Le modificazioni tecnologiche introdotte dopo l'ultima guerra mondiale hanno mostrato un impatto disastroso sugli equilibri naturali anche per la molteplicità e l'entità delle sinte-

(1) La formazione e la dispersione di rifiuti, ineludibile per la legge dell'entropia, è il vero limite biologico ed economico dello sviluppo industriale. Senza calcolare le enormi quantità microscopicamente dissipate, ogni anno i rifiuti macroscopici accumulati in Italia sono centinaia di milioni di tonnellate: più di 50 milioni di t. i residui industriali, di cui almeno 15 milioni classificabili tossici e nocivi a norma di legge (ma dal punto di vista igienico va considerata nociva la massima parte dei rifiuti industriali). Per molti di questi non esistono sistemi veramente idonei di trattamento e smaltimento. I miscugli di minerali tossici (come piombo, cadmio, mercurio, arsenico, berillio, tallio, antimonio ecc.) non potranno mai essere riordinati e confinati entro le viscere della Terra, nella forma chimica più stabile in cui ciascun elemento vi si trovava da miliardi di anni. Essi, anche se artificialmente incorporati in rocce o polimeri sintetici relativamente insolubili (ma pur sempre degradabili nel tempo), continueranno a rappresentare un'insidia per la vita, se in concentrazione superiore a quella media naturale del terreno. La biosfera ne viene sempre più avvelenata, per un arco temporale che, contrariamente al decadimento delle scorie radioattive, non è in alcun modo prevedibile. E intanto, per i costi e le difficoltà dello smaltimento «legale», rifiuti tossici e nocivi finiscono in ogni dove (anche in materiali edilizi e massicciate stradali) eludendo gli evanescenti controlli pubblici.

si organiche artificiali, estranee ed incompatibili rispetto a quelle biologiche (collaudate da tre miliardi e mezzo di anni e tutte reversibili perchè dotate di uno storico significato informativo nel contesto del discorso metabolico in cui sono inserite).

L'inquinamento ha così varcato negli ultimi lustri i cancelli delle fabbriche, coinvolgendo tutta la popolazione nel medesimo attacco alla salute cui prima era esposta solo la classe operaia.

L'organismo biologico è un sistema aperto, che ha con l'ambiente uno scambio continuo di materia e di energia: è evidente che non può non risentire del disordine chimico e fisico dell'habitat. Le molecole che introduciamo ogni giorno per via alimentare e respiratoria sono complessivamente numerabili con almeno 26 cifre (decine di milioni di miliardi di miliardi): quelle di origine tecnologica raggiungono ormai - e spesso superano - le 20 cifre (decine di miliardi di miliardi) ⁽²⁾.

Perciò l'uomo della civiltà dissipativa ha le ossa infarcite di piombo (un settantenne ne ha accumulato trecento volte più di un bambino) e soffre di artropatie degenerative; concentra cadmio nei sistemi biomolecolari dei reni e della prostata (e il cadmio, come il piombo, è uno dei principali fattori di ipertensione arteriosa). I suoi visceri sono cosparsi di microscopiche fibrille cancerogene di asbesto, disseminate da varie industrie, dal traffico veicolare, dalle condutture in cemento-amianto per acquedotti. I suoi lipidi strutturali e di deposito trattengono DDT, idrocarburi clorurati, diossine, bifenili polialogenati e altre sostanze tossiche lipofile, in parte trasmesse ai neonati attraverso la frazione lipidica del latte ⁽³⁾.

Dei circa 8 milioni di composti chimici oggi conosciuti, sono centinaia di migliaia quelli dispersi nell'habitat dall'ordinario metabolismo industriale: concorrono con gli inquinanti fisici a degradare il fisiologico flusso chemioenergetico che alimenta la vita.

⁽²⁾ Quando, nel 1676, l'olandese Van Leeuwenhoek osservò per primo al microscopio il pullulare di minuscoli organismi nelle infusioni artificiali, una nuova insospettata dimensione della vita imponeva di aggiornare radicalmente i concetti stessi di malattia e di salute. Oggi la dimensione molecolare, da migliaia a milioni di volte più piccola di quella degli infusori, esige una diversa visione dei problemi, non più comprensibili nella consueta angolazione e con le tradizionali unità di misura. Le interazioni degradative avvengono a livello molecolare e ha poco senso definire accettabile l'assunzione giornaliera di un nanogrammo (un miliardesimo di g.) di benzo-a-pirene (BaP) o di dimetilnitrosammina (Dmn). Ogni molecola di questi cancerogeni può combinarsi con una base azotata del DNA, deformandola e quindi alterandone la funzione. È più corretto far sapere alla popolazione che in un nanogrammo di BaP sono circa 2387 miliardi di molecole e in un ng di Dmn circa 8130 miliardi, capaci di danneggiare altrettante molecole informative del materiale genetico cellulare.

⁽³⁾ Da notare che, tolta la componente idrica, più del 50% del cervello è costituito di lipidi e che per i composti lipofili il sistema nervoso è un facile bersaglio. Inquinanti ambientali (chimici e fisici) e virus neurotropi (tra i quali si sono aggiunti, da ultimo, quelli associati all'AIDS) concorrono sempre più spesso con molte sostanze assunte a scopo voluttuario o terapeutico (droghe, psicofarmaci) a squilibrare l'attività neurochimica cerebrale.

Preoccupa in particolare la generale esposizione a solventi, pesticidi, metalli pesanti. La degradazione encefalica è una minaccia diretta, oscura, progressiva, alle più elevate qualità umane. I nostri bambini nascono con 10 microgrammi di DDT (pari a circa 17 milioni di miliardi di molecole) in ogni litro di sangue, ma nei lipidi la concentrazione del tossico è maggiore.

I dati statistici ed epidemiologici offrono una chiara documentazione delle ripercussioni sanitarie. Nelle aree «sviluppate» del nord Italia l'incidenza del cancro è molto superiore rispetto alla Calabria e alle regioni meno «avanzate» del mezzogiorno e delle isole. Ugualmente più elevata nei poli industriali – malgrado la ricca rete di presidi sanitari – è la mortalità generale della popolazione residente, così come la prevalenza dell'aterosclerosi e di altre malattie degradative (anche di carattere psichico, come disturbi della personalità e disadattamento esistenziale). Quadri morbosi non rilevabili nei popoli primitivi, come pure negli animali selvatici, e che sono pertanto indicativi di una patologia non fisiogenica, originata unicamente dall'ambiente ostile che la società ha opposto tanto agli equilibri ecologici quanto alle esigenze della salute.

I fautori dello sviluppo produttivo (paradigma economicistico che ha ben poco da spartire con la nozione moralmente pregnante di progresso) hanno tentato di attribuire alle malattie degenerative un prevalente carattere residuale: sarebbero cioè la ridotta mortalità per altre cause e l'invecchiamento della popolazione a porre automaticamente in evidenza una patologia propria dell'età natura. Ma non è affatto così. Tumori e malattie del sistema circolatorio si manifestano in età sempre più giovane e, nel gruppo di età che va dai 5 ai 24 anni costituiscono, rispettivamente, la seconda e terza causa di morte (dopo le «cause esterne di traumatismi e avvelenamenti»).

D'altra parte l'epidemiologia oncologica varia significativamente in rapporto all'industrializzazione, all'intensità del traffico motorizzato, alle abitudini. Molto più raro tra i vegetariani, il cancro è inesistente presso il popolo degli Hunzas, che vive nell'Himalaya sull'altopiano del Karakorum, mentre nello stato dell'Utah (dove il 72% degli abitanti è costituito da mormoni, il cui stile di vita ripudia il fumo e tende il più possibile al naturale) la sua incidenza era ancora, negli anni '70, del 22% inferiore rispetto a quella media della popolazione bianca degli USA. Gli «Avventisti del 7° giorno» – una setta religiosa vegetariana molto indicativa perchè sufficientemente rappresentata in un paese sviluppato come la California – si ammalano di tumore in misura dimezzata rispetto ai loro concittadini.

L'analisi della mortalità tumorale complessiva nel quinquennio 1974/78, standardizzata per sesso e per età e riferita esclusivamente ai decessi fra i 35 e 64 anni (i più significativi per un confronto statistico), dimostra come in quel periodo le 22 provincie italiane più colpite si trovassero tutte nelle regioni del nord. Al contrario, quelle con minore mortalità neoplastica erano in prevalenza nel sud e nelle isole (4).

(4) Le provincie con maggiore mortalità neoplastica nella popolazione maschile (tassi rapportati a centomila abitanti residenti) erano, nell'ordine: Brescia (406,99), Cremona (392,80), Bergamo (391,68), Venezia (364,23), Milano (363,58), Belluno (363,21), Sondrio (362,09), Udine (361,32), Como (358,80), Pavia (356,63), Padova (346,88). Quelle meno cancerogene: Agrigento (133,38), Potenza (134,52), Enna (136,57), Cosenza (138,81), Isernia (145,86), Catanzaro (151,12), Campobasso (151,34), Avellino (152,06), Benevento (152,65), Ragusa (154,51), Trapani (157,20).

Per il sesso femminile le provincie più rischiose erano: Gorizia (199,38), Cremona (198,28), Aosta (195,67), Bergamo (194,64), Alessandria (190,56), Milano (188,51), Novara (187,85), Pavia (186,97), Trieste (186,47), Varese (184,61), Forlì (182,88). Quelle con minor tasso di mortalità per tumori:

Situazioni locali in apparente contrasto con la dicotomia di fondo confermano le correlazioni tecnologiche: ad Augusta (Siracusa), sede di stabilimenti petrolchimici, la percentuale del cancro tra le cause di morte corrisponde a quella delle aree settentrionali più industrializzate.

È inoltre indiscutibile il ruolo dell'esposizione professionale nella patogenesi di alcuni tumori: il cancro della vescica è più frequente tra i lavoratori dei derivati dell'anilina, il mesotelioma pleurico o peritoneale in quelli esposti all'amianto, l'emoangiosarcoma tra gli addetti alla fabbricazione e all'impiego del cloruro di vinile.

Ad analoghe considerazioni si prestano le malattie cardiocircolatorie e tutta la patologia degenerativa a noi più familiare. Un'indagine compiuta negli anni '60 tra gli indigeni Mabaan, viventi allo stato primitivo in una zona remota del Sudan meridionale, accertò non soltanto la loro longevità ma anche la completa assenza di ipertensione, disturbi coronarici, ulcere gastriche e duodenali, diabete, miopia, ipoacusia, osteoartrosi, nevrosi e delle altre forme degradative che oggi affliggono in misura crescente l'intero mondo sviluppato. E le ricerche compiute sulle robuste popolazioni Masai, fino a pochi anni fa allevatori nomadi al confine tra Kenia e Tanzania, approdarono a identici risultati: pur nutrendosi di prodotti della pastorizia, ricchi di colesterolo, quelle tribù presentavano arterie perfettamente integre e non soffrivano di alcuna delle cosiddette «western civilization diseases» (le malattie della civiltà occidentale).

Le regioni più avanzate nello sviluppo economico industriale sono quindi entrate in una crisi ecologica e sanitaria destinata ad aggravarsi perché senza soluzioni compatibili con lo sviluppo stesso ⁽⁵⁾. Non a caso gli Stati Uniti, malgrado il loro superiore livello scientifico e tecnologico nell'assistenza medica, già nel settennio tra il 1959 e il 1966 erano scesi dal 13° al 22° posto nella graduatoria mondiale concernente la speranza di vita alla nascita. Quanto all'URSS, dal censimento effettuato nel 1970 risultò che la media complessiva degli ultracentenari era di 8 su centomila, ma nelle zone meno contaminate del Caucaso superava i 100. Secondo dati più recenti, nell'Unione Sovietica la mortalità generale sarebbe andata aumentando – dopo i grandi successi sanitari ottenuti tra il 1920 e il 1965 – mentre diminuisce la durata media della vita.

Ciò perché lo sviluppo industriale comporta inevitabilmente – malgrado ogni possibile accorgimento tecnico – intensi e innaturali trasferimenti di materia e di energia, che alterano a lungo andare gli equilibri dinamici della biosfera. Equilibri in cui

Matera (103,37), Cosenza (107,27), Catanzaro (107,27), Rieti (108,24), Chieti (109, 29), Avellino (111,33), Potenza (112,25), Benevento (116,07), Enna (116,14), Teramo (119,35), Nuoro (119,65). (da P. Branzaglia, M. Camnasio, A. Cantaboni, U. Facchini: «I tumori in Italia» - Doctor III, 10, 2, 1985).

(5) Le sindromi degradative provocate dallo sviluppo stanno assumendo aspetti sempre nuovi e imprevedibili a causa del complicato intreccio etiologico. Quasi tutti i principali organi, sistemi, apparati vedono arricchirsi la propria patologia: morbo intestinale di Crohn, panbronchiolite diffusa, malattia renale cistica acquisita, osteolisi della testa femorale...

è indissolubilmente inserita la stessa fisiologia umana, ancorata ad una programmazione genetica che discende da tre miliardi e mezzo di anni di «ricerca e sviluppo biologico» universali.

Quando, nel 1974, la Regione Emilia Romagna pubblicò per prima uno studio globale sui fattori di generazione dell'inquinamento nel proprio territorio, risultò che a Bologna l'emissione atmosferica di piombo dal traffico motorizzato (emissione agevolmente respirabile perchè in forma di aerosol con particelle per la massima parte inferiori al micron) raggiungeva circa 3 q. al giorno. Non meraviglia pertanto che, quattro anni più tardi, la determinazione della piomboemia nei bolognesi non professionalmente esposti consentisse di rilevare una concentrazione media del metallo superiore a quella ritenuta tollerabile da una direttiva CEE del 29 marzo 1977 (6).

Il piombo è tra gli inquinanti più diffusi nella biosfera, particolarmente da quando (1923) alcuni suoi composti organici vengono aggiunti alla benzina per elevarne il potere antidetonante, cioè per non far «battere in testa» il motore. I suoi effetti patogeni di base sono perciò abbastanza conosciuti, anche se ci si ostina a non trarre tutte le logiche deduzioni.

È veleno cellulare, quindi assai tossico per ogni protoplasma, per ogni tessuto vivente. Sappiamo che si accumula soprattutto nelle ossa, e tuttavia la scienza medica non lo prende in considerazione come una delle principali cause della patologia osteoarticolare degenerativa da cui è afflitta una quota crescente della popolazione, in età sempre più giovane. Sappiamo che esercita un'azione spastica sui vasi sanguigni, eppure la letteratura sull'ipertensione arteriosa (che è una manifestazione classica dell'avvelenamento acuto da piombo) ignora generalmente il ruolo di questo metallo nel determinismo della malattia.

È noto che il piombo, per le sue interazioni con il fosforo e lo zolfo delle macromolecole biologiche e per la ridotta ossigenazione dei tessuti (dovuta sia allo spasmo vasale, sia all'inibizione degli enzimi respiratori e delle fosforilazioni ossidative), provoca alterazioni in ogni organo e sperimentalmente si è dimostrato capace di produrre lesioni aterosclerotiche in ratti e conigli. Nondimeno, quando si passano in rassegna i possibili fattori di rischio dell'aterosclerosi, la malattia sociale più diffusa nei paesi industrializzati, il piombo e gli altri inquinanti ambientali e alimentari vengono sistematicamente dimenticati. È provato che il tessuto nervoso (il più sensibile alla carenza di ossigeno) risente in maniera precoce e particolare degli effetti

(6) Secondo quella direttiva la piomboemia non deve superare 20 microgrammi per 100 ml di sangue nel 50% della popolazione, 30 mcg nel 90%, e solo nel 2% può eccedere i 35 mcg. Ma un'indagine recentemente eseguita sugli Yanomami dell'Amazzonia ha messo in evidenza che la loro piomboemia è di 0,8 mcg, confermando gli studi di C.C. Patterson secondo cui nell'era preindustriale la concentrazione del piombo nel sangue non oltrepassava 0,2 mcg/100ml.

tossici del metallo: nei bambini è stata documentata una significativa correlazione tra l'aumento della sua concentrazione nei denti e la riduzione del quoziente intellettivo. Però nessuno tiene conto del peso patogenetico del piombo nell'epidemiologia dilatarsi della demenza presenile e senile e delle altre piaghe neuropatiche ingravescenti della società avanzata. Si è rilevato che esso interferisce nella sintesi degli anticorpi e, se inalato, abbassa l'efficienza dei macrofagi polmonari. Ma il piombo continua a rimanere estraneo all'epidemiologia dei difetti immunologici.

Il problema non può essere, tuttavia, ridotto alla nocività di questa o quella sostanza. I veleni da cui siamo aggrediti sono di tale numero e dimensione che non è più possibile scervere il ruolo eziologico di ciascuno nella genesi delle malattie degradative. Dal medesimo studio emerse che, insieme col piombo, il traffico motorizzato diffondeva quotidianamente nell'atmosfera del capoluogo emiliano circa 3,5 q. di aldeidi, 20 tonnellate di ossidi di azoto, 30 t. di idrocarburi, 200 t. di ossido di carbonio, alcune tonnellate di polveri incombuste e di anidride solforosa, oltre a una quantità imprecisabile di microscopiche fibrille di amianto.

Ognuna di queste sostanze provoca effetti dannosi sugli esseri viventi. Ma esse non sono che le più note fra le decine di migliaia dissipate da auto e motoveicoli (anche per l'usura del manto stradale bituminoso e degli pneumatici sintetici, polverizzati a Bologna nella misura di circa 5 q. al giorno).

Dalla combustione delle benzine sono stati liberati negli USA, durante il 1977, 56 tonnellate di cromo, 30 di nickel, 20 di selenio, 8 di antimonio, 5 di cadmio, 4 q. di arsenico, 3 q. di berillio, tutti elementi considerati virtuali mutageni e cancerogeni (anche in apporto al loro stato di ossidazione).

Benzene, toluene, xileni, idrocarburi policiclici aromatici, idrocarburi alogenati, ammine aromatiche, nitrosammine, metilnitrito, formaldeide, chetoni, ossido di etilene e altri epossidi, perossidi, radicali liberi (e una serie pressochè infinita di prodotti aggressivi delle interazioni tra queste sostanze oncogene, disperse dall'erosione automobilistica) contribuiscono ad accrescere il potenziale cancerogeno del flusso molecolare trapassante i 140 m² della nostra superficie respiratoria polmonare. Numerose indagini, soprattutto negli USA, hanno dimostrato che l'aria urbana ha potere mutageno, cioè lesivo del materiale genetico cellulare, in correlazione diretta con l'intensità del traffico motorizzato.

Gli effetti dei miliardi di miliardi di molecole xenobiotiche e tossiche quotidianamente respirate si sommano con quelli delle analoghe molecole, in complesso più numerose, introdotte con alimenti, bevande, farmaci, cosmetici. Le più volte, sia nell'organismo, sia nell'ambiente, si producono interazioni con risultati imprevedibili. Processi fotodinamici e ossidativi negli stessi scarichi dei motori a combustione attivano le proprietà mutagene di parecchie sostanze. Composti cancerogeni si formano nel corso di trasformazioni metaboliche o dalla combinazione di precursori diversi. L'etilentiourea (mutagena, teratogena, cancerogena) si genera dalla degradazione di anticrittogamici etilen-bis-ditiocarbammati, come lo Zineb. I nitriti, reagendo con ammine secondarie e terziarie normalmente presenti nel cibo, nei liquami di fogna, in alcuni pesticidi e in una grande varietà di emissioni industriali, danno luogo a nitrosammine, classe di composti che vanta cancerogeni tra i più potenti.

La maggior parte delle interazioni ci sfugge e il costante aumento delle loro va-

riabili ne rende scientificamente impossibile il controllo (7). È nondimeno certo che l'allontanamento dalla natura e lo sviluppo dell'industria stanno creando condizioni avverse alla vita.

In un primo periodo il bilancio dello sviluppo industriale era stato positivo in termini di salute. Le acquisizioni della biologia, della batteriologia, le misure di profilassi, il miglioramento delle infrastrutture igieniche, la maggiore disponibilità di alimenti sani e di altri mezzi di sostentamento – e i conseguenti successi contro molti morbi infettivi, un tempo principali cause naturali di malattia e di morte – si riflessero nelle statistiche demografiche e sanitarie. In Italia la mortalità generale scese, tra il 1861 e il 1978, dal 31 al 9,5 per mille, mentre la speranza di vita alla nascita, che ancora nel triennio 1880-82 non superava i 35 anni e mezzo (per la morte di un bambino su 5 nei primi 12 mesi), raggiungeva i 73 anni nel triennio 1977/79. Nel 1912-14, quando nacquero gli attuali settantatreenni, la previsione della loro vita media era di 47 anni. Tutto induce a ritenere che i nati odierni, cui le statistiche accreditano una speranza di vita di 73 anni, ben difficilmente troveranno le condizioni per una simile longevità.

Da quanto accennato emerge chiaramente che la fase dello sviluppo propizia alla salute è ormai superata. La seconda rivoluzione industriale, con l'esplosivo aumento della disponibilità energetica, le manipolazioni chimiche, la gigantesca dissipazione molecolare ed elettromagnetica, si è posta decisamente in antitesi con le fondamentali leggi della biosfera.

Se ancora occorresse una conferma che la causa prima delle malattie degradative va ricercata nello stravolgimento dei fisiologici rapporti tra l'organismo e l'ambiente, la verifica possiamo trovarla, evidentissima, negli allevamenti zootecnici intensivi. Forme morbose degenerative quasi identiche alle nostre, che in genere non si riscontrano fra gli animali viventi allo stato naturale, colpiscono quelli allevati industrialmente, il cui effettivo declino biologico è per altro mascherato dalla mattazione precoce. L'aterosclerosi incide a tal punto nei tacchini che molti di essi muoiono di colpo per rottura dell'aorta. Alterazioni cardio-circolatorie ed epatiche, nevrosi, ulcere gastriche, anemie, sterilità, malformazioni congenite, depressione immunitaria, tumori, stanno

(7) Oltre tutto i laboratori pubblici di controllo difficilmente sono oggi in grado di rilevare certe sostanze a concentrazioni inferiori a una parte su mille miliardi. Ma a una simile concentrazione, per es. in un kg. di alimento, le molecole di un composto cancerogeno (benzopirene, dimetilnitrosammina, etilentiourea ecc.) sono migliaia di miliardi: spingendo la definizione a un livello mille volte più microscopico quelle non rilevabili resterebbero comunque miliardi. E quand'anche detti laboratori possedessero strumenti per approfondire l'indagine a livello molecolare, potrebbe divenire arduo (pure applicando particolari cautele di isolamento) discriminare l'inquinamento della sostanza analizzata da quello di fondo della cabina e delle attrezzature di ricerca.

Il caos molecolare di fondo, nella biosfera, ha potuto innalzarsi in pochi decenni di migliaia di volte sfuggendo alle strutture istituzionali di rilevamento, che non potranno mai veramente adeguarsi a tutte le trasformazioni indotte nell'ambiente dallo sviluppo industriale.

sempre più segnando anche la patologia animale delle regioni «avanzate» (8).

Ma la patologia degradativa non può essere astratta dal generale divenire dell'intero organismo: lo stato di salute complessivo è, in ogni istante, il risultato di interazioni globali. Processi degenerativi (anche neoplastici) possono essere causati o favoriti da agenti infettivi e promuovere, a loro volta, l'insediamento o lo sviluppo di infezioni (9).

La biosfera è caratterizzata da un ordine stratificato, dove tutto è dinamicamente interconnesso: la prima esigenza dell'ecologia è dunque di superare l'approccio riduzionistico, tipico della scienza galileiana. Come nessun essere vivente è isolato dagli altri, così nel singolo organismo ogni cellula è integrata in maniera cooperativa nel contesto unitario del sistema. Anzi le stesse cellule eucariote – unità elementari della vita animale e vegetale – sono attualmente considerate espressione di un legame simbiotico tra primitive cellule anaerobiche (intolleranti all'ossigeno) e altri ancestrali procarioti: batteri capaci di utilizzare l'ossigeno (inseriti come mitocondri nelle cellule degli animali e delle piante, cui forniscono i meccanismi di respirazione aerobica per la produzione di energia), e alghe verdi azzurre dotate di attività fotosintetica (inserite come cloroplasti nel citoplasma delle cellule vegetali verdi) (10).

(8) La maggior parte dei cani e dei gatti muore oggi di tumore, come i pesci del lago Michigan e dei fiumi Hudson, Buffalo, Black river negli Stati Uniti. Nelle acque fluviali inquinate di Cubatão (aggregato industriale di San Paolo del Brasile) l'ittiofauna sopravvissuta è cieca e deforme. I gatti, soprattutto quelli chiusi in collettività nei gattili, sono talora uccisi anche dalla FAIDS (sindrome felina di immunodeficienza acquisita), ritenuta non contagiosa per l'uomo. Le correlazioni zoonosiche dell'AIDS umana, però, non sono state ancora sufficientemente approfondite.

(9) L'aspecificità eziologica delle malattie degradative di origine chimico fisica è legata alla molteplicità dei fattori di deformazione biomolecolare. Analogamente una chiave, il cui profilo sia stato alterato, non ingrana più nella serratura indipendentemente dalla causa deformante (termica, meccanica, chimica). I virus oncogeni modificano l'informazione cellulare con un meccanismo originale: essi integrano il proprio genoma (cioè il materiale genetico), o parte di esso, in quello della cellula ospite. L'informazione, così trasformata in senso neoplastico, si trasmette a tutta la discendenza della cellula cancerizzata (quando le cellule divenute estranee all'ordine sistemico non vengano fisiologicamente distrutte o bloccate).

Complessità eziologica e varietà di forme morbose trovano dunque un comune denominatore patogenetico nel disturbo dei processi informativi organici, al di là dei fluttuanti limiti individuali di tolleranza.

(10) Le cellule eucariote (dal greco eu = bene, buono, e karyon = nocce, nucleo) hanno un nucleo ben differenziato, organizzato, e una complessa architettura citologica: tali sono le cellule di tutti gli animali, le piante, i protozoi. Vengono detti invece procarioti («pro» in parole complesse di origine greca esprime anteriorità) gli organismi unicellulari primitivi, nei quali il materiale nucleare non è delimitato da una membrana specifica e le strutture cellulari sono ridotte all'essenziale (come nelle alghe verdi-blu, o cianofitiche, e nei batteri). L'ipotesi che i cloroplasti cellulari delle parti verdi delle piante siano cianofitiche e i mitocondri di tutte le cellule eucariote batteri, è confortata dal fatto che tanto i cloroplasti, quanto i mitocondri, hanno propri acidi nucleici (DNA, RNA), si riproducono per divisione semplice, effettuano una sintesi proteica indipendente da quella ialoplasmatica (lo ialoplasma è la matrice colloidale, esterna al nucleo, in cui sono im-

Una fitta rete di messaggi collega tutte le cellule, tutte le forme di vita. Tra le farfalle, il bombice avverte l'odore della femmina lontana-10 km; l'informazione genetica del polline di piante anemofile può raggiungere il fiore a distanze assai maggiori; il salmone, attratto dall'ecosistema nativo, percorre centinaia di miglia nell'oceano aperto, per risalire lo stesso fiume, riprodursi e morire nelle stesse acque dolci in cui vide la luce. Il flusso alimentare e una ricca varietà di altre correnti chemioenergetiche sono la colla che tiene unite tutte le cellule viventi del pianeta, quale che sia la distanza tra loro intercorrente.

Affinità genetiche e interazioni coerenti legano più saldamente le cellule della medesima unità somatica: il collocamento e la funzione di ognuna di esse non sono casuali. Gli equilibri omeostatici della singola cellula e dell'intero organismo sono governati da una mente metabolica infinitamente più sensibile del nostro intelletto, alla quale è sempre presente il complicato bilancio delle interazioni molecolari ⁽¹¹⁾. Le fluttuazioni degli equilibri in relazione ai flussi chemioenergetici modificano continuamente le condizioni di risposta alle perturbazioni - e quindi l'efficienza delle funzioni - a livello generale e locale.

Non tutte le persone ugualmente esposte a un agente infettivo o cancerogeno contraggono la malattia. Vi sono individui resistenti per tutta la vita anche ai microrganismi più contagiosi, come il virus del morbillo (con cui ci si deve confrontare fin dalla prima infanzia), mentre altri si ammalano soltanto nell'adolescenza o nell'età adulta, in occasione di episodici scompensi tra l'aggressività della carica infettante e l'efficacia delle difese immunitarie.

Già nel secolo scorso Claude Bernard affermava che i microbi hanno un peso relativo nel rovesciare lo stato di salute: importante è soprattutto la capacità reattiva e difensiva del soggetto. Non sembra pertanto illogico supporre che la degradazione tessutale di cui specialmente gli esseri viventi superiori sono oggi vittime li predisponga a una forte dilatazione della patologia infettiva e parassitaria.*

merse tutte le strutture e gli organuli citoplasmatici, compresi i mitocondri e i cloroplasti). Mentre nei grandi ribosomi ialoplasmatici degli eucarioti la sintesi proteica inizia con l'amminoacido metionina, nei piccoli ribosomi mitocondriali comincia con la N-formilmetionina, come nei batteri.

La selezione di antibiotici e pesticidi attivi sui procarioti e innocui per le cellule eucariote è destinata a rimanere utopistica anche per la difficoltà di evitare effetti dannosi sui simbionti ancestrali. Per es., l'azione del cloramfenicolo inibitrice della sintesi proteica nei batteri, risparmia le sintesi operate nei ribosomi ialoplasmatici degli eucarioti ma non quelle che avvengono nei mitocondri. I composti che inibiscono la sintesi degli acidi nucleici nei procarioti possono inibirli anche nei mitocondri e nei cloroplasti. E il DNA mitocondriale, pur essendo molto meno dell'1% di tutto il DNA cellulare, raggiunge complessivamente nell'organismo umano parecchie decine di milioni di km.

⁽¹¹⁾ È questa mente biologica che induce il seme a diventare pianta, la fanciulla a divenire donna e che a un certo momento ordina allo sviluppo staturale di arrestarsi: è essa che guida gli immunociti a riconoscere gli antigeni, gli enzimi cellulari a riparare le rotture del DNA e a sostituire le molecole deformate. La mente che regola i processi della vita e che l'uomo tecnologico, nella sua puerile arroganza, ignora e maltratta.

Il diffondersi di una certa fragilità verso infezioni persistenti e recidivanti, spesso erroneamente giudicate banali, potrebbe essere l'indizio di un generale scadimento dei nostri meccanismi immunologici, alterati da rumori, ultrasuoni, radiazioni elettromagnetiche, traumi emotivi, frustrazioni e da una miriade di sostanze tossiche (come piombo, benzene, diossine, DDT e altri composti clorurati: radicali liberi dell'ossigeno, farmaci antibatterici, antiinfiammatori, antireumatici, citostatici e immunosoppressivi, droghe psicodpressive). D'altra parte la chimicizzazione antropogenica dell'ambiente e l'ubiquitaria presenza dei composti organici di sintesi sottopongono incessantemente il sistema immunitario a un'infinità di stimoli (e le manifestazioni allergiche dilagano), mentre la repentina batteriolisi provocata da antibiotici in un vasto spettro di popolazioni microbiche nell'organismo sollecita con violenza dagli immunociti una risposta ben diversa, per quantità e varietà di antigeni, rispetto a quella storicamente richiesta dalle malattie infettive (12).

Il turbamento degli equilibri omeostatici - il «milieu intérieur» di Claude Bernard - mediato anche dal sovraccarico e dall'usura imposti ai grandi sistemi regolatori delle interazioni interne ed esterne (il neuroendocrino e l'immunitario), rappresenta il fattore comune degli stati morbosi di cui soffre l'uomo antibiologico della società industriale: dall'aterosclerosi al cancro, dalle malattie psicosomatiche all'AIDS.

Per la globalità delle interazioni tra gli esseri viventi e l'ambiente c'è una storicità nel succedersi delle patologie. Quella infettiva assunse dimensioni epidemiche al sorgere della pastorizia e dell'agricoltura, cioè con il formarsi di consistenti aggregati umani e animali nel periodo neolitico. Il micobatterio della tubercolosi accompagna forse l'uomo da allora e lo ha colpito in occasione di guerre, carestie e altre avverse congiunture sociali e sanitarie: la tisi è divenuta malattia professionale, insieme alle pneumoconiosi, quando masse di lavoratori, strappate alla vita dei campi, sono state costrette a pesanti fatiche nell'ambiente malsano delle miniere, delle fabbriche. E la recente enorme concentrazione del bestiame negli allevamenti intensivi ha segnato un'ulteriore svolta nell'infettivologia umana, sempre più dominata dai microrganismi degli animali (13).

Se è ormai certa la correlazione tra il diffondersi della malattia tumorale e il disordine chimico e fisico dell'ambiente e degli alimenti, non sembra una mera coinci-

(12) Con il termine di «antigene» (dal greco «anti», nel significato di «contro», e *genesis* = generazione) si indica una sostanza riconosciuta estranea dall'organismo, nel quale genera una risposta contro sé stessa (reazione immunitaria). Questa risposta, oggi, si esprime con maggiore frequenza che in passato in funzione non immediatamente protettiva, attraverso reazioni patologiche di intolleranza (allergie).

(13) L'abolizione dei lager zootecnici appare la misura più urgente, non solo per indifferibili esigenze igienico sanitarie, ma anche per i positivi riflessi ecologici, etici, culturali conseguenti. Il trionfo dell'irrazionalità e della violenza è infatti, non meno della degradazione dell'ambiente e delle strutture biologiche, espressione della crisi globale dei valori di una società postasi di fatto contro le leggi della vita.

denza storica nemmeno il successo biologico di virus (come quelli ritenuti responsabili dell'AIDS, capaci di esprimersi solo se attivati da fattori coadiuvanti) che attaccano, tra l'altro, cellule cardinali del sistema immunitario alla cui integrità è legata la difesa sia dal cancro, sia dagli stessi virus (14).

Si direbbe che la natura stia manifestando una sempre più decisa reazione di rigetto verso la **civiltà tecnologica, straniera al patrimonio informativo dei processi vitali, ai loro principi selettivi intesi alla massima efficienza nell'utilizzazione dell'energia solare e alla minima entropia nell'organizzazione della materia.**

L'ecologia non deve dunque ridursi a scienza delle interazioni oggettive e quantificabili tra la vita e l'habitat. Gli equilibri ecologici hanno una dimensione molecolare di base e comprendono il nostro stesso equilibrio interiore, biochimico, fisiologico, psichico. La consapevolezza dell'indissolubile unità del reale è la forza vincente della cultura ecologista, l'alternativa al delirio di potenza che, opponendo l'uomo a tutta la biosfera, lo aliena e consegna a un tragico destino.

QUALCHE ESEMPIO DEL FLUSSO QUOTIDIANO DI MOLECOLE MUTAGENE E CANCEROGENE, ACCERTATE O SOSPETTE, NEL NOSTRO ORGANISMO

Durante le ore di punta alcune sostanze possono trovarsi nell'aria urbana a queste concentrazioni:

- monossido e biossido di azoto, centinaia di microgrammi per m³
- benzene, circa 100 microgrammi per m³
- toluene, circa 100-140 microgrammi per m³
- xileni, circa 90 microgrammi per m³
- formaldeide, alcuni microgrammi per m³
- ossido di etilene, alcuni microgrammi per m³
- benzo(a)pirene, circa 0,05 microgrammi per m³
- idrocarburi policiclici aromatici (complessivamente) da 0,1 a qualche decina di microgrammi per m³
- piombo, da alcuni mcg a qualche decina di mcg per m³.

(14) Pure la struttura molecolare dei linfociti, rinnovati al ritmo di un milione al secondo, è condizionata dalla qualità del flusso chemioenergetico che li alimenta. Non è da escludere pertanto una parallela espansione anche della patologia neoplastica di origine virale, come già avviene negli animali stabulati. Ma i fattori che contribuiscono a volgere l'equilibrio a vantaggio delle difese organiche o dell'aggressività di qualsiasi agente patogeno sono infiniti. Giustamente i medici consigliavano, contro la tisi, alimentazione sana e vita igienica all'aperto, al sole, in montagna. Regole di permanente e generale validità. Se la loro osservanza è divenuta materialmente impossibile (mentre muoiono perfino i boschi alpini) abbiamo un preciso dovere: impegnarci perché condizioni di vita fisiologiche siano restituite ovunque, non coprire le responsabilità del sistema economico nella genesi e nella diffusione delle malattie.

Nell'atmosfera di Milano la trielina e altri solventi clorurati hanno toccato livelli complessivi variabili, secondo la stagione, da 5 a oltre un centinaio di mcg/m³.

Un microgrammo è uguale a un milionesimo di grammo.

- In un mcg di monossido di azoto le molecole sono circa 20 milioni 70 mila miliardi
- in un mcg di biossido di azoto circa 13 milioni 90 mila miliardi
- in un mcg di benzene circa 7 milioni 710 mila miliardi
- in un mcg di toluene circa 6 milioni 534 mila miliardi
- in un mcg di xileni circa 5 milioni 672 mila miliardi
- in un mcg di formaldeide circa 20 milioni 75 mila miliardi
- in un mcg di etilen-ossido circa 13 milioni 672 mila miliardi
- in un mcg di benzo(a)pirene circa 2 milioni 386 mila miliardi
- in un mcg di piombo circa 2 milioni 906 mila miliardi
- in un mcg di trielina circa 4 milioni 583 mila miliardi

(N.B.: gli ossidi di azoto sono importanti anche per le interazioni che portano alla formazione di nitriti e nitrosocomposti).

Una persona mediamente attiva *respira in un giorno circa 20 m³ di aria.*

Nei locali costruiti o arredati con materiali plastici la formaldeide può raggiungere parecchie decine di mcg per m³.

Nel fumo di un'intera sigaretta si trovano mediamente più di 1300 mcg di ossidi di azoto, alcuni mcg di formaldeide, una decina di mcg di benzene, 0,6-2 mcg di piombo, 0,14-0,19 mcg di cadmio, qualche centesimo di mcg di benzo(a)pirene, quasi un mcg di nitrosammine, circa 0,002 mcg di beta-naftilammina. Con una sola boccata di fumo vengono aspirati milioni di miliardi di radicali liberi (frammenti di molecole in cui almeno un elettrone dell'orbita esterna è spaio, quindi estremamente reattivi).

A 10 cm. dalla superficie idrica di piscine coperte, il cloroformio derivante dalla clorazione dell'acqua è stato rinvenuto a concentrazioni di decine o centinaia di mcg per m³ d'aria.

- In un mcg di cadmio le molecole sono circa 5 milioni 357 mila miliardi
- in un mcg di dimetilnitrosammina circa 8 milioni 130 mila miliardi
- in un mcg di dietilnitrosammina circa 8 milioni 904 mila miliardi
- in un mcg di beta-naftilammina circa 4 milioni 847 mila miliardi
- in un mcg di cloroformio circa 5 milioni 44 mila miliardi

Nell'acqua potabile clorata, il residuo di cloro attivo è generalmente dosabile in centinaia di mcg per litro, il cloroformio da centesimi di mcg fino a decine o centinaia di mcg/l. In alcune acque potabili il tetracloruro di carbonio può trovarsi fino a 0,1-1 mcg/litro; benzene, toluene, xileni fino a più di 10 mcg/l. La trielina non di rado, in certe zone industriali, ha superato i 100 mcg/l e, in qualche pozzo inibito all'uso, i 1000. Il cromo esavalente, in alcuni pozzi della pianura padana, ha superato il limite legale di 50 mcg/l e l'erbicida Atrazina è stato rilevato a livelli che oltrepassano di parecchie decine di volte la concentrazione massima ammissibile, stabilita dalla CEE in 0,1 mcg/l.

- In un mcg di cloro le molecole sono circa 8 milioni 492 mila miliardi
- in un mcg di tetracloruro di carbonio circa 3 milioni 914 mila miliardi
- in un mcg di cromo circa 11 milioni 575 mila miliardi
- in un mcg di atrazina circa 2 milioni 792 mila miliardi.

Con gli alimenti, in un giorno, vengono ordinariamente assunti: decine di mcg di cadmio, di cromo, di nickel, diverse centinaia di mcg di piombo, alcuni mcg di policlorobifenili (PCB) e policlorotrifenili (PCT), alcune centinaia o migliaia di mcg di pesticidi, alcune decine o centinaia di mcg di ftalati, da qualche decina a migliaia di mcg di nitriti (aggiunti, fra l'altro, come additivi agli insaccati, alla carne in scatola e ad altre carni conservate, fino al limite legale di 150.000 mcg per kg). I nitriti possono formare nitrosocomposti cancerogeni: inoltre lo ione nitroso colpisce direttamente tre delle basi azotate del DNA, trasformando la guanina in citosina, la citosina in uracile, l'adenina in ipoxantina, con il conseguente sconvolgimento dell'informazione cellulare.

- In un mcg di nickel le molecole sono circa 10 milioni 256 mila miliardi
- in un mcg di P.C.B. sono, in media, 1 milione 847 mila miliardi
- in un mcg di P.C.T. sono, in media, 1 milione 36 mila miliardi
- in un mcg di diottilftalato le molecole sono circa 1 milione 541 mila miliardi
- in un mcg di nitrito di sodio circa 7 milioni 82 mila miliardi
- in un mcg di etilentiourea circa 5 milioni 894 mila miliardi
- in un mcg di DDT circa 1 milione 698 mila miliardi.

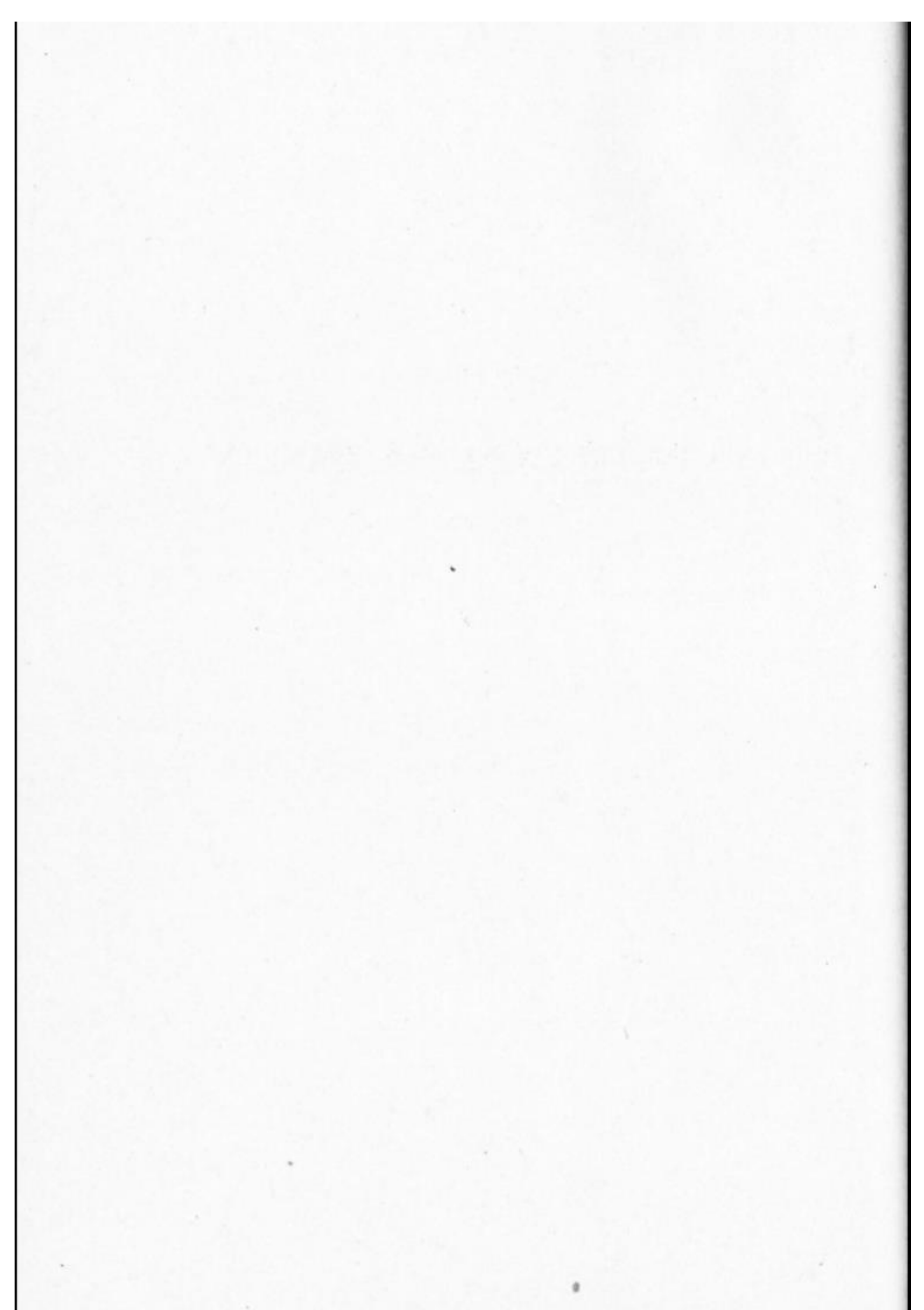
Si tratta di alcune delle più note fra le molte migliaia di sostanze, potenzialmente mutagene e cancerogene, che - seppure solo parzialmente assorbite - alterano la qualità informativa del flusso molecolare negli organismi viventi (o perchè prodotte dall'uomo, o perchè le attività industriali ne accrescono parecchio la naturale dispersione nell'ambiente).

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE, IN ITALIANO

- BATESON G., *Mente e natura*, Milano, Adelphi, 1984
 CAPRA F., *Il punto di svolta*, Milano, Feltrinelli, 1984
 CONTI L., *Questo pianeta*, Roma, Editori Riuniti, 1983
 LORENZ K., *Il declino dell'uomo*, Milano, Mondadori, 1984
 RIFKIN J., *Entropia*, Milano, Mondadori, 1982
 SACCHETTI A., *L'uomo antibiologico*, Milano, Feltrinelli, 1985

PARTE SECONDA

LA DISTRUZIONE DEL PIANETA



L'INQUINAMENTO DELL'ARIA

L'ATMOSFERA

L'involucro gassoso che ricopre la terra è l'atmosfera.

Questa si estende fino a circa 130 km. di altezza, il che, considerando che il raggio medio della terra è pari a circa 6.370 km, significa che l'atmosfera rappresenta solo il 2% del nostro pianeta. L'atmosfera può essere suddivisa in varie zone o sfere concentriche (vedi fig. 1)

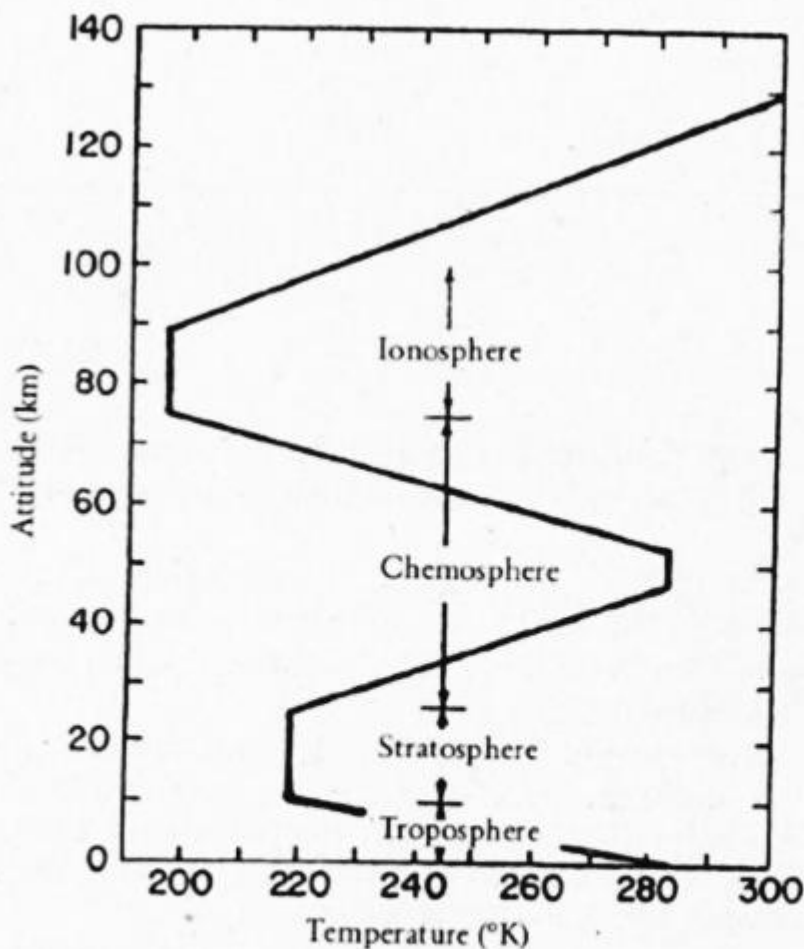


FIG. 1 - The regions of the atmosphere.

che si differenziano per il profilo di temperatura, a sua volta dipendente dalla composizione chimica e dalla rarefazione dell'aria. In fig. 2 è indicata la composizione naturale dell'aria allo stato secco e al livello del mare.

TYPICAL COMPOSITION OF CLEAN, DRY AIR NEAR SEA LEVEL

Component	Formula	Content	
		% by Vol.	ppm
Nitrogen	N ₂	78.09	780,900
Oxygen	O ₂	20.94	209,400
Argon	Ar	0.93	9,300
Carbon dioxide	CO ₂	0.033	330
Neon	Ne	18x10 ⁻⁴	18
Helium	He	5.2x10 ⁻⁴	5.2
Methane	CH ₄	1.5x10 ⁻⁴	1.5
Krypton	Kr	1.0x10 ⁻⁴	1.0
Hydrogen	H ₂	0.5x10 ⁻⁴	0.5
Nitrous oxide	N ₂ O	0.5x10 ⁻⁴	0.5
Xenon	Xe	0.08x10 ⁻⁴	0.08
Ozone*	O ₃	0.07x10 ⁻⁴	0.07
Ammonia	NH ₃	0.01x10 ⁻⁴	0.01
Iodine	I ₂	0.01x10 ⁻⁴	0.01
Nitrogen dioxide	NO ₂	0.001x10 ⁻⁴	0.001
Sulfur dioxide	SO ₂	0.0002x10 ⁻⁴	0.0002
Carbon monoxide	CO	0 to trace	--

(*) Ozone content in winter is 0.02 ppm and in summer is 0.07.

FIG. 2

Lo strato maggiormente interessato dai fenomeni d'inquinamento è la troposfera, in quanto la diffusione degli inquinanti difficilmente supera i 1500÷3000 m. di quota.

Nella troposfera all'aumentare della quota, la temperatura diminuisce, mentre nello strato sovrastante, la stratosfera, si ha un andamento opposto, dovuto alla più elevata concentrazione di ozono (fino a 8 ppm), il quale ha la capacità di assorbire le radiazioni ultraviolette.

Attualmente la concentrazione di ozono nella stratosfera è in diminuzione a causa delle emissioni di alcune sostanze reattive nei confronti dell'ozono, prime fra tutte il FREON, usato come propellente nelle confezioni spray; questa diminuzione comporta una più elevata penetrazione di radiazioni ultraviolette con le più svariate conseguenze, tra le quali i tumori della pelle.

Sempre in merito all'ozono è sconcertante notare che la concentrazione al suolo (mediamente 0.07 ppm) è in aumento a causa delle reazioni che avvengono

nell'atmosfera inquinata delle città dagli scarichi automobilistici: a LOS ANGELES, una delle città che per condizioni climatiche e densità di traffico è particolarmente colpita da questo tipo di inquinamento detto fotochimico, non è raro trovare concentrazioni di ozono fino a 0.5 ppm.

IL CICLO DELL'OSSIGENO E DELL'ANIDRIDE CARBONICA

Fermiamo un attimo l'attenzione su due gas reattivi contenuti nell'atmosfera in maggiore quantità: l'OSSIGENO (O_2) e l'ANIDRIDE CARBONICA (CO_2). Gas reattivi significa che hanno la capacità di reagire chimicamente con facilità, ed è proprio questa caratteristica che li rende così importanti per la vita. In un ambiente naturale non contaminato l' O_2 e la CO_2 seguono un ciclo che coinvolge animali e vegetali (*fig. 3*).

Infatti, questi ultimi assorbono CO_2 ed acqua sintetizzando per fotosintesi, zuccheri, proteine ed altre molecole organiche, producendo contemporaneamente O_2 .

Gli animali, a loro volta utilizzano l' O_2 per la respirazione e le sostanze prodotte dalle piante per l'alimentazione; come residui di questa attività si ha la produzione di CO_2 e di sostanze contenenti Fosforo (P), Azoto (N), Potassio (K), Carbonio (C) ecc..., eliminate con le deiezioni e la respirazione. Queste sostanze vengono a loro volta utilizzate dai vegetali nella fotosintesi chiudendo il ciclo. L'energia per tutto questo ciclo viene dal SOLE.

Se a questo ambiente naturale, si aggiungono le attività umane, (*fig. 4*) quali i processi di combustione, di edificazione, di distruzione del patrimonio vegetale, l'equilibrio si altera.

Infatti, da un lato aumenta il consumo di ossigeno e la produzione di CO_2 nelle combustioni, e dall'altro, disboscando e ricoprendo il suolo con cemento, si diminuisce la capacità di fissazione per fotosintesi di CO_2 e si diminuisce altresì la produzione di O_2 .

Uno degli effetti più importanti di questo squilibrio è l'aumento verificatosi negli ultimi 60 anni, del 10% dell'aumento di CO_2 nell'aria, passata dallo 0.030% allo 0.033%. (*fig. 5*)

Questo aumento ha portato come conseguenza, per effetto serra, ad un aumento della temperatura media dell'aria (dal 1885 al 1940 si è avuto un aumento di 0.5 °C). È stato calcolato che se il contenuto di CO_2 nell'aria raddoppiasse, passando da 0.039 a 0.067, si verificherebbe un aumento di temperatura di 2,34°C con il conseguente scioglimento di 28 milioni di metri cubi di ghiaccio nei Poli e relativo innalzamento del livello medio delle acque di 60÷80 m.

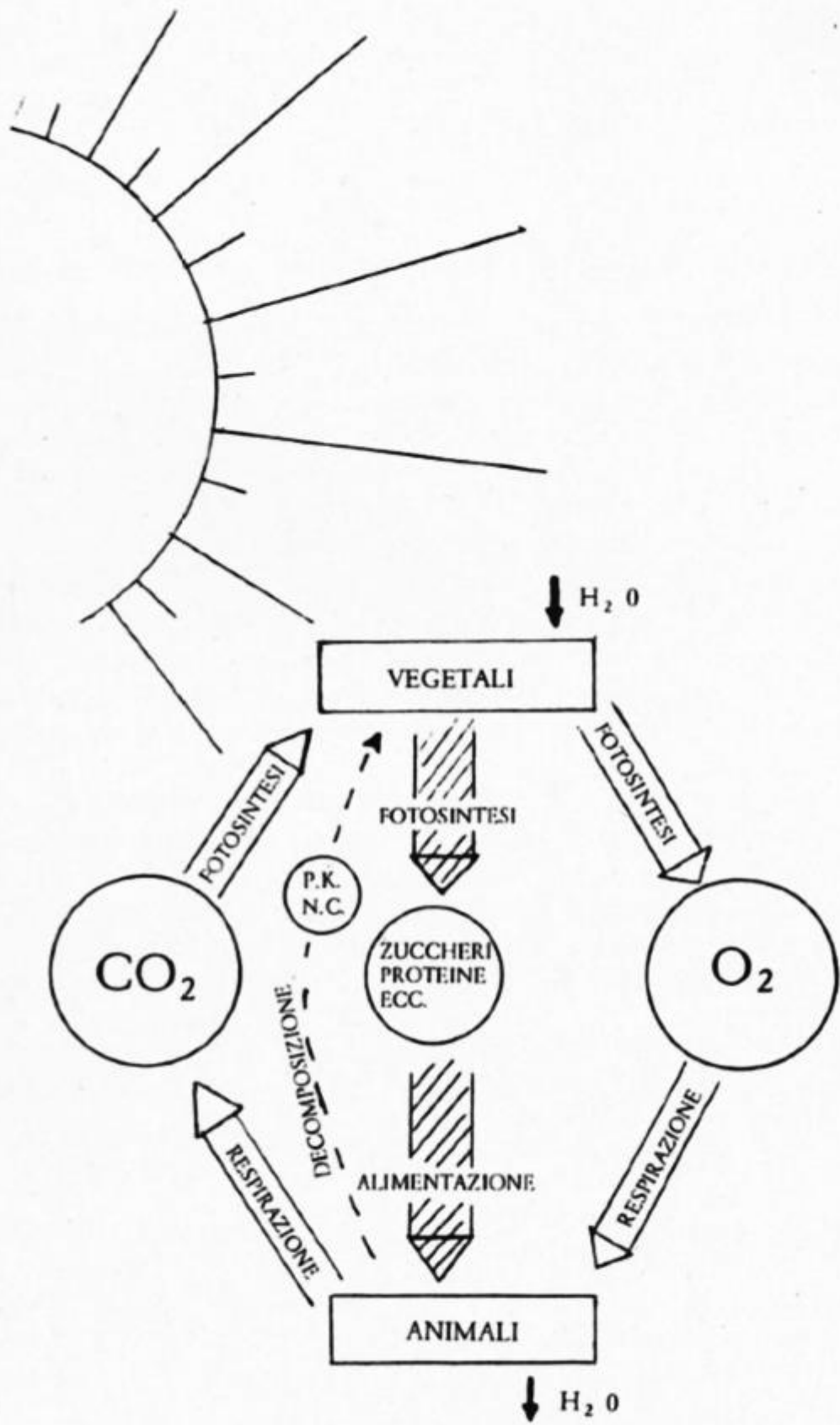


FIG. 3

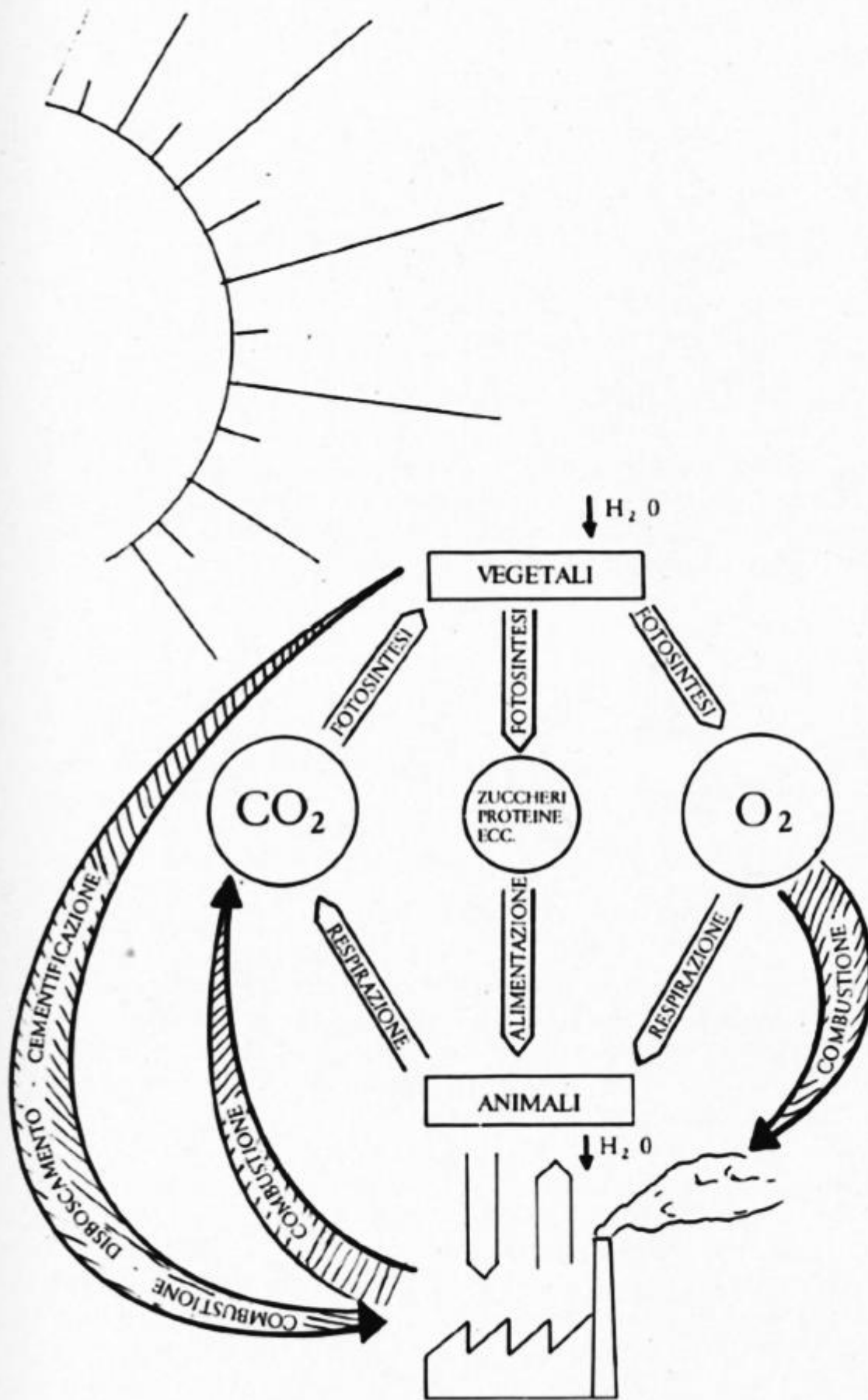


FIG. 4

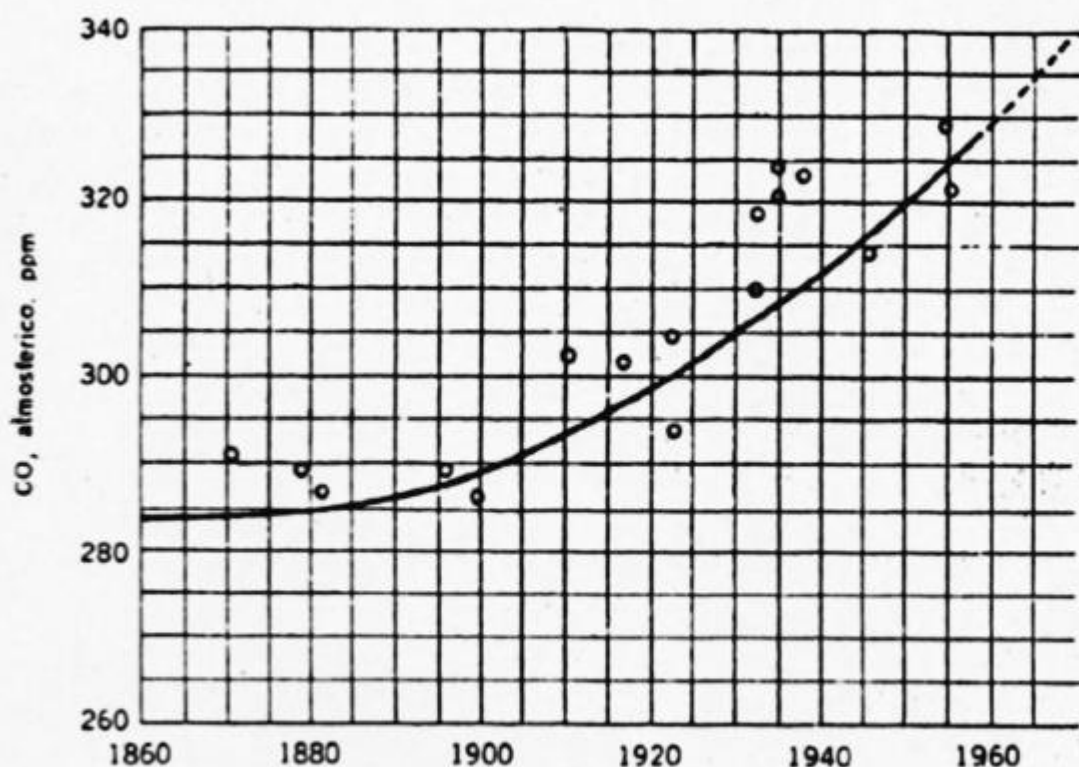


FIG. 5 - Aumento della concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera nell'attuale secolo (dovuto all'aumentata combustione di combustibili fossili da parte dell'uomo e alle maggiori attività agricole). Da Gilbert N. Plass, «Carbon Dioxide and Climate», in *Man and the Ecosphere*, Freeman, San Francisco, 1971, p. 175, apparso per la prima volta in *Scientific American*, luglio 1959, p. 43. I dati in base ai quali questo diagramma fu disegnato sono di G.S. Callendar.

L'UOMO E L'INQUINAMENTO DELL'ARIA

L'inquinamento dell'aria è stato forse il primo tipo d'inquinamento ambientale a venire riconosciuto e sottoposto a controlli di legge: risale infatti al XIII secolo la prima Legge che, in Inghilterra, vietava l'uso di carbone di bassa qualità a causa della formazione di fuliggine cui dava luogo; si ha notizia anche di una impiccagione per un uomo resosi colpevole della violazione di questa norma.

L'importanza che ha l'aria pura per la vita è messa in risalto dall'osservazione che l'uomo può resistere alcune settimane senza mangiare, qualche giorno senza bere, ma non può resistere più di pochi minuti senza respirare. La stessa costituzione fisica dell'uomo esprime la necessità di un continuo contatto con l'aria: in un adulto la superficie cutanea è in media pari a 1.8 m², quella del tubo gastroenterico poco più di 1, mentre quella polmonare arriva fino a 130-150 m². Non solo, mentre normalmente l'uomo quotidianamente ha bisogno di kg. 1 di cibo e di kg. 2 di acqua, gli necessitiamo ben 13 kg. di aria. Tutto ciò dà un'idea di quanta aria passa attraverso i nostri polmoni che fungono da veri e propri depuratori, assorbendo incredibili quantità di sostanze inquinanti, comprese quelle tossiche e quelle cancerogene.

Purtroppo è difficile rendersi conto di tutto questo: quante madri si preoccupano per i loro bambini che nei carrozzini sono costretti a respirare i gas provenienti dai tubi di scarico delle automobili, che si trovano giusto ad altezza del loro viso?

Quanti si rendono conto che fare del «Footing» in città, invece di essere una pratica salutare, risulta dannoso a causa dell'aumentata inalazione di sostanze tossiche cui ci si sottopone a causa della iperventilazione?*

A nulla serve allontanarsi dalle città o dai centri industriali: il vento, la circolazione atmosferica tendono a livellare l'inquinamento di fondo, (il piombo emesso dagli scarichi delle automobili è stato ritrovato nel ghiaccio dei Poli).

INQUINANTI E FONTI D'INQUINAMENTO

La quantità totale di inquinanti immessi nell'atmosfera ammonta ad alcune centinaia di milioni di tonnellate anno (solo negli USA, queste si possono stimare intorno ai 200 milioni di tonnellate anno), i quali, come già ricordato, non si diffondono oltre i 3000 ÷ 3500 m. di quota; molti non si diffondono neanche oltre i 600 m.

I composti chimici immessi nell'atmosfera sono migliaia e ben il 70% è di natura ignota!

Il 90% in peso degli inquinanti emessi è costituito dai cosiddetti inquinanti primari, in quanto in grado a seguito di reazioni chimiche di formare inquinanti secondari.

Gli inquinanti primari sono:

- l'Ossido di Carbonio (CO)
- gli Ossidi di Azoto (NO_x)
- gli Idrocarburi (HC)
- l'Anidride Solforosa (SO₂)
- Materiale particolato (PART.)

mentre le percentuali con le quali le diverse fonti contribuiscono al totale di inquinanti nell'aria sono riportate nella tabella 1.

TABELLA 1

Fonte inquinante	% sulle emissioni totali
Trasporti	15 - 40
Centrali Termiche e Riscaldamento	20 - 40
Industria	15 - 25
Varie	10 - 20

Tra le varie vanno annoverate le cosiddette «Fonti Naturali» (quali emissioni vulcaniche, incendi boschivi, ecc.); agricoltura (pesticidi, incendi provocati per distruggere boscaglie, residui di raccolti, sterpaglia, erbacce ecc.); discariche di rifiuti, ecc...

L'OSSIDO DI CARBONIO (CO)

La principale fonte di questo inquinante è il traffico veicolare come si può rilevare dalla tabella seguente:

TABELLA N. 2

Fonti di emissioni di CO	(in percento)
Trasporti	64
Industria	10
Riscaldamento e Centrali Termiche	2
Varie	24

L'Ossido di Carbonio inoltre, è anche l'inquinante che viene emesso in maggior quantità dagli autoveicoli, circa l'82% del totale. Nella città di Bologna è stato calcolato che ne vengono emessi fino a 200 tonnellate a giorno!

Le quantità prodotte in tutto il mondo sono impressionanti, sarebbero sufficienti a raddoppiare la concentrazione di CO nell'aria nell'arco di 4 ÷ 5 anni.

Poichè in realtà non si registrano aumenti di concentrazione, si è investigato a fondo sui meccanismi di rimozione, e dopo aver scartato la reazione di conversione di CO in CO₂ : $(2CO + O_2 \longrightarrow 2CO_2)$ perchè troppo lenta (impiega un tempo di circa 3.5 mesi), dopo aver scartato l'assorbimento da parte del mare che si è visto, in realtà produce CO, e le piante incapaci di assorbirla, si è riscontrato che responsabili di questa rimozione sono alcuni microorganismi, in particolare funghi; da prove effettuate negli USA, si è osservato che circa kg. 3 di terreno «Vivo» cioè contenente questi microrganismi sono stati capaci in 3 ore di abbattere completamente una concentrazione di CO pari a 120 ppm.

L'Ossido di carbonio ha una affinità verso l'emoglobina (contenuta nel sangue) 200 volte maggiore dell'ossigeno, pertanto legandosi ad essa la rende indisponibile a svolgere la sua funzione di trasportatore di ossigeno ai vari tessuti. I morti causati dalle esalazioni dei braceri a carbonella erano provocati proprio dalle emissioni di CO. Un caso di intossicazione simile, si è verificato nel settembre del 1980, provocando la morte di un bambino in una automobile costretta a sostare, a causa dell'intenso traffico, in una galleria di Napoli.

Tali incidenti si possono verificare solo se l'ossido di carbonio nell'emoglobina raggiunge l'80%, ma già a concentrazioni superiori al 5% intervengono modifica-

zioni alle funzioni cardiache e polmonari, e più modeste concentrazioni favoriscono l'arteriosclerosi. E non è raro trovare nei soggetti più esposti concentrazioni superiori a questi limiti (nei Vigili Urbani di Milano sono stati rilevati valori superiori al 10%, e nei fumatori i valori medi oscillano tra il 4 ed il 15%).

OSSIDI DI AZOTO (NO_x)

Gli Ossidi di Azoto (NO ed NO₂, indicati insieme come NO_x), si formano durante i processi di combustione con aria, dove a causa della elevata temperatura, l'azoto dell'aria viene ossidato ad NO secondo la reazione:



il quale a temperatura superiore ai 1200 °C si trasforma in NO₂, secondo la reazione:



Questa reazione è reversibile, e diminuendo la temperatura retrocede, senonché il brusco raffreddamento che si verifica al momento dello scarico «congela» la reazione.

Inoltre l'NO con l'ossigeno dell'aria, a causa dell'azione della radiazione luminosa ed ultravioletta del sole, entra in un ciclo fotochimico

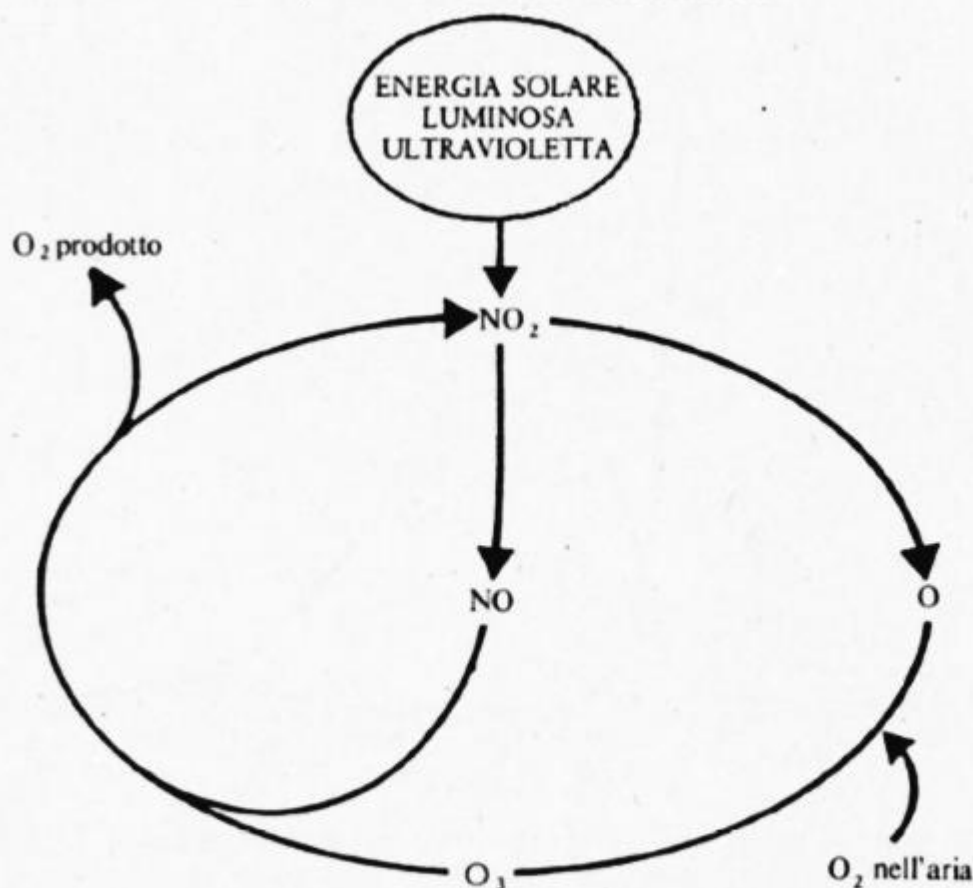


FIG. 6 - Ciclo fotolitico di ossidi d'azoto

che porta alla produzione di NO_x ed Ozono (O_3).

Le principali fonti di NO_x sono ovviamente i processi in cui avvengono combustioni e quindi in particolar modo i trasporti, il riscaldamento e le centrali termiche come da tabella seguente.

TABELLA N. 3

Fonti di emissione di NO_x	(in %)
Trasporti	39
Industria	1
Riscaldamento e Centrali Termiche	48
Varie	12

La correlazione esistente tra il traffico veicolare e la presenza di Ossidi di Azoto è espressa nella Fig. 7

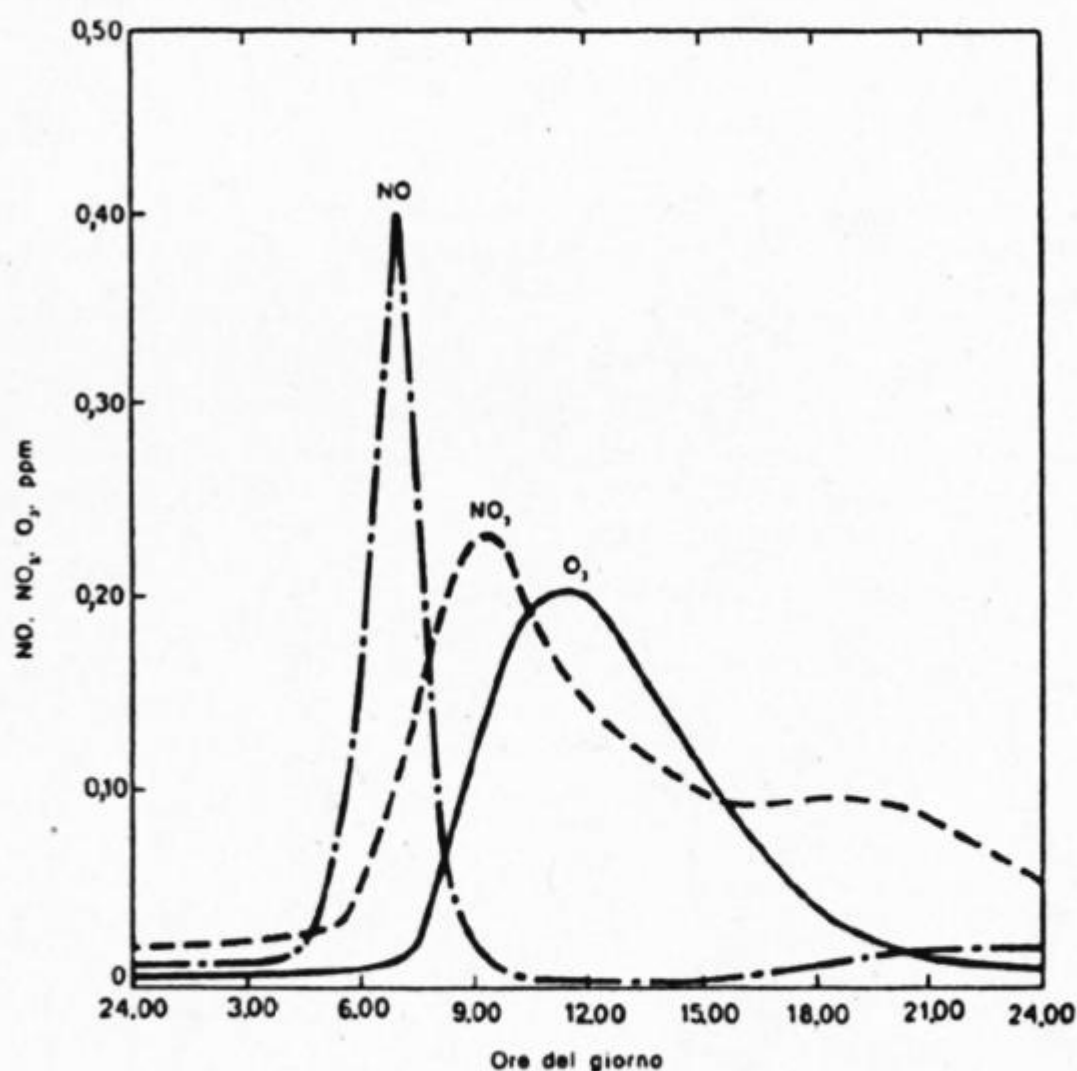


FIG. 7 - Concentrazioni medie nelle varie ore di alcuni inquinanti a Los Angeles, California, 19 luglio 1965. Da U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare, *Air Quality Criteria for Nitrogen Oxides*, p. 6-2.

relativa alla città di LOS ANGELES, dove la concentrazione di questi è maggiore nelle ore di punta.

Dalla figura, si nota altresì come la concentrazione di NO, aumenti nelle ore più calde a causa del ciclo fotochimico prima descritto.

Gli Ossidi di Azoto fino a poco tempo fa erano ritenuti responsabili unicamente di irritare le mucose congiuntivali e l'albero respiratorio, poi si è scoperto che la presenza di idrocarburi nell'atmosfera provoca alterazioni nei cicli fotochimici (come vedremo nel paragrafo successivo), con formazione di diversi composti con proprietà mutagene ed oncogene.

Infine, è recente la scoperta, drammatica, della sintesi ambientale delle nitrosammine cancerogene in fase gassosa. Infatti l'acido nitroso, che si forma dall'NO₂ quando l'umidità relativa supera il 30%, può reagire con le ammine disperse nell'aria da molte attività industriali, dando luogo appunto alla sintesi di nitrosammine.

Per giunta lo ione nitroso è in grado di legarsi con le basi azotate del materiale genetico cellulare contribuendo alla diffusione di tumori.

IDROCARBURI (HC) E COMPOSTI FOTOCHIMICI

Gli Idrocarburi sono una classe di composti formati da Carbonio ed Idrogeno, prevalentemente di origine petrolifera.

Le principali fonti (vedi tab. 4) sono i trasporti.

TABELLA N. 4

Fonti di emissione di HC	(in %)
Trasporti	52
Industria	14
Riscaldamento e Centrali Termiche	2
Varie	32

Gli idrocarburi possono essere di struttura diversissima: lineari, ramificati, policiclici, aromatici. Oltre a questi composti, molte altre molecole organiche fuoriescono dai tubi di scappamento dell'auto, quali: idrocarburi alogenati, ammine aromatiche, chetoni, aldeidi, epossidi, perossidi, radicali liberi; tutti, accertati o sospettati di essere cancerogeni. Ogni giorno se ne scoprono altri, anche per l'estrema facilità con cui questi composti reagiscono tra di loro e con quelli contenuti nell'aria aspirata dai carburatori: ad esempio la reazione tra lo ione nitroso ed il radicale metilico porta alla formazione di metil nitrito mutageno. Al-

tri cancerogeni sono stati scoperti negli scarichi delle vetture DIESEL: sono molecole derivanti dalla reazione di idrocarburi policiclici con radicali liberi, Ozono, NO_x ed altri ossidanti.

Il Benzolo, ormai diventato ubiquitario nell'atmosfera dei paesi industrializzati, il suo contenuto nelle benzine varia dall'1 al 14% e tende ad aumentare per mantenere elevato il numero di ottano dopo l'eliminazione del piombo. È un potente cancerogeno ed è riconosciuto capace di indurre leucemie.

Un altro, e più potente cancerogeno emesso dai tubi di scarico delle automobili è il benzopirene (contenuto anche nella fuliggine e nelle parti bruciate dei cibi). In URSS il limite nell'aria dei centri urbani è di 1 microgrammo per ogni 1000 m. cubi di aria.

Recenti indagini nell'atmosfera di Genova ne hanno riscontrato una concentrazione media pari a 50 microgr./1000 metri cubi con punte fino a 100. I fumatori, inoltre, esaltano la propria esposizione, infatti dal fumo di una trentina di sigarette si può assorbire 1 microgrammo di Benzo Pirene.

Come già detto in precedenza gli idrocarburi immessi nell'atmosfera, alterano il ciclo fotochimico esistente tra Ossigeno ed Ossidi di Azoto. (fig. 8).

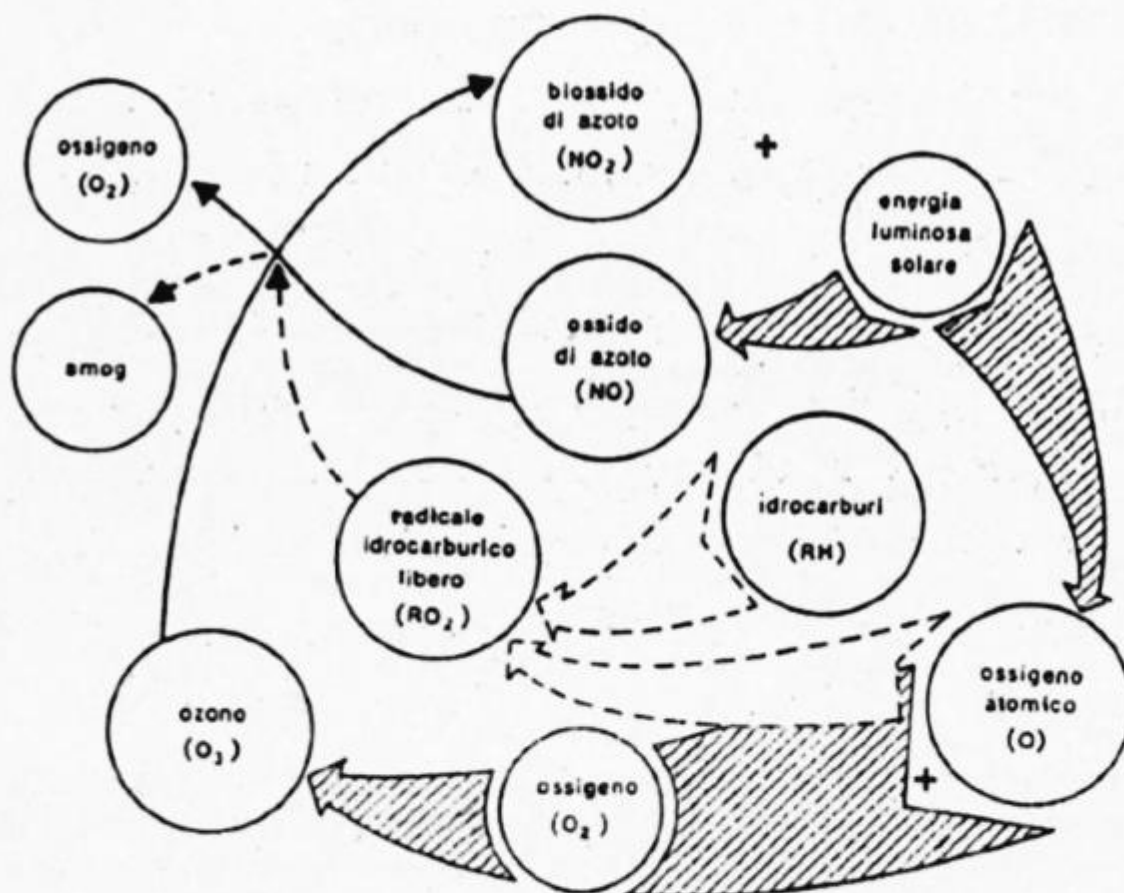
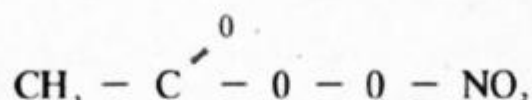


FIG. 8 - Ciclo fotochimico di NO_2 con interferenza di idrocarburi.

Da U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare, *Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants*, p. 3-1.

Il risultato è la formazione di Ozono e dei Perossiacilnitrati (P.A.N.) dal nome del capostipite:



La miscela di Ozono, PAN ed Ossido di Carbonio, costituisce lo SMOG fotochimico, tipico delle metropoli, con elevata densità di traffico.

Ozono e PAN essendo fortemente ossidanti, agiscono sia direttamente sulle cellule, sia indirettamente, modificando lo stato di ossidazione di parecchie sostanze, attivandone le proprietà mutagene ed oncogene.

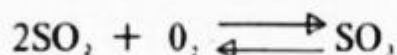
ANIDRIDE SOLFOROSA (SO₂)

È l'inquinante forse più studiato e riconosciuto come tale prima degli altri. A questo primato hanno contribuito diversi gravi disastri, favoriti da particolari condizioni meteorologiche, in importanti centri: nel dicembre 1930, lungo la Valle della Mosa, tra Liegi e Huy, una cappa di nebbia intrappolò le emissioni di SO₂ delle fabbriche della zona provocando la morte di 63 persone; il 26 ed il 31 ottobre 1948, un analogo incidente a Donora in Pennsylvania, causò la morte di 20 persone. Londra tra il 5 e l'8 dicembre 1952, fu immersa nella nebbia nella quale si riversarono il fumo proveniente dagli impianti di riscaldamento contenente SO₂ e polvere, originando una mistura di nebbia e fumo che da allora fu chiamato SMOG (contrazione delle parole SM-oke = fumo e f-OG = nebbia). Il fenomeno fu così grave che nel periodo di SMOG morirono circa quattromila persone.

L'Anidride solforosa si origina dalla combustione di combustibili (carbonio, nafta, ecc....) i quali contengono lo zolfo in varia percentuale, secondo la reazione:



La SO₂ a sua volta può essere ossidata ad anidride solforica:



Le principali fonti pertanto sono:

TABELLA N. 5

Fonti di emissione di SO ₂	(in %)
Trasporti	2
Industria	22
Riscaldamento e Centrali Termiche	74
Varie	2

gli impianti di riscaldamento, le centrali termoelettriche e le industrie, in particolare fonderie, raffinerie, fabbriche di acido solforico.

L'azione della SO_2 si rivolge soprattutto verso l'apparato respiratorio, verso il quale è in grado di provocare disturbi già a concentrazioni di 1 ppm.

Ma la SO_2 e la SO_3 in presenza dell'umidità dell'aria danno luogo alla formazione di acido solforoso ed acido solforico, responsabili delle piogge acide, a loro volta responsabili della distruzione di interi boschi e monumenti.

Il problema delle piogge acide però viene vissuto non tanto da chi provoca le emissioni di SO_2 , quanto da chi vi si trova sottovento. Infatti uno dei metodi più frequentemente adottati dalle industrie e dalle centrali termoelettriche per ridurre le immissioni al suolo nelle loro vicinanze (e quindi rientrare negli standards delle Leggi) è quello di realizzare camini sempre più alti. Una delle fonti maggiori si trova in Canada: un impianto di fusione di rame e zinco, con un camino alto ben 400 m.!

Così facendo i fumi e la SO_2 , prima di depositarsi al suolo viaggiano per tratti lunghissimi. È per questo che la morte di oltre 1000 laghi finlandesi, provocata dalle piogge acide, ha i suoi colpevoli in Germania ed in Inghilterra.

Le emissioni totali di SO_2 negli ultimi anni sono più che raddoppiate (fig. 9).

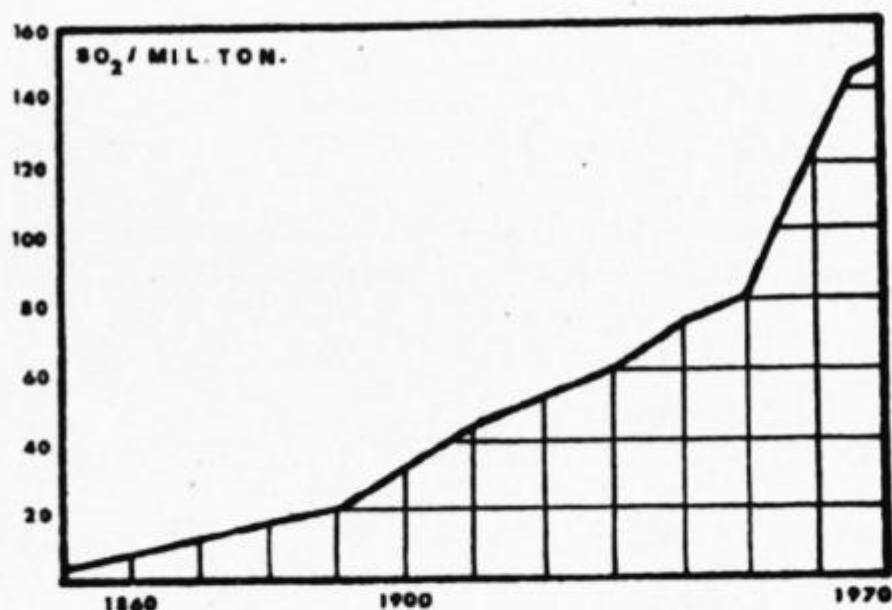
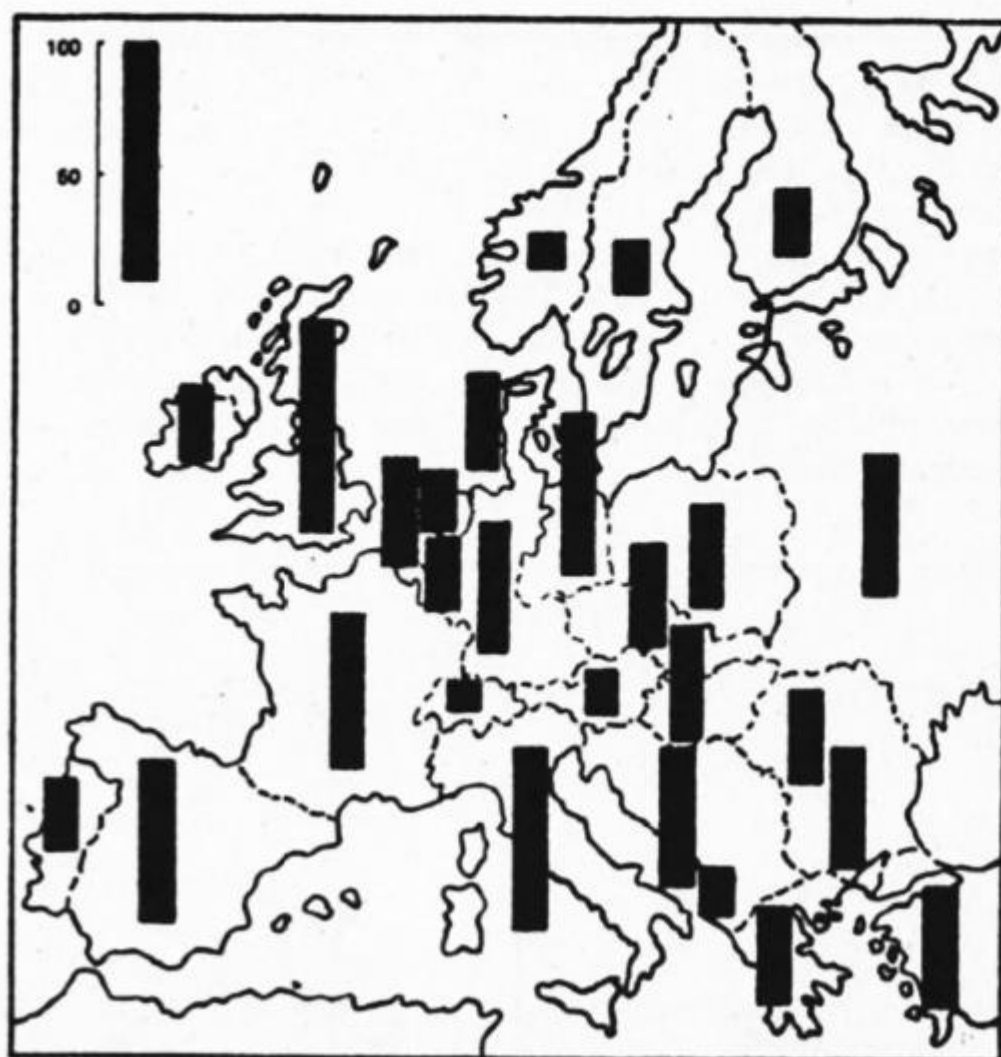


FIG. 9 - Negli anni '50 le emissioni erano di 80 milioni di tonnellate, mentre negli ultimi anni hanno raggiunto e superato i 160 milioni. Le emissioni di SO_2 sono quindi raddoppiate.

Solo in Italia la produzione ammonta a 2.200.000 tonnellate annue. Il bilancio tra produzione e deposito di anidride solforosa illustrato in fig. 10,



Emissione e deposito totale di zolfo (tonnellate all'anno)

	<i>Emissione totale</i>	<i>Deposito totale</i>		<i>Emissione totale</i>	<i>Deposito totale</i>
Albania	50.000	67.000	Irlanda	87.000	65.000
Austria	215.000	341.000	Italia	2.200.000	1.132.000
Belgio	404.000	161.000	Lussemburgo	24.000	11.000
Bulgaria	500.000	346.000	Olanda	240.000	173.000
Cecoslovacchia	1.500.000	1.301.000	Norvegia	75.000	255.000
Danimarca	228.000	109.000	Polonia	2.150.000	1.330.000
Finlandia	270.000	293.000	Portogallo	84.000	73.000
Francia	1.800.000	1.212.000	Romania	100.000	797.000
Repubblica Democratica			Spagna	1.000.000	583.000
Tedesca	2.000.000	778.000	Svezia	275.000	472.000
Repubblica Federale			Svizzera	58.000	141.000
Tedesca	1.815.000	1.158.000	Turchia	500.000	416.000
Grecia	352.000	253.000	Urss	8.100.000	6.901.000
Ungheria	750.000	467.000	Regno Unito	2.560.000	847.000
Islanda	6.000	74.000	Iugoslavia	1.475.000	1.093.000

Fonte: Emep Mao-W.

FIG. 10

mostra la natura internazionale del problema e, come da un lato ci sono Stati quali il Regno Unito che producono più SO_2 di quanta gliene ripiova (2.560.000 tonn./anno contro 847.000), dall'altro, Paesi che hanno un bilancio, per così dire «attivo», quali Islanda (6.000 contro 74.000 tonn./anno) e Svezia (275.000 contro 472.000 tonn./anno).

Il risultato di tutto ciò è che nel Montana (USA) nel 1979 nevicarono fiocchi a pH 2.6, mentre la neve del West Virginia aveva un pH di 1.7; a Los Angeles la pioggia ha un pH di 3, mentre in Scozia la nebbia ha il pH 2.5.

In Italia, il pH delle piogge (nel periodo 1975/79) nei punti di rilevamento assume mediamente valori compresi tra 4 e 5 con un decremento medio di $1 \div 2$ rispetto al periodo 1960/64.

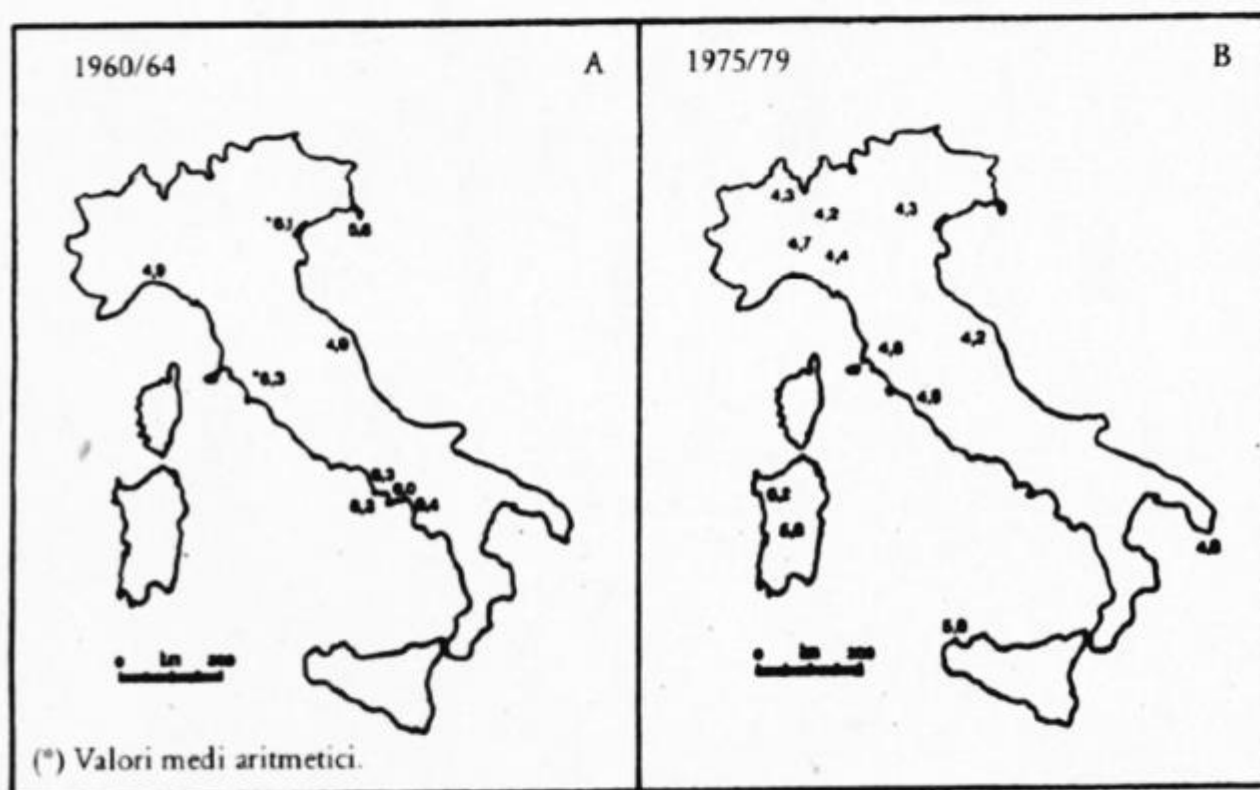


FIG. 11 - Confronto tra pH medi annuali ponderati delle precipitazioni atmosferiche italiane rilevati nei periodi 1960-64 e 1975-79.

Una diminuzione di una unità di pH significa un aumento di acidità di 10 volte, con conseguenze ecologiche non ancora del tutto note.

MATERIALE PARTICOLATO

Il materiale particolato è costituito da particelle solide o liquide con dimensioni che vanno da 0.002 a 500 micron (1 micron = 1/1000 di millimetro).

La costituzione chimica del materiale particolato è amplissima, ed è chiaramente

te in relazione con la fonte. Nella tab. 6 sono riportati alcuni esempi di elementi contenuti nel particolato, con relative fonti ed effetti sulla salute.

TABELLA N. 6
METALLI POTENZIALMENTE PERICOLOSI PER LA SALUTE
ANCHE IN TRACCE

Elemento	Fonti	Effetti sulla salute
Nichel	Nafta, oli residui, carbone, fumo di tabacco, sostanze chimiche e catalizzatori, acciaio e leghe non ferrose	Cancro polmonare
Berillio	Carbone, industria (nuovi usi proposti nell'industria elettrica nucleare, come combustibili per razzi)	Avvelenamento acuto e cronico, cancro
Boro	Carbone, agenti pulenti, medicinali, manifattura del vetro, altre industrie	Non tossico eccetto come borani
Germanio	Carbone	Piccola tossicità
Arsenico	Carbone, petrolio, detersivi, insetticidi ganghe	Pericolo discusso; può causare cancro
Selenio	Carbone, zolfo	Può causare carie dentaria, cancerogeno per i topi, essenziale ai mammiferi in basse dosi
Ittrio	Carbone, petrolio	Cancerogeno per i topi per lunga esposizione
Mercurio	Carbone, batterie elettriche, altre industrie	Danno del sistema nervoso e morte
Vanadio	Petrolio (Venezuela, Iran), prodotti chimici e catalizzatori, acciaio e leghe non ferrose	Probabilmente nessun pericolo agli attuali livelli
Cadmio	Carbone, estrazione zinco, condotte di acqua e tubi, fumo di tabacco	Si sospetta produca malattie cardiovascolari e ipertensione negli esseri umani, interferisce col metabolismo dello zinco e del rame
Antimonio	Industria	Abbreviazione della vita dei topi
Piombo	Gas di scarico autoveicoli (a benzina), pitture (prima del 1948)	Danno al cervello, convulsioni, disordini comportamentali, morte.

Da *Chemical and Engineering News*, 49, 30, 19 luglio 1971.

Il contributo delle varie fonti alla emissione di particolato è riportato nella tabella n. 7.

In funzione delle dimensioni, il materiale particolato può rimanere in sospensione nell'aria da pochi secondi a molti mesi. Nel tempo in cui permangono sospesi fungono da addensanti ed assorbenti verso molti inquinanti gassosi: tipico è il caso della SO_2 , per cui le polveri sospese svolgono un effetto sinergico aumentando notevolmente la loro pericolosità.

TABELLA N. 7

Fonti di emissione di particolato	(in %)
Trasporti	4
Industria	27
Riscaldamento e Centrali Termiche	31
Varie	38

Oltre ai pericoli verso l'uomo, di cui diremo tra poco, le particelle contribuiscono alla diminuzione di visibilità, sia attraverso lo Scattering delle radiazioni luminose, operato dalle particelle di dimensione inferiore a 0.1 micron; sia attraverso una azione di riflessione e assorbimento.

Paradossalmente la diminuzione di visibilità, incrementa il consumo di energia elettrica con conseguente aumento dei processi di combustione e della emissione di particolato che diminuisce ulteriormente la visibilità!

Nelle atmosfere urbane, il materiale particolato ha essenzialmente origine auto-

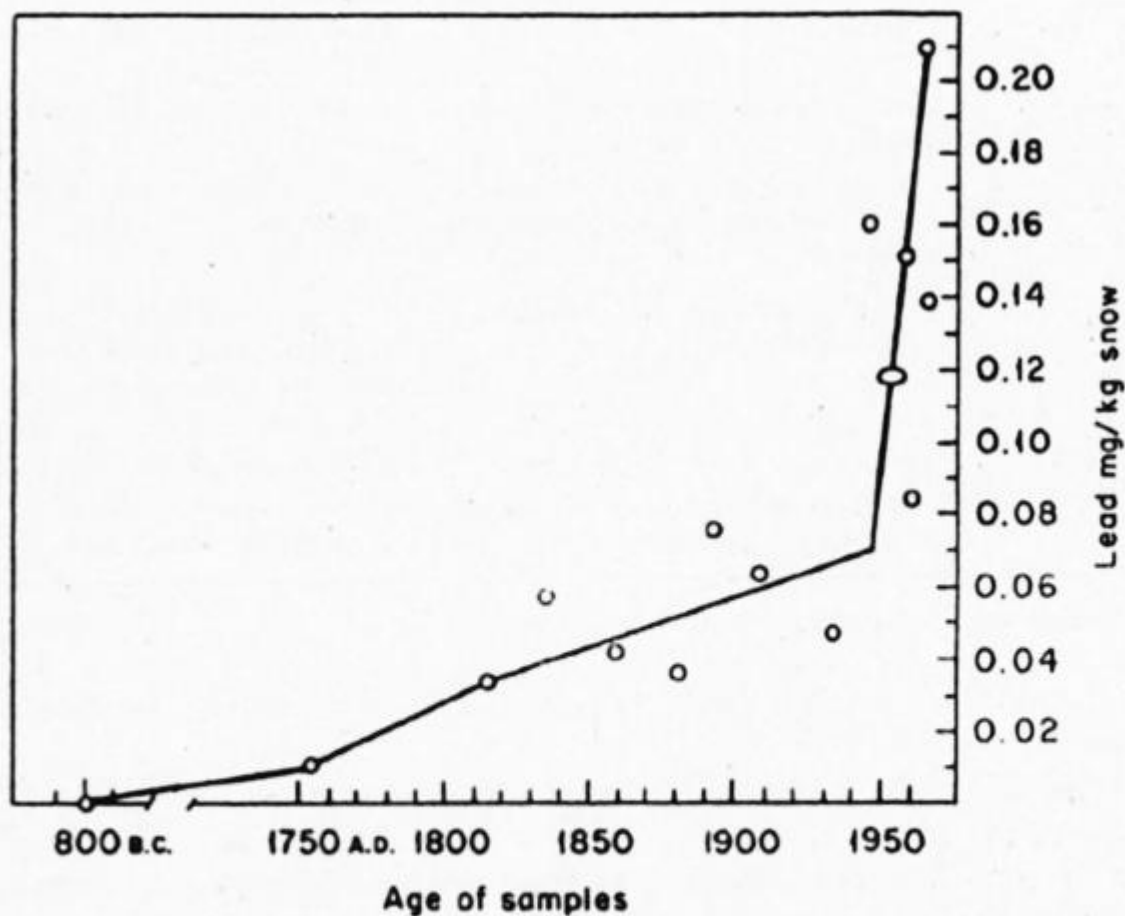


FIG. 12 - Increase in lead content of snow and ice since 800 B.C. (1).

mobilitica. Particelle incombuste, dall'erosione di strade, pneumatici e freni vengono a tonnellate riversate nell'aria. Solo a Bologna ogni giorno vengono polverizzati più di 5 quintali di battistrada.

L'Amianto proveniente dall'usura di freni, frizioni e dalle industrie che lo lavorano, è tra i carcinogeni umani ufficialmente riconosciuti; intrappolate nel polmone, nell'intestino ed in altre parti del corpo, le fibrille di amianto possono indurre localmente la Carcinogenesi anche a distanza di 30 anni. Nei prossimi anni, a causa dei dieci più importanti usi industriali dell'amianto, negli USA si verificheranno 9.000 decessi (uno ogni 58 minuti).

Altro pericolosissimo inquinante delle atmosfere urbane è il Piombo. L'uso di questo metallo è andato progressivamente aumentando dall'epoca della rivoluzione industriale fino all'esplosione di consumi dopo la rivoluzione automobilistica, conseguente al suo impiego come antidetonante delle benzine.

Il parallelo aumento delle emissioni è stato regolarmente registrato nel ghiaccio dei Poli, dove il contenuto di Piombo mostra un andamento perfettamente sovrapponibile al suo consumo (fig. 12).

Gli effetti sull'uomo sono terrificanti e talmente vari, che la sola loro descrizione occuperebbe lo spazio di un libro: questi vanno dagli effetti tossici, teratogeni e cancerogeni, alla aterosclerosi e alla osteolisi fino a quelli apparentemente meno gravi, che colpiscono il comportamento quali: perdita di memoria, astenia, insonnia, diminuzione delle capacità fisiche e mentali, demenza.

UN PÒ DI METEOROLOGIA DELL'INQUINAMENTO

L'atmosfera è composta da una miscela di gas, l'aria, la quale esercita, a causa del suo peso, una pressione sulla superficie della terra, pari mediamente a circa 1 kg./cm². La maggior parte dell'aria è vicina alla terra: la densità a 0°C, a livello del mare è di 1.3 kg/m³, mentre a 6.000 m. di quota è di circa 0.6 kg/m³.

Praticamente il 99,999% della massa dell'aria è racchiusa entro i primi 80 km.: di questi, come abbiamo già detto, solo i primi 3 km. sono interessati dalla diffusione degli inquinanti.

Il maggior contributo alla dispersione degli inquinanti è dato dal moto delle masse d'aria, sia per azione di trascinamento, sia per rimescolamento turbolento. I moti orizzontali dell'aria sono chiamati venti, hanno intensità al suolo dell'ordine di 5 ÷ 10 m/sec. (20-40 km/h), potendo arrivare fino a 35 ÷ 40 m/sec. (130 km/h); i moti verticali sono invece chiamati correnti ed hanno intensità molto inferiore, di solito meno di 2 km/h e solo in casi eccezionali raggiungono i 100 km/h.

I moti d'aria orizzontali, i venti, sono provocati da differenze di pressione atmosferica; per lo più, le differenze di pressione riflettono differenze di densità causate dal diverso riscaldamento solare, per cui una massa d'aria più calda è meno densa, cioè più leggera, e quindi esercita una pressione più bassa. Le linee che uniscono punti aventi la stessa pressione si chiamano ISOBARE. Più fitte sono le Isobare, più grande

è la differenza di pressione, cioè la forza che spinge le masse d'aria. L'aria dunque si muove da regioni ad alta pressione verso quelle a bassa pressione con velocità tanto maggiore quanto più fitte sono le Isobare. In realtà, intervengono altri due fattori modificatori, il primo è dovuto alla curvatura della terra ed alla sua rotazione che tende ad orientare i venti parallelamente alle isobare; il secondo fattore è l'attrito che tende parzialmente ad annullare l'effetto precedente. Pertanto i venti si muovono trasversalmente alle Isobare, deviando però, verso destra, nell'Emisfero Boreale, verso sinistra, in quello Australe (fi. 13).

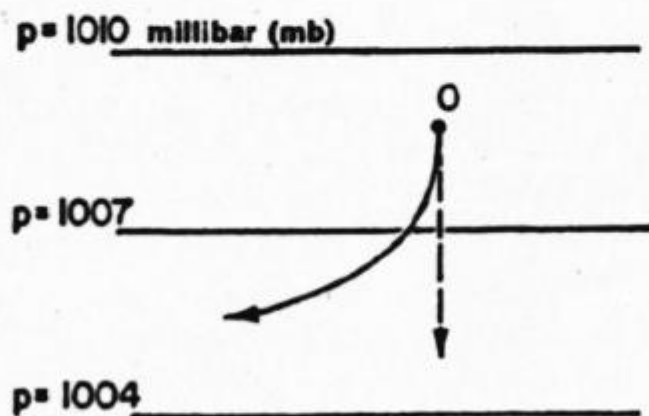


FIG. 13 – Il movimento di un piccolo volume d'aria dipende dalla distribuzione della pressione atmosferica.

I moti verticali, le correnti, possono avere varia origine; possono ad esempio essere causati dal superamento di un ostacolo geografico: quale una montagna, oppure dall'incontro con un «fronte».

Quando dell'aria fredda e pesante, proveniente dal Nord, incontra aria calda e meno densa, queste non si mescolano rapidamente, bensì l'aria fredda si sposta sotto quella calda, se questa è umida si hanno formazioni di nubi con precipitazioni di pioggia o neve. La superficie di separazione tra le due masse d'aria si chiama Fronte Freddo.

Quando invece è una massa d'aria calda che avanza e spinge una massa fredda, si ha un Fronte Caldo (fig. 14).

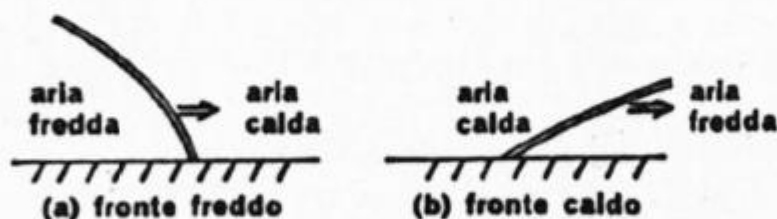


FIG. 14 – La superficie di separazione tra masse di aria calda e masse di aria fredda si chiama fronte.

Salendo l'aria calda dà luogo alla formazione di sistemi nuvolosi accompagnati da pioggia o neve.

Correnti d'aria più o meno localizzate possono prodursi come risultato di differenze di temperatura. Il riscaldamento solare del suolo fa sì che alcune zone siano più calde di altre. L'aria sovrastante si riscalda anch'essa, diventando più leggera e, pertanto tende a salire lasciando il posto a masse d'aria più fredde. Hanno origine così i Moti Convettivi che provocano i temporali estivi.

I moti convettivi tendono a rimescolare l'atmosfera favorendo la dispersione degli inquinanti. Le regioni caratterizzate da bassa pressione, sono chiamate «Cicloni», quelle caratterizzate da alta pressione si chiamano «Anticicloni».

Nelle aree cicloniche, l'aria sale lentamente e a lungo, per parecchi giorni, e frequentemente si hanno formazioni di nubi e precipitazioni. Si ha quello che si chiama «Cattivo Tempo».

Il moto ascensionale dell'aria e le precipitazioni contribuiscono però alla dispersione degli inquinanti.

Le aree anticicloniche sono caratterizzate da venti deboli e «Bel Tempo». In queste aree si ha la discesa di masse d'aria, ossia «SUBSIDENZA». Nel discendere l'aria si comprime e si riscalda, e poichè la Subsidenza di solito non arriva fino al suolo, si ha la formazione di uno strato di aria calda in quota, una «Inversione», che stabilizza l'atmosfera ed ostacola il rimescolamento.

Inoltre, i cieli sereni, caratteristici degli anticicloni, favoriscono il rapido raffreddamento del suolo e dell'aria a contatto, dopo il tramonto, con la formazione di un'inversione al suolo che intrappola gli inquinanti entro le prime centinaia di metri di quota.

La dispersione di inquinanti nell'atmosfera è frutto della diffusione di questi. La diffusione a sua volta è divisa in diffusione molecolare, se dovuta al moto di singole molecole provocate da differenze di concentrazione e, ben più importante, in diffusione turbolenta, provocata dai moti turbolenti dell'aria.

I moti dell'aria sono dovuti ai venti e alla «stabilità» atmosferica. Se un «cubetto» di aria, spinto per una causa qualsiasi, verso l'alto, diciamo di 100 m., trova a questa quota aria più fredda, essendo più caldo e quindi più leggero, tenderà a salire ancora e a rimescolare la massa d'aria.

In questo caso l'atmosfera si dice **INSTABILE**. Se al contrario, il «cubetto» trova aria più calda, esso risulterà più freddo e più pesante e tenderà a ritornare al punto di partenza, l'atmosfera si dirà **STABILE**. Infine, nel caso in cui sia il «cubetto», sia l'aria abbiano la stessa temperatura non ci saranno accelerazioni e l'atmosfera si dirà **NEUTRA**.

La stabilità dell'aria viene misurata attraverso il Gradiente termico Verticale, che indica l'andamento con cui la temperatura diminuisce con la quota. Nella troposfera, che è lo strato dell'aria che c'interessa, la temperatura diminuisce di 1°C ogni 100 m. cioè il gradiente termico verticale adiabatico dell'aria secca è di circa $-1^{\circ}\text{C}/100\text{ m.}$ (adiabatico significa che non vi è scambio di calore tra il «cubetto» e l'aria circostante, ed il segno meno indica che la temperatura diminuisce con la quota).

Quando il gradiente termico verticale è minore di $-1^{\circ}\text{C}/100\text{ m.}$ l'aria circostante al di sopra dell'emissione sarà più fredda del cubetto e quindi instabile (fig. 15).

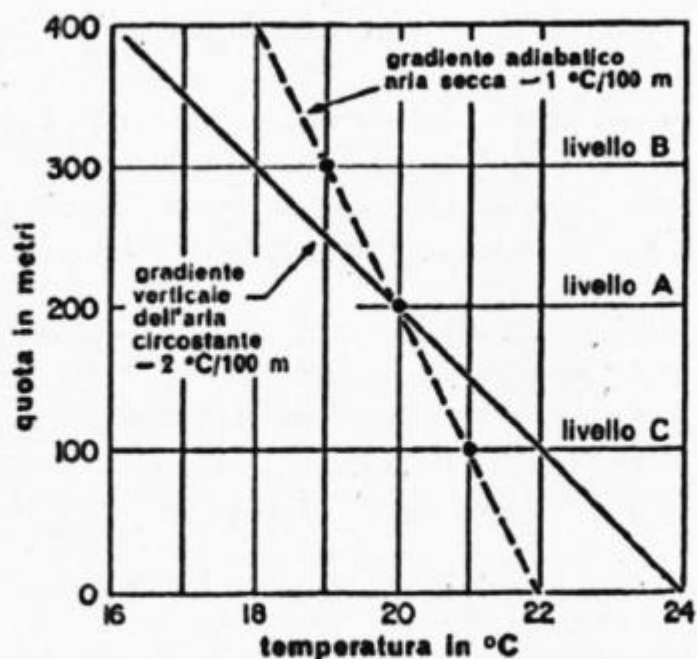


FIG. 15 - Quando il gradiente verticale dell'aria circostante è minore del gradiente verticale adiabatico aria secca l'atmosfera è instabile.

Se invece il gradiente sarà maggiore di $-1\text{ °C}/100\text{ m}$., l'aria al di sopra dell'emissione risulterà più calda del cubetto e quindi l'atmosfera risulterà stabile (fig. 16).

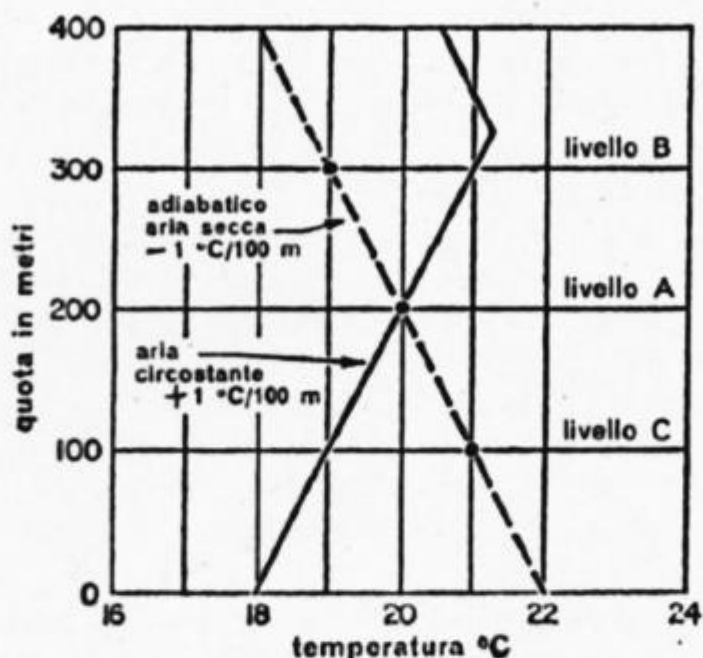


FIG. 16 - Quando il gradiente verticale dell'aria circostante è superiore al gradiente verticale adiabatico aria secca l'atmosfera è stabile.

Se il gradiente risulterà di circa $-1\text{ °C}/100\text{ m}$., l'atmosfera sarà stabile. Nei punti in cui si verifica una inversione di pendenza del gradiente si ha appunto una «In-

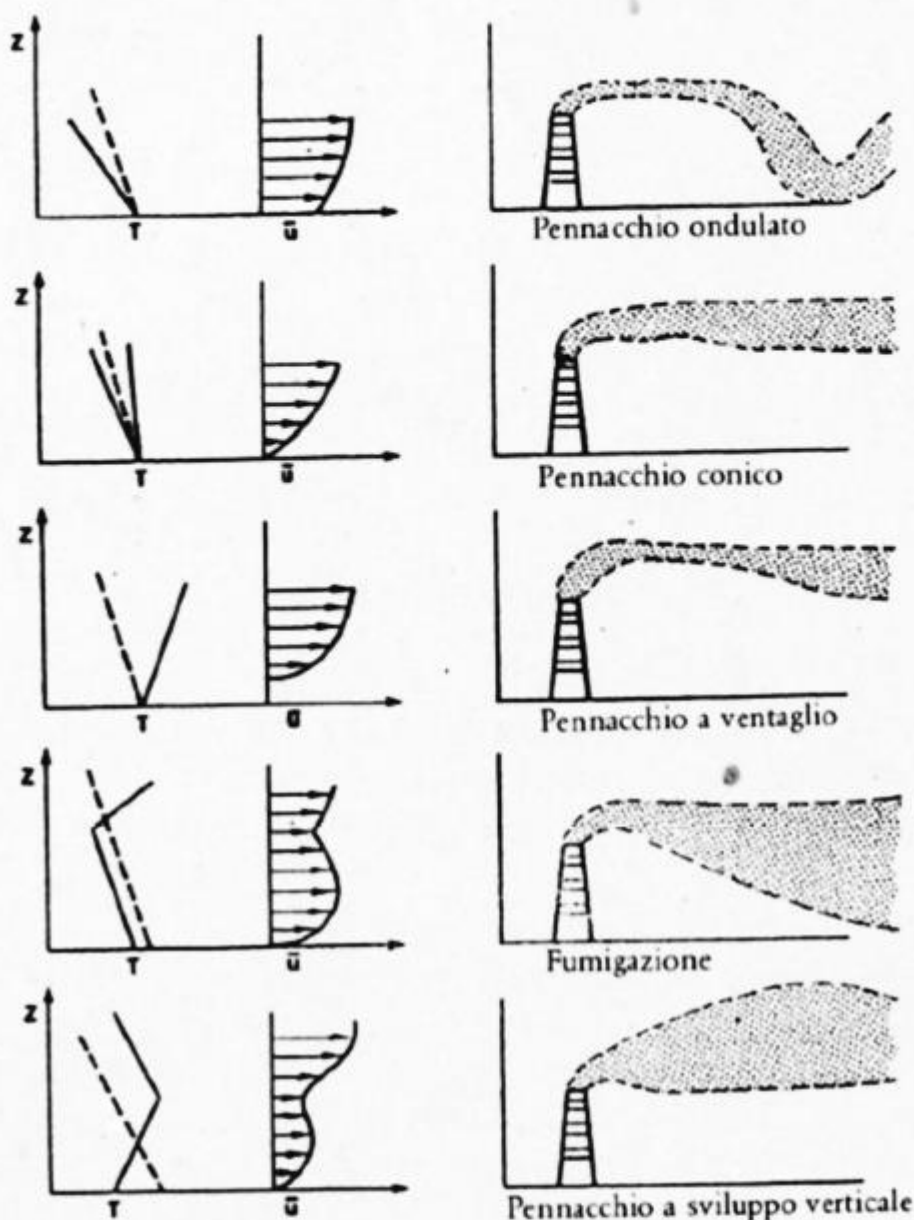


FIG. 17 - Configurazioni tipiche di pennacchio con relativi profili termici e di vento.

versione» termica. Il pennacchio formato dall'emissione degli inquinanti da un camino assumerà forme diverse a seconda della stabilità dell'atmosfera (fig. 17).

Se l'atmosfera è instabile, il pennacchio sarà ondulato e si avrà un forte rimescolamento e la ricaduta al suolo degli inquinanti vicino la sorgente. In Atmosfera neutra il rimescolamento sarà meno intenso del caso precedente. In Atmosfera stabile il pennacchio sarà compatto ed in grado di viaggiare per distanze notevoli, per cui le concentrazioni al suolo vicino alla sorgente saranno trascurabili. Ancora, se l'emissione avviene al di sotto di un'inversione termica, l'inquinante rimane intrappolato provocando concentrazioni al suolo elevatissime dando luogo al fenomeno noto come FUMIGAZIONE.

Infine se l'emissione avviene al di sopra di una inversione gli inquinanti possono diffondersi solo verso l'alto, per cui la concentrazione al suolo è nulla.

BIBLIOGRAFIA

BATTAN, *Cieli sporchi*, Bologna, Zanichelli, 1967

FUMAROLA, *Inquinamento atmosferico*, Napoli, Liguori, 1982

LORENZINI, *le piante e l'inquinamento dell'aria*, Bologna Edagricole, 1983

Le piogge acide, a cura di Autori Vari, Milano, Franco Angeli / Lega Ambiente, 1985

SACCHETTI, *L'uomo antibiologico*, Milano, Feltrinelli, 1985

STOCKER - SEAGER, *Inquinamento dell'aria e dell'acqua*, Milano, Isedi, 1974

