

GAETANO FORNI

EFFETTO SERRA,
AGRICOLTURA TRA DUE RIVOLUZIONI
“COPERNICANE” (1652-2005)
LA FIGURA DEL NUOVO AGRICOLTORE

I. DALLA TEORIA UMISTA ALLA SCOPERTA DELLA FOTOSINTESI

Introduzione: due scoperte d'effetto incommensurabile

Un insigne botanico anglosassone, W. E. Loomis, così conclude, nel 1960, l'inquadramento storico delle 2000 pagine dedicate dallo *Handbuch der Pflanzenphysiologie* (di cui ci occuperemo più avanti) alle vicissitudini della scoperta e delle ricerche svolte negli ultimi secoli sulla fotosintesi:

Dopo 175 anni di lento e talora penoso progresso, noi siamo ora giunti al completo chiarimento di quello che è stato definito, almeno sotto il profilo biologico, il più importante processo chimico del mondo.

Più recentemente (2003) P. Ruggiero, nel capitolo dedicato alla fotosintesi del *Trattato di Biochimica Agraria*, di cui pure ci occuperemo più avanti, scrive:

La fotosintesi è il processo sintetico più spettacolare che avviene sulla Terra ed è utilizzata da piante, alghe (...). Gli organismi fotosintetici fissano circa $0,7 \times 10^{14}$ kg di carbonio per anno (...). Ciò equivale a circa... 10 volte l'energia che l'uomo consuma in un anno....

Non si meravi gli quindi il lettore se anche noi, pur senza alcun obiettivo retorico, dovremmo, in questa nota, spesso usare aggetti-

vi magniloquenti, come “grandioso”, “massimo”, “straordinario”, ecc. È la realtà del ruolo cardinale del processo che lo impone. Piuttosto dobbiamo fare l'appunto a Loomis perché non ha accennato, nella sua sintetica, ma significativa conclusione, che il chiarimento ha comportato un completo capovolgimento, anche concettuale, del rapporto che sino a non molto più di un secolo fa era del tipo uomo-pianta-suolo. Cioè, prima della scoperta della fotosintesi, si era certi che il mondo vegetale si nutrisse prevalentemente dell'humus del terreno (teoria *umista*). Tale antica concezione è stata poi corretta, aggiungendo alla terra il cielo. E ognuno sa quanto il cielo (cioè l'atmosfera) sia importante, ora che l'effetto serra è sulla bocca di tutti.

* * *

Generalmente si associa al sacerdote Joseph Priestley (1733-1804) la scoperta dell'ossigeno, ma a lui non si deve solo questo. Egli, come vedremo, è innanzitutto lo scopritore dell'anidride carbonica. La scoperta dell'ossigeno ne fu solo una conseguenza. Il suo maggior merito sta, senza dubbio, nel fatto di aver partecipato a una delle più straordinarie scoperte di tutti i tempi, straordinaria perché relativa alle fondamenta della vita sulla terra: la scoperta del processo da cui dipende, in sostanza, la produzione di tutto il cibo necessario ai viventi e di tutto l'ossigeno indispensabile per respirare: la scoperta della fotosintesi.

Ma ora sta manifestandosi una seconda scoperta che, pur essendo soprattutto concettuale, per alcuni aspetti è più importante della prima: essa consiste nel rendersi conto del fatto che il governo, finora sostanzialmente inconsapevole, di tale processo è nelle mani dell'uomo. Dell'*Homo* che, sinteticamente e simbolicamente, possiamo definire “industriale”, per quel che riguarda la produzione della CO₂. Dell'*Homo* “agricoltore” in senso lato, per quel che riguarda il suo utilizzo, al fine di produrre ossigeno e cibo per tutti i viventi.

Ma l'esito di tutte le scoperte di enorme portata, e per di più svoltesi in brevissimo tempo, è uno sconvolgimento non solo tecnico ed economico, ma soprattutto concettuale. Per cui è urgente il bisogno di far chiarezza.

In questa nota tenteremo di farlo* illustrando sinteticamente come si è giunti alla scoperta della funzione clorofilliana. Successivamente porremo in evidenza l'incoscienza (nel significato etimologico d'ignoranza e inconsapevolezza) di coloro che, pur avendo in mano il timone per il governo della funzione clorofilliana globale, non se ne rendono conto, rischiando così, come tutti i re, di essere spodestati. E ciò sta già avvenendo.

Nel '700-primo '800, una delle più grandi scoperte scientifiche di tutti i tempi: le piante si nutrono d'aria (anidride carbonica) e luce, non solo d'acqua e sali del suolo

In un mondo eminentemente rurale, quale quello che nei secoli, anzi nei millenni, ha preceduto la rivoluzione industriale, i fenomeni che si presentavano all'emergente chimica sperimentale inevitabilmente erano in prevalenza attinenti con l'agricoltura. Basti consultare le *Mémoires de Chimie* di A.L. Lavoisier (1743-1794), in cui si analizzano i processi di respirazione, ossidazione, cioè di produzione di CO_2 . Oppure quelle di N. de Saussure (1767-1845), che si occupò, come vedremo meglio più avanti, di fotosintesi, fermentazione; di A. Bassi (1773-1856), il biochimico precursore di L. Pasteur (1822-1895), di J. Boussingault (1802-1887), studioso della fotosintesi e della nutrizione minerale dei vegetali, per arrivare a J.

* Necessariamente, per chiarire, dovremo schematizzare: così ad es. con "mondo vegetale" intenderemo i vegetali che svolgono la fotosintesi. Egualmente, desiderando fornire al lettore un'informazione bibliografica il più possibile completa per le pubblicazioni di difficile reperimento, in particolare le antiche, ci siamo avvalsi delle citazioni di Loomis e di altri Autori di seria competenza. Infine, per farci comprendere anche dai non specialisti in fito-fisiologia e in fisica dell'atmosfera, abbiamo evitato simboli e formule difficilmente interpretabili da parte del lettore comune. Colgo l'occasione per ringraziare in questa nota il prof. L. Mariani, docente di agro-meteorologia all'Università di Milano, non solo per l'attenta revisione del testo, sotto il profilo delle sue competenze, ma anche per le preziose informazioni, documentazioni e suggerimenti, nonché il prof. T. Maggiore, direttore del Dip.to di Produzione Vegetale della Facoltà di Agraria dell'Università di Milano, e i suoi collaboratori (il fitofisiologo prof. M. Cocucci, il prof. O. Failla, ecc.) e la dr. L. Pompili, dell'Istituto Sperimentale per la nutrizione delle piante, per le apprezzate osservazioni e documentazioni.

Liebig (1803-1873) e al nostro W. Körner (1839-1922). Nostro perché docente per 52 anni (1870-1922) di chimica e biochimica agraria nella Scuola Superiore d'Agricoltura di Milano, maestro di A. Menozzi (1854-1947), suo successore nella cattedra di Milano. Quest'ultimo legò il suo nome agli studi sulla fisiologia dell'assorbimento della CO_2 da parte dei vegetali, con le sue conseguenze pratiche, e quindi su quella che definì come «concimazione carbonica»¹. Di conseguenza, in sostanza, si può agevolmente concludere che la chimica come scienza nacque prevalentemente come biochimica.

Ovviamente, se i bio-chimico-agronomi erano interessati all'utilizzo della CO_2 da parte delle piante, non lo erano meno, sotto il profilo più teorico, i botanici, in particolare i fisiologi vegetali. Nel cuore del '900 primeggiava, fra i trattatisti italiani di questi argomenti, Sergio Tonzig (1905-1998), dal 1939 docente di botanica all'Università di Milano, il quale, nei suoi *Elementi di Botanica* (Milano, 1948) dedica cinque sostanziosi capitoli alla fotosintesi. Naturalmente una trattazione enormemente più ampia è reperibile nei grandi *Handbuch* internazionali che sono solite pubblicare le case editrici specialistiche, per lo più tedesche. Così l'*Handbuch der Pflanzenphysiologie* citato all'inizio, curato da W. Ruhland per la Springer Verlag di Berlino-Heidelberg, ha dedicato due dei 18 volumi della prima edizione alla fotosintesi. Per di più, il primo, uscito nel 1960, suddiviso in due tomi, per un totale di quasi 2000 pagine, tratta specificamente dell'assimilazione della CO_2 mediante la fotosintesi: *Die CO_2 Assimilation*. Il secondo, di 1444 pagine, pubblicato in precedenza (1958), è dedicato ai prodotti della fotosintesi, gli idrati di carbonio *Aufbauspeicherung-mobilisierung u. Umbildung d. Kohlenhydrate*. Ogni capitolo è steso da specialisti. Prezioso quello steso dal già citato W. Loomis, che dedica una trentina di pagine all'illustrazione delle tappe che hanno portato alla scoperta della fotosintesi. Mentre, prima dell'epoca di Malpighi (1628-1694), si era d'accordo erroneamente sul fatto che le piante assorbissero

¹ A. MENOZZI, *La concimazione carbonica*, in *Chimica Agraria*, Milano, 1946, pp. 204-224; ID., *La produzione di materia organica nelle piante verdi*, in *Chimica Vegetale*, Milano, 1945.

tutto il loro nutrimento, compresa l'acqua, dal terreno, questo biologo (1675) riteneva che anche le foglie contribuissero al riguardo. Sempre nel '600, studiosi come Van Helmont (1577-1644), Boyle (1627-1691) e Woodward (pure citato dal Loomis) dimostravano che le piante germinavano e si accrescevano in peso secco, senza sostanziale diminuzione del peso secco del suolo in cui si erano sviluppate. Ma le premonizioni di Malpighi circa il contributo dell'apparato fogliare trovarono conferma solo da parte di pochi altri sperimentatori, vissuti tra il '700 e l'800, di cui riferiscono Saltini, come pure Salisbury e Ross². Questi ultimi accennano che

nel 1727 Stephen Hales ipotizzò che (le piante acquisissero) parte del loro nutrimento (...) dall'atmosfera e che in questo processo fosse in qualche modo coinvolta la luce.

Pure N. de Saussure³ annota che, alla fine del XVIII secolo, Perceval aveva documentato come le piante sottoposte a una corrente d'aria ricca in CO₂ si sviluppavano meglio e più rapidamente di quelle tenute in una corrente d'aria comune. Naturalmente Perceval non conosceva ancora il termine CO₂, introdotto in anni successivi, ma ad essa si riferiva. Secondo quanto documenta Loomis⁴, Priestley, nel 1771, a seguito di esperimenti rudimentali, protrattisi anche negli anni successivi (1776) arguì che le piante purificassero l'aria inquinata dalla combustione di una candela, dalla fermentazione del mosto nella produzione della birra, dal respiro di animali, ecc. Ecco come si esprime:

² Essenziale è il contributo informativo su questo argomento offerto dal II e III volume dell'opera di A. SALTINI, *Storia delle Scienze Agrarie*, Bologna, 1984-1989. In particolare per questo periodo, si veda il vol. III, pp. 5-92, *passim*. F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, 2ª ediz. italiana sulla 4ª americana, Bologna, 1994, p. 230; M. MALPIGHI, *Anathome planctarum*, 1675; F.M. VAN HELMONT, *Ortus Medicinæ*, Amsterdam, 1652; S. HALES, *Vegetable statics*, 1726.

³ *Recherches chimiques sur la végétation*, Paris, 1804, p. 29.

⁴ W. LOOMIS, *Historical introduction*, in *Handbuch d. Pflanzenphysiologie*, B. V, Teil 1, Berlin-Heidelberg, 1960, pp. 89-91; J. PRIESTLEY, *Experiments and observations on different kinds of air*, London, 1776; J. WOODWARD, «Phil. Trans. Roy. Soc.», 21 (1699), p. 382.

Io sono stato veramente contento per aver scoperto almeno uno dei mezzi con cui la natura rende nuovamente salubre l'aria guastata dalla fiamma delle candele. Questo mezzo sono *le piante verdi*. Ho ripetuto l'esperimento senza modifiche otto o dieci volte.

Egli aveva scoperto che, dopo che la candela è spenta – aggiungiamo noi, consumando tutto l'ossigeno in un piccolo ambiente chiuso ermeticamente – essa può essere riaccesa se vengono inserite delle pianticelle verdi.

Dopo qualche anno (1776) egli giunge alla conclusione che, come le radici traggono nutrimento dal letame del terreno, così le foglie traggono nutrimento dall'aria putrida. Gest⁵ documenta come successivamente Ingen-Housz, un fisico olandese che operava alla corte di Vienna, nell'estate del 1779, condusse diverse centinaia (500 per l'esattezza) di esperimenti sulla purificazione dell'aria, realizzata dalla vegetazione, il che gli permise di effettuare un passo in avanti, dimostrando la necessità della luce. Anzi, come riferiscono Salisbury e Ross⁶, partendo dal principio evidenziato dai suoi esperimenti che anche le piante respirano, giunse a raccomandare che le piante fossero allontanate dalle case durante la notte, per evitare l'avvelenamento degli abitanti, in quanto pure le piante, in mancanza di luce, «imputridiscono» l'aria. Raccomandazione che ha attraversato i secoli, se, nella prima metà del '900, quando frequentavo la scuola elementare, l'insegnante ci sconsigliava di passeggiare nei parchi, attraversare campagne, boschi e prati durante la notte, per evitare sintomi di asfissia.

Un ulteriore passo in avanti è compiuto da Senebier⁷. Le sue opere, pubblicate tra il 1782 e il 1800, sottolineano la necessità della presenza iniziale del «gas putrido» o *fixed air*, come era chiamata la CO₂, perché le piante potessero produrre *dephlosticated air* (l'ossigeno). C'è da precisare che tutti gli studiosi ora citati erano tra lo-

⁵ H. GEST, *Sun-beans, cucumber and purple bacteria*, «Photosynthesis Research», 19 (1988), pp. 287-308. J. INGEN-HOUSZ, *Experiments upon vegetables, discovering their great power of purifying common air*, London, 1779.

⁶ F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, cit., pp. 230-231.

⁷ W.E. LOOMIS, *Historical introduction*, cit., p. 92; J. SENEBIER, *Mémoires physiologiques*, Genève, 1782.

ro in corrispondenza e finirono per accogliere le innovazioni che via via reciprocamente si proponevano. E così pure Priestley nel 1781 era d'accordo con Ingen-Housz sulla necessità della luce solare perché le piante potessero procedere nella purificazione dell'aria. Ciò anche se discutevano aspramente sulla persona alla quale dovesse essere attribuito il merito della priorità delle singole scoperte.

C'è intanto anche da ricordare che, alla fine del '700, e precisamente dal 1785, Lavoisier⁸ non solo aveva introdotto la moderna terminologia per indicare i gas ora trattati (anidride carbonica, ossigeno, ecc.), ma aveva evidenziato che la prima era composta da carbonio e ossigeno. Il che permetteva di spiegare il passaggio dall'aria "putrida" a quella "pura" operato dalle piante verdi e come fosse necessario partire dalla "putrida" per arrivare alla "pura". È in questo modo che Ingen-Housz, nel suo *Foods of Plants and Renovation of the Soil* pubblicato nel 1796, poté affermare che la CO₂ era un'importante fonte di carbonio per le piante verdi. Non è sicuro – aggiunge Loomis⁹ – che egli fosse certo che tale fonte fosse l'unica. Basti dire che gli agronomi erano a quel tempo ancorati alla teoria tradizionale umista, secondo la quale la nutrizione carbonica dei vegetali avveniva attraverso le radici, che, come si è accennato, secondo tale ipotesi avrebbero potuto utilizzare al riguardo l'humus del terreno.

Un primo inquadramento di base del processo fotosintetico: da de Saussure (1804) a Liebig (1840), Mayer (1845), von Sachs (1862/4), Hill (1937). Il crollo della teoria umista: gli effetti socio-psicologici

Erano però comunque maturi i tempi, grazie alle concezioni acquisite, perché un geniale scienziato, Nicolas Théodore de Saussure (1767-1845) potesse emettere, nel 1804, una teoria già in complesso abbastanza completa sulla nutrizione carbonica dei vegetali attraverso le foglie. Il suo merito principale fu quello di applicare il metodo quantitativo del suo Maestro, Lavoisier. Come si desume

⁸ A.L. LAVOISIER, *Traité élémentaire de la chimie*, Paris, 1789.

⁹ W. LOOMIS, *Historical introduction*, cit., p. 93.

dalla sua opera principale¹⁰, egli rifece, con la più rigorosa precisione permessa dagli strumenti del suo tempo, gli esperimenti condotti da Priestley, Senebier, Ingen-Housz, e soprattutto, usando la bilancia, trovò che le piante, durante la fotosintesi, acquistavano un peso secco di molto superiore alla differenza tra il peso della CO₂ assorbita e l'O₂ prodotto. Ne dedusse che tale differenza era dovuta all'H₂O assorbita e incorporata chimicamente nelle sostanze componenti la pianta e quindi ineliminabile con l'essiccamento. Loomis¹¹ conclude sottolineando che de Saussure ha posto in evidenza, in modo sostanzialmente corretto, la più parte delle fasi della fotosintesi. Inoltre lo standard scientifico delle sue sperimentazioni è ritenuto tuttora valido. Molte delle sue teorizzazioni – aggiunge – sono state capite e accettate solo dopo 50 anni e, in qualche caso, anche più di un secolo dopo. Menozzi¹² sottolinea il fatto che per primo de Saussure pose in evidenza¹³ che la percentuale di CO₂ presente nell'atmosfera (dal '700 a oggi è aumentata dell'1 per 10.000) era di gran lunga lontana dall'optimum per la vegetazione. Lo stesso de Saussure, sperimentando sui piselli, rilevò i migliori risultati con una percentuale di CO₂ dell'8%. Cioè se la concentrazione attuale di CO₂ nell'atmosfera è di 350 ppm, l'optimum per il pisello, secondo i dati del de Saussure riportati dal Menozzi, sarebbe di ben 200 volte superiore all'attuale. Salisbury e Ross, come pure Menozzi¹⁴, fanno notare che de Saussure, alla p. 39 della sua pubblicazione precitata, rilevava come il volume della CO₂ assorbita e quello dell'O₂ emesso fossero sostanzialmente identici. Il che risulterà poi

¹⁰ *Recherches chimiques sur la végétation*, cit. Le ricerche del de Saussure sono ben documentate in A. SALTINI, *Storia delle Scienze Agrarie*, cit., vol. II, pp. 485 ss. In questo volume, a pp. 426 ss., Saltini illustra anche l'opera dell'abate A. QUARTAPELLE che cita le ricerche dei pionieri studiosi della fotosintesi, nella sua pubblicazione: *I principi della vegetazione applicati nell'arte del coltivare la terra*, Teramo, 1801. Una eccellente analisi del contributo di de Saussure, di Liebig e di Boussingault in A. BLONDEL-MEGULIS, P. ROBIN, *1800-1840 – Physiologie végétale et Chimie agricole*, in *Actes du Colloque du Pradel*, Rennes, 2002, pp. 275-296.

¹¹ W. LOOMIS, *Historical introduction*, cit., p. 95.

¹² A. MENOZZI, *La concimazione carbonica*, cit., p. 205.

¹³ *Recherches chimiques sur la végétation*, cit., pp. 29-34; A.L. LAVOISIER, *Traité élémentaire de la chimie*, cit.

¹⁴ Rispettivamente F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, cit., p. 231 e A. MENOZZI, *La concimazione carbonica*, cit., p. 219.

determinante per le successive ricerche di Boussingault¹⁵ al fine di individuare la composizione del prodotto della fotosintesi: un carboidrato.

Importante anche il fatto che de Saussure, a p. 23 della sua opera, precisasse che il processo fotosintetico dovesse richiedere un apporto energetico. Quello che viene restituito operando all'inverso, cioè bruciando i prodotti finali della fotosintesi (legno, ecc.).

L'approfondimento di questo aspetto è stato effettuato alcuni anni più tardi (1845) da Mayer¹⁶ che dimostrò come l'energia termica risultante dalla combustione dei prodotti vegetali, come pure quella usata da qualsiasi vivente nel suo metabolismo, fosse derivata dalla luce solare, commutata dalla forma radiante a quella chimica, da parte della vegetazione.

A questo punto, per l'inquadratura completa del processo fotosintetico, mancano ancora pochi elementi essenziali. Questi furono apportati, secondo Salisbury e Ross¹⁷, da von Sachs nel 1862-1864, con la precisazione che il prodotto organico della fotosintesi è un carboidrato. Importanti anche i contributi¹⁸, agli inizi degli anni Venti del secolo scorso, prima di van Niel, poi, nel 1937, di Hill, nel 1941 di Ruben e Kamen, dai quali risulta che l'ossigeno emesso deriva dall'acqua. Fatto questo che sembrerebbe poi dimostrato dal successivo lavoro di Stemler e Radmer¹⁹. È evidente che per una

¹⁵ J. BOUSSINGAULT, *Agronomie, Chimie Agricole et Physiologie*, 5 voll., Paris, 1840-1875; ID., *Sur les fonctions des feuilles*, «Ann. des Sciences Natur. Bot.», Ser. v, 10 (1869), pp. 331-343. Le ricerche di Boussingault sono ampiamente documentate in A. SALTINI, *Storia delle Scienze Agrarie*, cit., vol. III, pp. 23-66.

¹⁶ J.R. MAYER, *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel*, Heilbronn, 1845. Citato in W. LOOMIS, *Historical introduction*, cit., p. 95.

¹⁷ F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, cit., p. 231; J. SACHS, *Ueber d. Einfluss des Lichtes auf die Bildung Amylums in den Chlorophyllkörner*, «Bot. Zeitsch.», 20 (1862), pp. 365-373.

¹⁸ Cfr. P. RUGGIERO, *La fotosintesi*, in L. SCARPONI ET ALII, *Biochimica agraria*, Bologna, 2003, p. 180. C. VAN NIEL, *On the Morphology and Physiology of the purple and green Sulfur Bacteria*, «Arch. Microbiol.», 3 (1931), pp. 1-112; ID., *The comparative biochemistry of photosynthesis*, in J. FRANCK, W. E. LOOMIS eds., *Photosynthesis in Plants*, Ames (Iowa), 1949, pp. 437-495; R. HILL, *Oxygen produced by isolated chloroplasts*, «Proc. Royal Soc.», B, 127 (1939), pp. 192-210; M. KAMEN, *Some remarks on tracer research in photosynthesis*, in J. FRANCK, W. E. LOOMIS eds., *Photosynthesis in Plants*, cit., pp. 365-380.

¹⁹ A. STEMLER, R. RADMER, *Source of photosynthetic oxygen in bicarbonate stimulated Hill reaction*, «Science», 190 (1975), pp. 457-458.

concezione della fotosintesi, articolata nelle sue varie connessioni (struttura delle foglie, ecc.), sono importanti anche altri aspetti, la cui conoscenza non è indispensabile per soddisfare gli obiettivi di questa nota. Loomis²⁰ infatti aggiunge, sotto il profilo storico, i risultati delle ricerche sull'anatomia delle parti verdi dei vegetali, in particolare quelle sulla clorofilla e i cloroplasti, sulle modalità di assorbimento della luce, sulla funzione degli stomi nell'assorbimento della CO₂, sul meccanismo della fotosintesi, sui fattori interni ed esterni che lo condizionano.

Più essenziale per i nostri fini il fatto che, parallelamente a queste progressive conoscenze e applicazioni collaterali, si sviluppava anche la consapevolezza della posizione cardinale della fotosintesi nell'economia complessiva della natura, vale a dire nell'ambito del ciclo geo-bio-antropologico e soprattutto in rapporto a problemi di grande attualità, quali l'effetto serra. È ciò che esamineremo nel successivo paragrafo. Ma prima ci sembra doveroso almeno un cenno agli aspetti socio-psicologici del crollo della teoria umista, quella che assegnava all'assorbimento radicale la nutrizione carbonica delle piante e che (al pari della teoria tolemaica in astronomia sino a Copernico e Galileo) predominava, prima di de Saussure e di Liebig, nella concezione della posizione del mondo biologico nei riguardi di quello fisico.

È chiaro che, dopo de Saussure, i fisiologi vegetali non avevano più dubbi in merito. O meglio avevano la certezza che la nutrizione carbonica si realizzasse *anche* attraverso le foglie, non quella che avvenisse *solo* per mezzo di esse. Del resto, che le radici assorbano sostanze organiche è un fatto accertato, come dimostra l'uso dei decespuglianti e degli erbicidi sparsi sul terreno. Quindi oggi si può solo far riferimento a un'assoluta prevalenza della nutrizione carbonica attraverso le foglie. Riferendoci invece al mondo agricolo e ai suoi tecnici, l'accettazione della fotosintesi fu molto più tardiva. L'evidenza degli effetti della concimazione letamica è troppo incisiva, tanto più che, più si sviluppa l'apparato fogliare con la concimazione azotata apportata dal letame, più, evidentemente, si sviluppa la fotosintesi, in relazione alla maggiore superficie fogliare. Quindi,

²⁰ W. LOOMIS, *Historical introduction*, cit., pp. 96-112.

anche in questo caso, si ripeté tra i non specialisti il comportamento dettato dallo scetticismo.

Per un rivolgimento del punto di vista in merito, fu necessario il grandissimo prestigio di uno scienziato dotato anche di grande comunicativa, quale fu Liebig. Egli peraltro aveva acquisito grande notorietà anche per la sua opera di sperimentazione e di divulgazione sull'impiego e l'utilità della concimazione chimica del terreno. È a lui che si deve l'enunciazione della cosiddetta *legge del minimo* (1848), per la quale gli elementi nutritivi sono assorbiti in proporzioni a grandi linee fisse. Per questo risultava implicito, nelle argomentazioni del Liebig, che se, ad esempio, l'anidride carbonica scarseggia nell'atmosfera, essa limita l'assorbimento anche delle sostanze nutritive disponibili in abbondanza nel terreno. Fu così che un colpo di mazza alla teoria umica venne inferto da questo Autore²¹ quando, nel 1840, pubblicò a Londra, dietro l'invito della Chemical Section della British Association for the Advancement of Science, il suo trattato dal titolo *Organic Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology*. Questo dedicava la I parte ai *Chemical Processes in the Nutrition of Vegetables*, che precisava con chiarezza ciò che le piante assorbono con le radici e ciò che assorbono attraverso le foglie.

Anche in Italia giunse un'eco di queste ricerche. Già prima della diffusione in Italia dell'opera principe del Liebig, i botanici del nostro Paese erano al corrente della scoperta della fotosintesi. Senza tener conto del pioniere Malpighi, è da ricordare almeno G. Fabroni. Ciò è dimostrato dal suo carteggio con Priestley e soprattutto

²¹ J. VON LIEBIG, *Organic Chemistry in its application to Agriculture and Physiology*, London, 1840, dalla traduzione dell'originale sua opera tedesca: *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*, pubblicata da un suo amico editore nello stesso anno. Essa, con correzioni e aggiunte, comparve in successive otto edizioni tedesche, oltre a diverse in altre lingue. In italiano comparve nel 1843 a Napoli e, nel 1844, in una seconda edizione, pubblicata a Vienna; cfr. F. ABBRI, *Chimica e Agricoltura tra sette e ottocento*, in *Agricoltura come manifattura*, a cura di G. Biagioli e R. Pazzagli, Firenze, 2004, pp. 117-181. L'Abbrì vi fa anche rilevare (p. 174, nota 17) che non fosse universale l'apprezzamento per il lavoro scientifico del Liebig. In una sua lettera del maggio 1843, ad esempio, il Berzelius, riferendosi a un'opera del Liebig, scrive «Mon Dieu, quelle radoterie! Quelle grande ignorance dans la physiologie anatomique!... Cependant dans cette radoterie il y a des pépites d'or par ci, par là». L'opera del Liebig è ampiamente documentata da A. SALTINI, *Storia delle Scienze Agrarie*, cit., vol. III, pp. 1-22 e 79-97.

to dalle sue *Reflexions sur l'état actuel de l'agriculture*, pubblicato a Parigi nel 1780, in cui scrive (p. 11): «L'air fixe est (...) un des principes alimentaires et des plus essentiels à la végétation». A Firenze, presso l'Istituto e Museo di Storia delle Scienze, si conserva un suo manoscritto dal titolo *Dell'aria e dei rapporti ch'essa ha con la vegetazione* (mss, Fabbroni II, 22a). Fabbroni riferì dell'argomento all'Accademia dei Georgofili. Atti del 1804. Ne riporta un breve sunto G. Fumi²². Abbri ne tratta diffusamente in varie pubblicazioni, di recente da lui sintetizzate in un suo contributo del 2004²³.

Effetti collaterali della scoperta del processo fotosintetico: il neo-umismo e la concimazione fogliare, anche come stimolo alla funzione clorofilliana

È opportuno aggiungere che, in anni più recenti, s'impose, in particolare nelle regioni mediterranee caratterizzate da un clima semiarido, una rivalutazione per così dire indiretta della funzione fertilizzante dell'humus, una concezione che potremmo definire *neo-umista*. Certo l'humus non è più considerato una sostanza nutritiva assorbita dalle radici, ma si sottolinea che la sua presenza migliora la struttura fisica del suolo, lo rende più permeabile, permette al terreno di trattenere meglio l'umidità, i sali nutritivi. Favorisce la presenza della flora microbica del suolo e quindi accelera la solubilizzazione dei sali, in particolare di quelli fosfatici insolubili. Studi memorabili cui si dedicò il compianto prof. Claudio Antoniani, della Facoltà di Agraria di Milano²⁴. La progressiva se pur lenta ossidazione/mineralizzazione dell'humus "libera" i suoi componenti utili alla nutrizione radicale delle piante.

²² *Fonti per la storia dell'Agricoltura Italiana*, Milano, 2003.

²³ F. ABBRI, *Chimica e Agricoltura tra sette e ottocento*, cit.

²⁴ Di questo Autore possiamo citare, ad esempio, *Nuovo metodo chimico di valutazione del fabbisogno fosfatico dei terreni agrari*, «Annali della Facoltà di Agraria», I (1952), pp. 1-6 dell'estratto; C. ANTONIANI ET ALII, *Osservazioni sperimentali sul comportamento nel terreno dell'iperfosfato Reno*, «L'Agric. Italiana», (1953), n.s. VIII e (1954), n.s. IX; C. ANTONIANI ET ALII, *Azione solubilizzante degli uronidi sulle combinazioni fosfatice*, «L'Agric. Italiana», (1954), n.s. IX.

In Italia un antimineralista e neo-umista fu Oliva (1879-1953) che, nel suo ammirabile trattato di agronomia²⁵, scrisse (p. 534), a mo' di conclusione: «L'agronomia mediterranea dovrà richiamarsi più agli insegnamenti di Catone che a quelli di Liebig». Certamente Oliva non rifiutava l'uso dei concimi minerali, ma voleva sottolineare che questi erano più efficaci per fertilizzare i terreni sciolti, poveri in sali minerali, del centro-nord Europa, piuttosto che quelli calcareo-argillosi del clima asciutto mediterraneo.

Non è inutile anche l'illustrazione del fatto che la scoperta della capacità delle foglie di nutrire la pianta attraverso l'assorbimento della CO₂ che può agevolmente penetrare attraverso gli stomi, fece sorgere già in Liebig l'ipotesi, decisamente avversata da Boussingault, che anche i composti azotati dei vegetali derivassero dall'assorbimento fogliare. Non solo, ma molti anni dopo, verso la metà del secolo scorso, emerse l'idea di fornire alle piante, attraverso queste aperture fogliari, i sali nutritivi normalmente assorbiti dalle radici e di stimolare con essi la stessa fotosintesi. Fatto alla cui divulgazione e sotto diversi altri profili (tesi di laurea, ecc.) partecipò attivamente lo scrivente, per cui si è in grado di fornire qualche dettaglio. In effetti l'ipotesi, verificata sperimentalmente²⁶, ebbe successo, a riguardo non solo dei microelementi nutritivi, ma anche di quei macroelementi insolubilizzati in certi tipi di terreno. È il caso dei fosfati solubili bloccati nei terreni calcarei. È ovvia la frustrazione psicologica che, almeno nei primi anni in cui entrò in voga la pratica della *concimazione fogliare* (così venne chiamata), pervase quei chimico-pedologi neo-umisti, che temevano il rapido annullarsi dell'utilità delle loro ricerche, perseguite per anni con impegnativo lavoro. Da qui, negli anni Cinquanta, le violente discussio-

²⁵ A. OLIVA, *Trattato di Agricoltura generale*, Milano, 1948. Per ulteriori riflessioni sulla concezione che dell'agricoltura avevano gli agronomi italiani tra '800 e '900, cfr. G. FORNI, *La formazione scientifico-culturale dell'agronomo da fine '700 al '900: un'analisi critica*, in *Agricoltura come manifattura*, cit., vol. I, pp. 157-169.

²⁶ D. BOYNTON, *Nutrition by foliar application*, «Ann. Rev. Plant Physiology», vol. 5 (1954), pp. 31-54. Per l'ipotesi di Liebig circa l'assorbimento fogliare di composti azotati, si veda G. BOULAIN, *Histoire de l'agronomie en France*, Paris, 1996, pp. 257, 261.

ni nelle sedi d'incontro tra agronomi, studiosi, agricoltori. Memorabile quello svoltosi il 5 marzo 1955 presso la Società Agraria di Lombardia²⁷ in cui il Prof. Raffaele Ciferri, direttore dell'Istituto Botanico dell'Università di Pavia, pioniere in Italia di molte nuove branche del sapere²⁸ botanico (paleobotanica, archeobotanica, fitosociologia, fitormonologia, ecc.) e agrario (concimazione fogliare, fitoiatria sistemica, ecc.) aveva esposto i risultati delle ricerche condotte in tutto il mondo sull'argomento. Durante la successiva discussione, il prof. Antoniani aggredì letteralmente, per i motivi psicologici precitati, un giovane laureato, reo di aver pienamente accolto le tecniche di concimazione fogliare illustrate dal Ciferri e soprattutto di aver promosso e fondato, appunto negli anni Cinquanta, il periodico «Epigeica», che trattava di assorbimento fogliare di sostanze nutritive, fitormoni, erbicidi, antiparassitari sistemici²⁹. La foglia è l'organo epigeo per eccellenza.

La base scientifica di partenza era costituita dal trattato di botanica del Tonzig e dall'*Handbuch d. Pflanzenphysiologie* precitati. «Epigeica» era utilizzato, oltre che dagli Istituti di ricerca, dalle ditte di prodotti chimici per l'agricoltura (Solplant, ecc.). Era consultato

²⁷ R. CIFERRI, *La nutrizione minerale delle piante per via fogliare*, «Conferenze della Soc. Agr. di Lombardia», (1955), pp. 63-67. In questa relazione il Ciferri riferisce che irrorazioni con elementi micronutritivi (sali di zinco, boro, ecc.) erano state sperimentate sin dall'inizio del '900. Del resto, nelle sue note sulla storia della concimazione fogliare (Annate di «Epigeica» citate in nota 30), Forni accenna alle spruzzature con orina diluita e ceneri, praticata in Oriente *ab antiquo*. Ne accenna anche L. GIARDINI, *Agronomia generale*, Bologna, 1992, pp. 468-470.

²⁸ R. CIFERRI (1897-1964). Tra le sue innumerevoli opere ricordiamo i tre volumi sui *Cereali dell'Africa Italiana*, Firenze, 1939-1941, *Botanica Agraria – La sistematica delle piante*, Milano, 1946; le varie voci *Fumento*, *Fitogeografia*, *Fotosintesi* (*Aspetti Agronomici*) in *Enciclopedia Agraria Italiana*, Roma, 1960.

²⁹ La focalizzazione dell'interesse sulla foglia come organo di assorbimento aveva spinto biochimici, fitologi, entomologi a creare e sperimentare altri prodotti chimici assorbiti dalle foglie, non soltanto quelli aventi effetti nutritivi, cui sopra si è accennato, ma anche antiparassitari, ormoni, diserbanti. Infinita la bibliografia, per la maggior parte passata in rassegna da «Epigeica». Non solo, ma si studiarono anche gli effetti di questi prodotti sulla stessa fotosintesi. Citiamo ad es. R.W. WÄCKERS, *Action de l'insecticide systémic "Systox" (ester de l'acide diéthyl-tiono phosphorique de l'ether ,-oxyéthyl-thioéthylque) sur la physiologie végétale*, «Höfchen-Briefe», 1955-1956, pp. 266-324. Più ancora, si analizzò persino l'effetto sulla fotosintesi degli antiparassitari tradizionali, quali la poltiglia bordolese e il polisolfuro di calcio. Cfr. ad es. S. DALBRO, G. NIELSEN, *The influence of some spray materials on growth and photosynthesis in apple trees*, in *Tidsskrift for plant*, 58, 1955. Per una trattazione della fisiologia della concimazione fogliare si veda L. TAIZ, E. ZEIGER, *Fisiologia vegetale*, Padova, 2002, p. 136. Per gli aspetti agronomici, cfr. L. GIARDINI, *Agronomia generale*, cit.

anche da storici delle tecniche agrarie, come Giovanni Hausmann³⁰, che la cita ripetutamente nelle sue opere.

Nel frattempo vennero posti in commercio concimi fogliari come il Pholium della Monsanto, il Fertilnova (in vari tipi specifici per le diverse colture), ideato e prodotto negli anni Cinquanta dai collaboratori di «Epigeica», sperimentato in particolare in olivicoltura (Castorina) e floricoltura (Eva Mameli Calvino, la madre del noto scrittore, allora direttrice della Stazione Sperimentale di San Remo). Dalla SIAPA era prodotto il Foliar. Il Fertilnova venne richiesto anche all'estero, persino dalla Cina. Il periodico «Epigeica», oltre a trattare schematicamente della fisiologia dell'assorbimento di questi prodotti, e in particolare dei nutrimenti fogliari, aveva una particolare attenzione per la terminologia. Così venne introdotto il termine "concimazione epigea", in quanto non solo le foglie, ma anche le cortecce e i germogli assorbivano questi prodotti. Tale termine è ora solitamente usato come sinonimo di "concimazione fogliare". Vedi ad es. il sostanzioso capitolo dedicato a questo tipo di concimazione da M. Fregoni nella voce "Viticoltura" dell'*Enciclopedia Agraria Italiana*³¹ dove, tra l'altro, sottolinea come «la fertilizzazione epigea (...) accresce il tenore in clorofilla (...) ed eccita l'attività fotosintetica». Il termine «epigeo» in rapporto alla concimazione è impiegato anche dalla recente (2003) Enciclopedia UTET-«La Repubblica» nell'ambito di questa voce. Circa l'effetto stimolante di questi prodotti sulla fotosintesi, si veda anche la bibliografia citata nella nota 29. In essa si fa riferimento pure ai moderni trattati di fitofisiologia che, come quello di Taiz e Zeiger (2002), se ne sono occupati.

Il ruolo dell'anidride carbonica e l'economia della fotosintesi da Tonzig e Menozzi (1945-48) a Ciferri (1960)

Chi ha avuto la fortuna di seguire le lezioni di fisiologia vegetale, in particolare quelle relative alla fotosintesi, di Sergio Tonzig, certo il

³⁰ Cfr. ad es., la bibliografia dell'opera principale, a carattere storico, del prof. G. HAUSSMANN, *La Terra e l'Uomo*, Torino, 1964, in cui, sotto la voce Forni, cita le annate 1956, 1957, 1958, 1959 di «Epigeica».

³¹ Vol. XII, Roma, 1985, pp. 1111-1112.

maggiore e più prestigioso dei trattatisti di botanica italiani del secolo scorso, non ha fatto fatica a capire che il concetto di fondo che Egli soleva focalizzare era il ruolo centrale della fotosintesi nell'ambito del mondo vivente. E, nella fotosintesi, quello parimenti fondamentale della CO_2 . Per il Maestro la CO_2 è la materia prima più preziosa da cui, con la collaborazione dell'acqua e dell'energia radiante solare, deriva tutto il nostro cibo e tutto l'ossigeno indispensabile per respirare. Parlando qualche giorno fa con il figlio Ing. Giovanni, questi mi confermò che anche in famiglia suo Padre era solito esaltare questo ruolo della CO_2 . Colpisce particolarmente il suo rammarico, che traspare implicito nelle pagine del suo trattato di botanica³² dedicate all'argomento, per la relativa scarsità della presenza della CO_2 nell'atmosfera e il conseguente gravissimo danno per l'agricoltura e l'alimentazione umana che logicamente ne deriva. Alla p. 720, Tonzig scrive testualmente

la quantità di anidride carbonica che normalmente si trova in natura e che, ripetiamo, è dello 0,03%³³, non è affatto quella *ottimale* che corrisponde alla maggiore intensità possibile della fotosintesi; per contro, essa è così bassa che si può dire essere (o quasi) la concentrazione *minimale*, quella cioè al disotto della quale³⁴ il processo fotosintetico non è più possibile.

Poco prima (pag. 658) aveva scritto che la cosa «assume un aspetto *tanto più tragicamente ironico*» in quanto l'enorme quantità di CO_2 presente nel terreno «vuoi sotto forma di carbonati, vuoi di composti organici» è invece, sotto questo riguardo, inutilizzabile per le piante. Aggiunge poi che la stessa situazione, capovolta ma parimenti tragica, si verifica per la loro nutrizione azotata: le loro radici sono costrette a disputarsi le minime tracce di composti azota-

³² S. TONZIG, *Elementi di botanica*, Milano, 1948, pp. 718-723; G. VISCONTI in *L'atmosfera*, Milano, 1989, indicava, a p. 13, 0,033%; Y. MALHI, P. MEIR, S. BROWN in S. WINGLAND, *CO_2 e biodiversità*, Milano, 2004, p. 46, riportano 0,0365%.

³³ Vari Autori oggi riportano cifre che variano dallo 0,035% allo 0,04%. Provvidenziale! – avrebbe esclamato al suo tempo Sergio Tonzig – benedette queste industrie che ci offrono questo prezioso concime carbonico senza farcelo pagare! Ma Tonzig era un ottimo botanico, non un profeta, non prevedeva né l'eccesso di effetto serra né Kyoto!

³⁴ Questo concetto è confermato e ribadito nella voce "Fotosintesi" dell'autorevole e recentissima (2003) Enciclopedia UTET-«La Repubblica», al paragrafo *Anidride carbonica*.

ti presenti nel terreno, perché le loro foglie sono incapaci di utilizzare lo sconfinato oceano di azoto costituito dai quattro quinti dell'atmosfera.

Vedremo più avanti come probabilmente sia stata appunto la suddetta carenza di CO_2 nell'atmosfera a far emergere nelle piante la struttura C_4 , caratterizzata da meccanismi «atti a concentrare la CO_2 nell'interno delle foglie».

Queste considerazioni del Tonzig sono molto importanti e vanno correttamente interpretate con quanto contengono d'implicito, che talvolta rivelava apertamente nei suoi colloqui confidenziali con gli studenti. Se la concentrazione attuale (scriveva nel 1948) è il minimo sotto il quale la fotosintesi si blocca, ciò significa molte cose. Innanzitutto l'immenso lavoro compiuto dal mondo vegetale per arricchire di ossigeno un'atmosfera terrestre che originariamente era priva di ossigeno, ma presentava forti concentrazioni di CO_2 (oltre forse a metano e ammoniaca come in altri pianeti del sistema solare). Atmosfera irrespirabile quindi per l'uomo e gli animali, che il mondo vegetale ha arricchito progressivamente di ossigeno partendo da zero. Significa anche il timore per una CO_2 prima presente in quantità massiccia, esorbitante e al suo tempo ridotta in tracce, in procinto quasi di scomparire. Situazione che senza dubbio limita gravemente lo sviluppo vegetativo. Ci fa anche capire, riferendoci all'oggi, l'altissimo livello di contraddittorietà dell'opinione pubblica quando, nel 1995, di fronte al lussureggiamento della vegetazione algale marina dell'Adriatico (fenomeno questo che si ripete periodicamente), pur angosciandosi per l'eccesso di CO_2 nell'atmosfera, egualmente si angosciava per lo sviluppo di alghe marine che, entro certi limiti, ha grande efficacia nell'utilizzo e quindi nella riduzione della CO_2 nell'atmosfera. Spiega altresì quanto scrive il Tonzig nelle pagine successive del suo trattato. In primo luogo illustra i benefici effetti che si ottengono laddove l'ambiente viene dotato di una concentrazione più elevata di CO_2 :

Tutte le piante con le quali si sperimentò siffattamente concimate (cioè con anidride carbonica aggiunta all'aria in ambiente chiuso) diedero un raccolto notevolmente superiore: così le colture "gasate" di pomodoro, cetriolo e patata diedero un rendimento triplo, mentre con le Leguminose i raccolti divennero 5 o anche 6 volte superiori.

Poi aggiunge con implicito senso di rammarico:

È tuttavia chiaro che troppe difficoltà si oppongono al pratico impiego di un fertilizzante allo stato gassoso, in aperta campagna.

Per questo concentra le sue osservazioni in modo concreto sull'effettuabile e, riferendosi agli ambienti chiusi, precisa in primo luogo che il comportamento delle piante in relazione alla concentrazione di CO_2 nell'atmosfera è influenzato da diversi fattori. *In primis* la specie d'appartenenza. Alcune di queste (come vedremo, sono le piante C_4), dopo una reazione iniziale positiva, rimangono indifferenti alla maggiore concentrazione. Non è certo il caso delle piante coltivate in serra, per le quali l'aggiunta di CO_2 all'atmosfera della serra costituisce una pratica ormai secolare. Infatti Tonzig aggiunge:

In generale tuttavia si può dire che, con un aumento dell'anidride carbonica fino a una concentrazione dell'8-10%, la fotosintesi diviene sempre più rapida e redditizia: un ulteriore aumento riesce dannoso e, a concentrazioni del 26-30%, la funzione clorofilliana è impedita quasi del tutto.

Poi Tonzig passa a elencare altri effetti positivi ottenuti con la concimazione a base di CO_2 . Ci limitiamo a segnalare, oltre al più rapido e rigoglioso sviluppo, come molto importante la maggiore resistenza ai parassiti.

I dati offerti da Tonzig sono confermati da quelli dedicati alla concimazione carbonica dal Menozzi³⁵, che pone in evidenza un incremento del 40-50% e persino del 90% e più nelle prove sperimentali su molte specie di piante. Ciferri³⁶, dopo una lunga introduzione di Pratolongo, precisa che, aumentando artificialmente il contenuto della CO_2 dell'atmosfera fino a 20 volte la normale, vi è un aumento all'incirca lineare dell'assimilazione apparente; questa raddoppia accrescendo la concentrazione di CO_2 , secondo questi

³⁵ A. MENOZZI, *La concimazione carbonica*, cit., pp. 213 ss.

³⁶ *Enciclopedia Agraria Italiana*, cit., IV, voce *Fotosintesi*, pp. 994-998.

fattori: pomodoro 2,5-3,2; erba medica 2,7; barbabietola da zucchero 2,5-2,7. Molte piante tendono dunque a rispondere allo stesso modo. È utile accennare anche ai passi del trattato di botanica del Tonzig che si riferiscono ai siti, alle nicchie ambientali che hanno il pregio di essere dotate di una più alta concentrazione di CO_2 . Tra questi egli focalizza in primo luogo i boschi. Questi, a causa della loro straordinaria ricchezza in humus, producono una rilevante quantità di CO_2 (fino a 25 kg/ora/ha). È ovvio che quindi i boschi siano lontani dall'ossigenare l'atmosfera riducendone il contenuto in CO_2 , come generalmente si legge negli opuscoli divulgativi di certi ambientalisti. Lo confermano gli ecologi, ad es. Francesco Albergoni, docente all'Università degli Studi di Milano, nel Dipartimento di Biologia, sezione di Fisiologia vegetale/Fotosintesi, che così scrive:

Non è vero che la principale funzione di un bosco sia la produzione di ossigeno. È una trovata pubblicitaria priva di qualsiasi fondamento. Se non dobbiamo più credere a elfi o fate, non dobbiamo nemmeno attribuire al bosco nuove e inventate virtù magiche³⁷.

Tonzig quindi apprezza i boschi perché la loro atmosfera, particolarmente dotata di CO_2 , ne favorisce la fotosintesi. Passa poi a suggerire come creare anche in campagna nicchie più ricche in CO_2 . Il mezzo che predilige è quello di creare siepi o anche sottili recinzioni intorno ai campi.

Riguardo al consumo di CO_2 da parte dei vegetali, Tonzig, a p. 723, calcola la quantità media di CO_2 che utilizza per il suo sviluppo un ha di avena al giorno. Essa ammonta a ben 120 kg, vale a dire a 60.704 litri di questo gas, dato che un litro pesa g 1,9768 alla temperatura di 0°C e al livello del mare³⁸.

Dati interessanti sono riportati anche da altri Autori. Menozzi³⁹ calcola che un ettaro di frumento, senza tener conto delle radici e delle foglie eliminate durante lo sviluppo della pianta, in media sottragga in un anno, per produrre il complesso della sua sostanza sec-

³⁷ *La vita tra cose e natura*, Catalogo della 18ª Triennale, Milano, 1992, p. 215.

³⁸ H. RÖMPP, *Chemie Lexicon*, Stuttgart, 1952.

³⁹ A. MENOZZI, *La Produzione di materia organica nelle piante verdi*, cit., p. 238.

ca, 9500 kg di CO₂. Una quantità, sempre, in media, molto maggiore, considerate le diverse falciature, è quella della CO₂ utilizzata da un prato che, secondo questo Autore, ammonta a circa 20.000 kg/ha/anno. Ancora Menozzi, riportando i dati di altri Autori, calcola, in base alla CO₂ assorbita da una pianta di girasole, che, se tutta la terraferma (149 milioni di km²) fosse ricoperta da questa coltura, in 40 mesi tutta la CO₂ contenuta nell'atmosfera si ridurrebbe a un livello così basso da bloccare il processo fotosintetico. Naturalmente, non tenendo conto della CO₂ prodotta nel frattempo dalle diverse fonti.

Ciferri⁴⁰ calcola che per formare una pianta di mais di medie dimensioni (g 364 di sostanza secca) questa sottragga da kg 2.783,5 di aria tutto il suo contenuto di CO₂, vale a dire kg 1,331. Considerando che un ha di campo a mais può contenere⁴¹ da 2 a 10 piante per m², tenendo conto solo della media di 5 piante/m², cioè di 50.000 piante per ha, si ha un utilizzo di CO₂ pari a kg 66.700. Ciferri riporta anche il caso di un melo di otto anni che, da maggio a novembre, assimilò kg 22,2 di CO₂, producendo kg 14,6 di carboidrati, impiegati nella formazione di foglie, fiori, frutti e rami. Misurazioni più precise si ottengono calcolando l'entità della fotosintesi in base alla superficie fogliare⁴².

Ovviamente tutti i dati riportati sono al lordo della CO₂ prodotta dal terreno. Questa naturalmente varia da suolo a suolo. Tonzig⁴³ calcola che un terreno sabbioso con scarso humus produca in media 2 kg di CO₂ /ha/ora. Sembra implicito che Tonzig si riferisca a misurazioni effettuate in giornate a temperatura media, in quanto la respirazione del suolo gelato, eventualmente coperto di neve, è minima o nulla. La CO₂ prodotta sale in proporzione all'humus contenuto. In una foresta in cui il suolo è molto ricco in humus la CO₂ prodotta può arrivare ai 25 kg/ha/ora. Nel caso dei

⁴⁰ *Enciclopedia Agraria Italiana*, cit., IV, voce *Fotosintesi*, pp. 994-998.

⁴¹ E. LANZA, Voce *mais* in *Enciclopedia Agraria Italiana*, cit., p. 49.

⁴² A. BRANDOLINI, C. PLEBA, Voce *mais* in *Enciclopedia Agraria Italiana*, cit., p. 14; G. MARIANI, Voce *mais* in *Enciclopedia Agraria Italiana*, cit., pp. 39-40.

⁴³ S. TONZIG, *Elementi di botanica*, cit., pp. 721 ss. Cfr. anche A. CESCATTI ET ALII, *Il ciclo del carbonio negli ecosistemi forestali*, Trento, 2003, p. 27.

campi coltivati il livello massimo si pone tra 1/5 e 1/10 di quello dei boschi. Inoltre è necessario aggiungere la CO₂ prodotta con le operazioni colturali (ma, per un oggettivo confronto con le foreste, occorrerebbe tenere conto di questa CO₂ supplementare prodotta anche in selvicoltura, per il taglio degli alberi e l'esbosco: CO₂ ancora maggiore, se si tratta di località boschive percorse da strade molto trafficate perché d'interesse turistico).

Dati interessanti sono riportati da Borin⁴⁴. Dalla Tab. 7.7 si ricava che, con l'attuale lavorazione del suolo con mezzi meccanici, si producono, al massimo livello, 360 kg/ha/anno di CO₂; con lavorazioni più ridotte l'emissione si riduce a kg 198,76, cioè a poco più della metà, ma è possibile abbassare il livello di produzione di CO₂ a soli kg 133,76. Questi dati non si interpretano oggettivamente se non si tiene conto di quanto Borin premette, nell'impostare i suoi calcoli partendo dall'entità della radiazione solare globale in un'ampia regione, il Veneto, durante il ciclo estivo. Essa ammonta attorno a una media di 30 milioni di MJ/ha. L'energia ausiliaria, cioè quella impiegata, oltre che per effettuare la lavorazione del terreno, anche per le varie operazioni colturali, la raccolta, nonché per produrre i concimi e gli antiparassitari impiegati, le sementi e così via, ammonta, come media, alla *millesima parte* della radiazione globale, oscillando attorno ai 30.000 MJ/ha. Ovviamente, nei singoli campi, essa varia a seconda della coltura e dell'entità dei fattori impiegati. Borin sottolinea che suddetta energia ausiliaria costituisce «una frazione veramente modesta, se rapportata alla dotazione di energia primaria». Questa, per oggettività, è ancor maggiore di quella documentata dal Borin, in quanto egli si limita a calcolarla per il periodo maggio-settembre, mentre i cereali vernini (frumento, ecc.) usufruiscono della radiazione solare anche in autunno e in inverno.

È inutile aggiungere che dai dati offerti dal Borin, tenendo conto del rapporto tra energia irradiata e CO₂ utilizzata e quindi assorbita, sottraendo sia la CO₂ emessa dal terreno sia quella prodotta per acquisire l'energia ausiliaria impiegata, si può risalire all'entità

⁴⁴ M. BORIN, *Introduzione all'ecologia del sistema agricoltura*, Padova, 1999, pp. 207 ss.

netta di CO_2 sottratta all'atmosfera dall'agricoltura veneta nel suo complesso. Tali calcoli potranno essere agevolati e completati tenendo conto di ciò che esporremo nei prossimi paragrafi.

Tornando all'efficienza della fotosintesi, altri dati recenti interessanti sono riportati da Salisbury e Ross e da Ruggiero⁴⁵. Per i primi (p. 279) i valori massimi di produttività fotosintetica di peso secco, espressi in $\text{g/m}^2/\text{anno}$, sono raggiunti dai campi coltivati, dalle paludi e acquitrini, nonché dalla foresta pluviale tropicale. Tutti questi ecosistemi possono pervenire a produrre $\text{kg } 3,5/\text{m}^2/\text{anno}$ di sostanza secca, ma per le foreste occorre tener presente l'enorme produzione di CO_2 del loro suolo che può arrivare, come si è rilevato, al quadruplo o anche al quintuplo di quella emessa in media da un terreno coltivato.

2. L'AGRICOLTURA COME GOVERNO DELLA FOTOSINTESI E IL CONTROLLO DELL'EFFETTO SERRA

Raggruppamenti di piante in base alla loro efficienza fotosintetica

Un'importante distinzione introdotta in base a ricerche in corso da qualche decennio⁴⁶ è quella tra piante C_4 , piante C_3 e piante CAM. Le prime, in genere più diffuse in ambito tropicale e subtropicale, sono così chiamate in quanto i prodotti iniziali della loro fotosintesi sono costituiti da particolari acidi a quattro atomi di carbonio, le seconde da uno specifico composto (il 3PGA) a tre atomi di carbonio. Le piante CAM, per buona parte appartenenti alle Crassulacee, derivano il nome dal loro tipo di metabolismo (Crassulacean Acid Metabolism). Le C_4 , cui appartengono piante agrarie fondamentali come il mais, la canna da zucchero, il miglio, il sorgo, hanno numerosi vantaggi in confronto alle piante C_3 , anche se da un punto di vista energetico il ciclo C_3 è più efficiente del ciclo C_4 . Ma le

⁴⁵ F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, cit.; P. RUGGIERO, *La fotosintesi*, cit.

⁴⁶ F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, cit., pp. 253, 261, 265, 271, 283, 287, 291, 638; P. RUGGIERO, *La fotosintesi*, cit., pp. 190-192, 237, 245, 261; M. BORIN, *Introduzione all'ecologia del sistema agricoltura*, cit., pp. 182-199; G. VISCONTI, *L'atmosfera*, cit., p. 237.

piante C_4 hanno una resa superiore. Quando la temperatura è superiore ai 25°C e il livello d'irradianza dell'energia solare è elevato, hanno un'efficienza fotosintetica quasi doppia delle C_3 nel trasformare la CO_2 in sostanza organica secca. Una pianta arbustiva C_4 che cresce nella Valle della Morte in California ha il suo optimum fotosintetico a 47°C . Nelle piante C_3 invece l'optimum fotosintetico oscilla tra i 15°C e i 30°C . Nelle C_4 , quando la concentrazione di CO_2 è troppo limitata nell'atmosfera, la fotosintesi non si blocca, perché esse concentrano⁴⁷, con dispendio di energia, la CO_2 disponibile nelle cellule della guaina dei fasci conduttori delle foglie. Inoltre la perdita fotorespiratoria di CO_2 è minima o manca del tutto. Ciò anche se la fotorespirazione non deve essere considerata come un aspetto negativo. Infine, grazie alla loro struttura, le C_4 possono in definitiva avere anche il vantaggio di chiudere gli stomi durante le ore più calde e secche, impedendo la perdita di acqua per traspirazione, e svolgere egualmente la fotosintesi, grazie alla CO_2 immagazzinata.

In base a ricerche iniziate da Wartburg nel 1920 bisogna pure aggiungere che le piante C_3 (da cui si presume che le C_4 siano derivate, in risposta alla riduzione della CO_2 atmosferica avvenuta nel Miocene e per adattamento ai climi caldi e aridi), oltre a non possedere i succitati vantaggi, hanno lo svantaggio che la loro attività fotosintetica è ostacolata dalla presenza di ossigeno. Questo effetto è proporzionale alla concentrazione di CO_2 nell'atmosfera. Quando questa si avvicina allo 0, anche la normale concentrazione di O_2 risulta inibente. Alle C_3 appartengono piante d'interesse agricolo importante, come patata, barbabietola, arachide, pomodoro, girasole, erba medica, trifoglio, soia, frumento e altri cereali a esso affini (avena, ecc.). Le C_3 non abbisognano della presenza di sodio per svolgere le loro attività vitali, mentre ne necessitano le C_4 , il che può concorrere a spiegare la genesi di queste in ambienti aridi. La mag-

⁴⁷ F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, cit., p. 265; L. TAIZ, E. ZEIGER, *Fisiologia vegetale*, cit., pp. 256-257. Questi Autori (p. 284) ritengono che le piante C_4 siano derivate dalle C_3 per superare la riduzione di concentrazione della CO_2 atmosferica. Al riguardo cfr. anche P. SITTE, H. ZIEGLER, F. EHRENDORFER, A. BRESINSKY, *Strasburger – Trattato di Botanica*, 9ª ediz. ital. sulla 34ª tedesca, Roma, 2004, p. 255. In seguito, questa opera verrà citata brevemente come "Strasburger".

giore attività sintetica delle C_4 in situazione di elevata irradianza comporta un minor consumo di acqua per grammo di sostanza secca prodotta e anche, in molti casi, una minore esigenza di azoto. Invece le piante C_3 rispondono meglio all'incremento della concentrazione di CO_2 nell'atmosfera. Ad esempio la patata può aumentare anche del 50% la sua produttività con il raddoppio della concentrazione di CO_2 . Il mais, pianta C_4 , incrementa, in tali condizioni, la sua produzione meno del 10%. Nelle piante CAM, piante succulente tipiche dei luoghi desertici, gli stomi, per evitare perdite di acqua, sono chiusi di giorno e aperti di notte. Per questo la CO_2 è assorbita solo di notte, con formazione di acido malico. Di giorno queste piante svolgono la fotosintesi utilizzando la CO_2 immagazzinata dall'acido malico.

Negli ultimi decenni sono aumentate le ricerche⁴⁸ sull'efficienza fotosintetica e la produzione potenziale e reale di una coltura. L'efficienza fotosintetica viene calcolata dividendo la PAR (= *Photosynthetically Active Radiation* = Radiazione fotosinteticamente attiva) assorbita dalla coltura in oggetto sino al momento del raccolto, per l'energia totale di legame del carboidrato (saccarosio) prodotto con la fotosintesi. Considerando la PAR fornita a una data coltura su una data superficie di terreno, si ricava l'*efficienza di produzione di biomassa* complessiva, tenendo presente l'entità della respirazione, oltre a quella della fotosintesi. Essa è risultata, nelle ricerche sinora condotte, sempre inferiore al 18%. Solo in ricerche condotte su colture dense di alghe si è raggiunta un'efficienza del 33% circa. Ma anche l'efficienza del 18% è un livello puramente teorico. Risulta, dalle ricerche condotte in merito, che, togliendo le perdite respiratorie essenziali, l'efficienza potenzialmente raggiungibile si abbassa al 13%, ma in alcuni esperimenti sul frumento il livello si è attestato intorno al 10%. La selezione genetica ha permesso dei miglioramenti dell'efficienza fotosintetica, sinora solo su pochissime colture⁴⁹.

Borin⁵⁰ riporta molteplici dati e calcoli per ricavare dall'entità della PAR incidente quella della biomassa vegetale realizzata, quindi del

⁴⁸ M. BORIN, *Introduzione all'ecologia del sistema agricoltura*, cit., pp. 179 ss; E.W. RUSSELL, F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, cit., pp. 294 ss.

⁴⁹ F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, cit., pp. 294 ss.

⁵⁰ M. BORIN, *Introduzione all'ecologia del sistema agricoltura*, cit., pp. 179-180.

prodotto agrario utile (PAU). Definisce *produttività potenziale* (PP) di una data coltura la quantità totale di biomassa prodotta in base all'entità di energia radiante acquisita, quando non vi siano limitazioni. Rileva inoltre che la PP nelle piante C_4 è in media doppia di quella delle C_3 in ambito intertropicale, che è quasi identica nelle due categorie alla latitudine padana e che la situazione si capovolge nel Nord Europa. Alla latitudine di Lecce è ancora maggiore quella delle C_4 . Elenca infine i fattori *produttivi* che determinano la PP di una data coltura: CO_2 , PAR, temperatura, caratteristiche biologiche e colturali della pianta in oggetto, e quelli *limitanti*: avversità meteorologiche, insufficiente disponibilità di acqua e nutrienti nel suolo (azoto, fosforo, ecc.). Chiama invece *fattori riduttivi* i parassiti di ogni tipo (malerbe, insetti, crittogame, ecc.). Tra le caratteristiche produttive specifiche di natura biologica segnala ad es., oltre all'appartenenza al gruppo C_3 o C_4 , il portamento delle foglie planofilo, cioè orizzontale, che facilita l'intercettazione delle radiazioni solari, o erettofilo, che la riduce anche del 50%. È chiaro che con piante aventi foglie del primo tipo è probabile che nello strato più alto la fotosintesi spesso sarà soprassatura di luce e molta energia luminosa assorbita andrà dispersa. Non così nelle piante con foglie del secondo tipo (caso del frumento e delle moderne cultivar di mais) che permettono la penetrazione della luce anche negli strati più bassi.

Tra le caratteristiche colturali ci limitiamo a indicare la densità delle piante e la loro disposizione. G. Mariani⁵¹ sottolinea come nel mais un aumento della distanza tra le piante nella fila non aumenti l'illuminazione delle foglie, mentre l'incremento della distanza tra le file determina un aumento della superficie fogliare esposta alla radiazione solare e quindi della fotosintesi.

Come le scienze bio-chimico-agrarie possono migliorare l'efficienza della fotosintesi

«Metanoia» chiamavano gli antichi Greci il cambiamento di mentalità, d'impostazione della conoscenza. L'agricoltore non se ne ren-

⁵¹ G. MARIANI, Voce *mais* in *Enciclopedia Agraria Italiana*, cit., p. 40.

de conto, ma tutti, ripeto tutti, i suoi interventi coltivatori sono volti, direttamente o indirettamente, all'efficienza fotosintetica e a indirizzarla in senso utile. Così è, da quando dissoda il terreno, a quando semina fitto o rado, a quando pota, a quando usa gli anti-parassitari, sempre interviene a sviluppare o modificare, difendere, ben disporre l'apparato fogliare della sua coltura e quindi a intensificare la fotosintesi e di conseguenza a migliorare il raccolto. Si consideri in particolare il maggiore sviluppo fogliare e quindi il maggior numero di stomi assorbenti CO_2 che egli ottiene con la concimazione e l'irrigazione. Con questa, anche durante la siccità e nei climi aridi, permette alle foglie di mantenere sempre aperti gli stomi e quindi di aumentare, fino a raddoppiare o triplicare, a seconda dei casi, detto assorbimento. Il non rendersi conto che tutto il suo lavoro sta nel potenziare e indirizzare i risultati della fotosintesi comporta conseguenze negative, come vedremo in seguito, di grandissimo rilievo. Ma intanto vediamo come le scienze biologico-agrarie possano migliorare l'efficienza della fotosintesi. Il fatto che i ripetuti tentativi sperimentali per superare il 18% di EPB (efficienza di produzione di biomassa) in rapporto alla PAR, cioè alla radiazione fotosinteticamente attiva, non abbiano avuto finora successo, tranne che sulle alghe, ha scoraggiato un buon numero di agrobiologi dall'intraprendere ricerche al riguardo. Ciò, in particolare in un'epoca come la nostra, caratterizzata da uno stadio abbastanza avanzato delle biotecnologie, non è giustificato sotto diversi profili: innanzitutto perché⁵² con la selezione è stata migliorata l'efficienza fotosintetica in alcune colture. Così si è rivelato promettente⁵³ selezionare cultivar di cereali capaci di convertire la PAR più in cariossidi (volgarmente chicchi) che in foglie e fusti. Per questa via sono state così ottenute cultivar di frumento, riso, orzo, avena, in cui il rapporto tra il peso dei grani raccolti e la biomassa della parte epigea, in buone condizioni di coltivazione, ha raggiunto anche il 50%. Occorre produrre cultivar di frumento caratterizzate da un buon sviluppo fogliare (numero e ampiezza delle foglie) specialmente all'inizio della stagione. Ciò non basta: occorre che l'archi-

⁵² F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, cit., p. 295.

⁵³ *Ivi*, pp. 295-296.

tettura del fogliame, cioè la disposizione delle foglie, come abbiamo indicato in precedenza, permetta il miglior assorbimento della PAR.

Prospettive più sostanziose e dettagliate ci sono illustrate al riguardo da Fladung, in una pubblicazione del Max Planck Institut di Colonia⁵⁴. Innanzitutto egli precisa che, poiché pochi geni sono responsabili del carattere C_4 e poiché alcune specie C_4 si sviluppano bene anche in ambiti temperati e moderatamente freddi, ecco quindi che, inserendo i loro geni specifici del carattere C_4 in piante C_3 (cui appartiene un gran numero di piante coltivate), si possono far acquisire da queste tutte le caratteristiche di maggior efficienza fotosintetica che abbiamo evidenziato per le C_4 . Anche Ruggiero riferisce⁵⁵ circa sperimentazioni di ingegneria genetica sugli ibridi $C_3 \times C_4$ condotte per questo obiettivo.

Un'ulteriore via di ottimizzazione del processo fotosintetico può consistere nell'inserire nel genoma di piante utili nuovi specifici geni, responsabili della biosintesi di carotenoidi, oppure nell'indurre una iperattivazione dei geni operanti in tal senso, già presenti nel genoma di tali piante. L'aumentata concentrazione di carotenoidi nei cloroplasti delle foglie ha, come è noto, i seguenti benefici effetti: a) migliore assorbimento delle radiazioni solari utili; b) innalzamento della stabilità complessiva del sistema, il che migliora la produzione di energia chimica mediante un più efficace trasporto di elettroni dall'acqua al NADPH (forma abbreviata del nicotinammide adenina dinucleotide fosfato). Ne deriva una più efficace conversione della CO_2 atmosferica in carboidrati e una più efficiente produzione di ossigeno dalla scissione dell'acqua.

Stando così le cose, sotto un profilo antropocentrico, come vedremo meglio più avanti, se la CO_2 è la fonte di tutto il nostro cibo e, tramite l'apporto dell'acqua, di tutto l'ossigeno necessario per la nostra respirazione, è da folli non sviluppare a fondo queste vie di potenziamento della fotosintesi (che significano appunto incremento della produzione di cibo – oltre a fibre tessili, combustibili, ecc. – e di ossigeno, cioè realizzazione di un'era di ab-

⁵⁴ M. FLADUNG, *La fotosintesi*, in W. SCHUCHERT, C. MEYER, *Produzioni agrarie e biotecnologie*, trad. ital., Bologna, 1998, pp. 126-130.

⁵⁵ P. RUGGIERO, *La fotosintesi*, cit., p. 265.

bondanza) per incrementare l'utilizzo della CO_2 sovrabbondante anziché dissanguarsi a costi incommensurabili nel suo contenimento.

La CO_2 dalle stelle dei botanici alle stalle di Kyoto: il suo ruolo nell'effetto serra

Mentre, fino a metà del secolo scorso, come abbiamo visto, il problema ben illustrato dai maggiori botanici (Tonzig) e chimico-agronomi (Menozzi) era la scarsità di CO_2 nell'aria, oggi il problema si è capovolto: la CO_2 appare essere in eccesso, il che – si dice – provoca un pericoloso potenziamento dell'effetto serra. A dir il vero, anche attualmente i botanici confermano, come scrive lo Strasburger⁵⁶ nel tomo dedicato alla fisiologia, che

La concentrazione naturale di CO_2 nell'atmosfera (0,03-0,04%) è subottimale per l'organizzazione fotosintetica. È perciò possibile (...) ottenere un aumento della fotosintesi aumentando la concentrazione ambientale di CO_2 (...). Così, nelle colture di serra, (...) si riesce (...) ad aumentare la produzione, in certi casi addirittura triplicandola.

Egualemente il già citato trattato di fisiologia vegetale di Salisbury e Ross⁵⁷ precisa: «L'attività fotosintetica aumenta (...) con l'aumentare della concentrazione di CO_2 ». Nello stesso senso si esprime il manuale di fisiologia vegetale di Taiz e Zeiger nell'edizione 2002⁵⁸:

Alle concentrazioni attuali atmosferiche, la fotosintesi è limitata dalla CO_2 nelle piante C_3 (...). La maggior parte delle piante C_3 cresce dal 30 al 60% più velocemente quando la concentrazione di CO_2 viene raddoppiata.

⁵⁶ P. SITTE, H. ZIEGLER, F. EHRENDORFER, A. BRESINSKY, *Strasburger – Trattato di botanica*, cit., p. 263.

⁵⁷ F. SALISBURY, C. ROSS, *Fisiologia vegetale*, cit., p. 290.

⁵⁸ L. TAIZ, E. ZEIGER, *Fisiologia vegetale*, cit., p. 284.

E più avanti, a p. 294, completa:

Ad alte densità di flusso fotonico (cioè di irradiazione solare) la fotosintesi della maggior parte delle piante è limitata dalla (ordinaria concentrazione di) CO_2 .

Spiega poi che la limitazione è sostanzialmente più bassa nelle piante C_4 e CAM, a causa della loro capacità di concentrare la CO_2 all'interno della foglia. Come si è già rilevato, questi Autori sono del parere che le piante C_3 si siano evolute in epoche geologiche caratterizzate da assai elevate concentrazioni di CO_2 , mentre la grave riduzione della concentrazione di CO_2 nell'atmosfera nel Miocene avrebbe stimolato l'evoluzione delle piante dalla struttura C_3 alla struttura C_4 . Ruggiero⁵⁹ pensa che le piante a struttura intermedia tra C_3 e C_4 (molte specie appartenenti alle famiglie delle Crucifere, delle Poacee, ecc.) documentino forme evolutive di tale trapasso dalla struttura C_3 alla struttura C_4 , tenendo presente che la differenziazione tra C_3 e C_4 non è di carattere filogenetico, ma ambientale. Per cui, in conclusione, per i fisio-botanici potrebbe sembrare assurdo o almeno incomprensibile questo terrore per un incremento che può apparire infinitesimo (passaggio da 300 a 400 ppm) del contenuto in CO_2 dell'atmosfera.

D'altra parte il problema è senza dubbio rilevante se un buon numero dei più importanti Stati del mondo hanno deliberato, sottoscrivendo nel 1997 il protocollo di Kyoto, di sottoporsi, per contenere la produzione di CO_2 , a costi pari a 18 milioni di miliardi di dollari, secondo le stime dell'autorevole IPCC e come riferiscono ormai anche le pubblicazioni divulgative più serie⁶⁰. È quindi necessario analizzarlo nel modo più chiaro e oggettivo, partendo dai suoi risvolti socio-psicologici e soprattutto storici.

A seguito delle immani devastazioni ambientali avvenute nel secondo dopoguerra, emerse nei decenni successivi una più viva sen-

⁵⁹ P. RUGGIERO, *La fotosintesi*, cit., p. 264.

⁶⁰ Ad es. A. PINCHERA, *Ci salveremo dal riscaldamento globale?*, Roma-Bari, 2004, p. 129. Secondo il dossier *SOS clima*, elaborato da O. PISCITELLI, Milano, 2003, pp. 161-164, il piano predisposto dal Ministro Matteoli prevede investimenti, entro il 2012, per quasi 30 miliardi di euro.

sibilità e interesse per l'ambiente non modificato dall'uomo. Un classico dell'epoca è l'opera di Jean Dorst *Avant que nature meure*⁶¹, in cui la specie umana è in sostanza considerata come "cancro" della natura. Ma anche in quell'epoca la concezione ancora prevalente è quella hegeliana, ereditata poi da Marx, dell'uomo culmine dell'evoluzione, modellatore dell'ambiente, epigono del messaggio biblico emerso già nella preistoria (età del Bronzo), in cui (*Genesi*, 1) il comando divino all'uomo è esplicito «Crescete e moltiplicatevi e popolate la terra e assoggettatela», pur rimanendo implicito che assoggettare la terra non significa sciuparla, devastarla. Ancora espressione di questo modo di pensare sono gli Atti dell'imponente Congresso dei Geografi, svoltosi a Chicago nel 1956 *Man's Role in Changing the Face of the Earth* in cui i principali relatori sono consapevoli che, con il predominio dell'uomo sull'ambiente, la terra è entrata in una nuova era geologica, l'Antropocene⁶². Certo, anche prima di Dorst, si erano levati allarmi sulle devastazioni, o almeno sull'esaurimento della Terra. Ciò sin dall'antichità. Scrive infatti Columella (I sec. d.C.), rivolgendosi a Publio Silvino, all'inizio del II libro del suo trattato di agricoltura:

Tu mi domandi, come mai, fin dall'inizio del primo libro, io abbia subito respinto, considerandola falsa, la vecchia opinione di quasi tutti coloro che si sono occupati di agricoltura, che cioè la terra sia ormai invecchiata e infeconda perché troppo a lungo sfruttata, nel passar dei secoli, dal lavoro degli uomini. Capisco che tu ti trovi a disagio di fronte all'autorità di tanti illustri scrittori⁶³.

Columella aggiunge «Io stesso presterei fede a tale asserzione», ma spiega poi che non può aderirvi perché nei fatti, malgrado tante teoriche pessimistiche considerazioni, la Terra risulta tuttora molto fertile per chi ben la coltiva.

Questo filone pessimistico, nostalgico dell'antica Età dell'Oro, della foresta ancora vergine, della natura intatta, prosegue anche nei

⁶¹ Delachaux e Niestlé ed., Neuchatel, 1965.

⁶² P.J. CRUTZEN, *The geology of Mankind*, «Nature», 415 (2002), p. 23.

⁶³ G. MODERATO COLUMELLA, *De re rustica*. Il passo è commentato da A. SALTINI in *Storia delle Scienze Agrarie*, cit., v, pp. 57-58.

secoli successivi, ma acquisisce toni più drammatici con l'emergere e soprattutto l'imporsi e il trionfale estendersi della rivoluzione industriale. È così che, nella prima metà del secolo scorso, compaiono pubblicazioni come quelle di G. Kuhnoltz Lordat: *La terre incendiée* (1938) e di F. Osborne, *Le planète au pillage* (1949). Certo la documentazione che riportano questi Autori è seria e oggettiva, ma occorre rilevare che si tratta ancora di *voces clamantes* nel deserto. È solo dopo gli anni Sessanta⁶⁴ che viene coinvolta massicciamente l'opinione pubblica. Nascono e si sviluppano i movimenti degli ambientalisti, dei Verdi. Le imprese che producono elettricità partendo dal petrolio, e naturalmente le aziende petrolifere, sovvenzionano, «per farsi perdonare i loro peccati», i convegni, le pubblicazioni di questi movimenti.

Limitandoci ora al problema dell'incremento eccessivo della CO₂ perché, come si è detto, sarebbe pericoloso per le sue conseguenze: incremento troppo rilevante dell'effetto serra, quale sarebbe la natura di questo processo? Ci sembra preziosa al riguardo la voce "Effetto serra" che uno dei massimi esperti attuali dell'argomento, il professor Guido Visconti, docente di fisica e chimica dell'atmosfera, ha steso per la recente (2003) Enciclopedia UTET-«La Repubblica». Essa ha anche il pregio di permettere eventuali approfondimenti su altre opere dello stesso Autore: a partire dal suo trattato universitario⁶⁵, cui si aggiungono altre pubblicazioni meno specialistiche⁶⁶, ma tutte impostate in quel modo equilibrato e oggettivo che solo il sapere solido e meditato permette.

Visconti sottolinea innanzitutto il fatto che è grazie all'effetto serra che è possibile la vita sulla Terra. Senza di esso la temperatura scenderebbe infatti di 33-34°C circa, assestandosi ai -18°C. L'effetto serra è dovuto alla presenza nell'atmosfera di alcuni gas che assorbono parte dell'energia solare riemessa dal nostro pianeta come radiazioni infrarosse. Ne deriva un riscaldamento degli strati inferiori dell'atmosfera e della stessa superficie terrestre.

⁶⁴ G. VISCONTI, *La storia*, nella sua opera *La febbre del Pianeta*, Milano, 1992.

⁶⁵ ID., *Fondamenti di fisica e chimica dell'atmosfera*, Napoli, 2001. La voce "Effetto serra" sopra menzionata è comparsa nel 2003 nel vol. VI dell'Enciclopedia UTET, diffusa dal quotidiano «La Repubblica».

⁶⁶ ID., *La febbre del Pianeta*, cit.; ID., *L'atmosfera*, Milano, 1989.

I dati correnti circa la composizione dell'atmosfera secca a livello del suolo, secondo il Dizionario Enciclopedico Treccani, comprendono il 78,09% di azoto, il 20,93% di ossigeno. I rimanenti componenti sono costituiti, oltre che dall'argon (0,93%), da piccolissime percentuali di altri gas, alcuni dei quali, come ora vedremo, sono appunto quelli che causano l'effetto serra. L'aria inoltre contiene sempre una percentuale variabile di vapore acqueo che, secondo tali fonti, può raggiungere anche il 3-4% in volume.

Secondo Herring e secondo Nelson la responsabilità dei 33-34° dovuti all'effetto serra è da attribuire⁶⁷ per il 90-95% a questo vapore acqueo, per il 4,2-8,4% alla CO₂. I rimanenti gas (metano, protossido di azoto, ozono, clorofluorocarburi) sono presenti solo in tracce nell'atmosfera e sono responsabili complessivamente solo dell'1,3%, inoltre soltanto in parte sono prodotti in ambito agricolo. Quindi, dati i nostri scopi, ci occuperemo esclusivamente della CO₂. Comunque accenneremo che si tratta di gas dotati di una elevatissima capacità di incrementare la potenza relativa al riscaldamento, assorbita dal sistema terra-atmosfera. Mentre la potenza assorbita in più (detta dagli specialisti *forcing* radiativo) della CO₂ è di 0,015 W/m², quella del metano è 43 volte maggiore, quella del diclorodifluorometano (CF12) lo è quasi 20.000 volte⁶⁸. Il prof. Zichichi⁶⁹, ordinario di fisica all'Università di Bologna, riporta dati confrontabili con quelli qui sopra citati, ottenuti dai risultati di modelli matematici, simulanti l'effetto serra prodotto dai singoli gas atmosferici predetti.

Secondo Benedetti e Pompili⁷⁰, in base alle ricerche più recenti, la quantità di carbonio complessiva prodotta (dalla respirazione dei viventi, dall'uso di combustibili fossili, ecc.) è di 232,7 Gt/anno

⁶⁷ D. HERRING, *Does the Earth have an Iris Analog?*, in Earth Observatory NASA, June 12, 2002; T.J. NELSON, *Science notes*, 17 marzo 2003 e 8 aprile 2005. G. BONAN, *Ecological climatology*, Cambridge, 2003, pp. 193 ss. Ringrazio il prof. L. Mariani, docente di meteorologia agraria, presso la Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Milano, per la documentazione offertami.

⁶⁸ G. VISCONTI, *La febbre del Pianeta*, cit., p. 87.

⁶⁹ A. ZICHICHI, *Scienza ed emergenze planetarie*, Milano, 2000, pp. 119 ss.

⁷⁰ A. BENEDETTI, L. POMPILI, *Ruolo del ciclo del carbonio nei cambiamenti climatici*, in stampa. Gli Autori operano nell'ISNP (Istituto Sperimentale per la nutrizione delle piante), che fa parte del CRA (Centro Ricerche in Agricoltura); G. BONAN, *Ecological climatology*, cit., pp. 193 ss.

(Gt = gigatonnellate = 10^9 t), mentre il C asportato dall'atmosfera è di 231 Gt/anno di cui 120 Gt/anno utilizzati dalla fotosintesi e 107 assorbiti dall'Oceano. Non troppo lontani sono i dati offerti dal rapporto dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2001, secondo il quale entrano nell'atmosfera annualmente 180 Gt di carbonio e ne escono 177 Gt, di cui il 56% utilizzato dalla fotosintesi, il resto assorbito dagli oceani.

Il probabile incremento dell'effetto serra: le presumibili conseguenze

Da quanto qui sopra riferito, appare che vi è un saldo per così dire attivo, cioè d'incremento di C nell'atmosfera, che, dai due bilanci riportati da Benedetti e Pompili, risulta rispettivamente di 1,7 Gt/anno e di 3 Gt/anno. Incremento di C che significa incremento di CO_2 (1 g di C = 3,66 g di CO_2). È quindi, tenendo in considerazione anche le minime ma efficaci presenze degli altri gas serra, che Visconti scrive, nella voce enciclopedica succitata:

Negli ultimi decenni... è stato notato che l'aumento della presenza di aeriformi... potrebbe causare, e con tutta probabilità sta già causando, una crescita anomala della temperatura e un riscaldamento globale (*global warming*) sulla superficie del pianeta⁷¹.

Giustamente Visconti usa il condizionale, memore che solo gli pseudoscientziati possono adottare il falso principio: *post hoc, ergo propter hoc*. Solamente una successione ripetuta per lungo tempo e soprattutto l'individuazione di ciò che può connettere i due ordini di eventi che si succedono, possono giustificare un rapporto di causa/effetto tra il prima e il dopo. Visconti quindi, analizzando il clima degli ultimi vent'anni, propone questo elenco di possibili conseguenze del prospettato incremento dell'effetto serra:

- frequenti annate caratterizzate da temperature più elevate della media;

⁷¹ Cfr. la voce "Effetto serra" comparsa nel 2003 nel vol. VI dell'Enciclopedia UTET, diffusa dal quotidiano «La Repubblica».

- innalzamento attorno ai 17 mm, negli ultimi cent'anni, del livello medio dei mari;
- ritiro abbastanza consistente dei ghiacciai e riduzione, nelle regioni artiche, delle aree caratterizzate da un suolo (il *permafrost*) che, sotto il primo sottile strato di terreno, rimane perennemente gelato. Il ritiro dei ghiacciai potrebbe, almeno in parte, spiegare l'innalzamento del livello marino. Innalzamento che potrebbe essere spiegato anche dalla dilatazione delle acque oceaniche, a causa dell'innalzamento della loro temperatura;
- aumento delle precipitazioni a nord del 45° parallelo e tendenza all'inaridimento a sud di esso, fino alla comparsa di fenomeni locali di desertificazione;
- aumento dell'umidità dell'aria, conseguente all'incremento di evaporazione e parallelo all'intensificazione del ciclo dell'acqua, con più frequente comparsa di fenomeni meteorologici violenti: temporali, uragani, nonché scarti climatici più incisivi.

Ma, per i motivi di rigore scientifico sopra accennati, Visconti premette a questi dati che sarebbe

possibile avanzare ipotesi di mutamento globale del clima solo considerando il mutamento medio dei parametri che caratterizzano il clima di una regione o dell'intero pianeta, su archi temporali di decine d'anni, e che, pur in presenza di tendenze estese su molti anni, non è facile trarre conclusioni definitive.

Ora è chiaro che per Visconti queste condizioni necessarie per emettere un verdetto decisivo non sono ancora realizzate. L'unico fatto certo è l'incremento di CO_2 nell'atmosfera che, ai tassi attuali d'emissione, determinerà nell'atmosfera una concentrazione doppia di quella precedente la rivoluzione industriale (iniziata a metà '700) solo verso il 2030. Ciò considerando anche l'apporto degli altri gas serra convertiti nel loro equivalente in CO_2 . Con il raddoppio della CO_2 calcolata nel modo suddetto si presume che si avrà un incremento attorno ai 10 W/m^2 nell'assorbimento della radiazione infrarossa, di cui solo una parte (4 W/m^2) attribuibile direttamente alla CO_2 . Ciò in quanto il resto (6 W/m^2) è da attribuirsi alla retroazione (*feedback*) dovuta all'aumento dell'evaporazione, conseguente all'incremento della temperatura globale (probabil-

mente tra i 2°C e i 5°C). Infatti, come si è sottolineato in precedenza, il vapore acqueo è il gas serra di gran lunga più efficace. In altri termini, si tratta di un processo autocatalitico: l'incremento di CO₂ provoca un aumento della temperatura, questo accresce la produzione di vapore che, a sua volta, incrementa la temperatura.

Gran parte di questi dati e considerazioni, compreso il riferimento al necessario e prudente rigore scientifico, si ritrovano, con qualche maggiore dettaglio, nelle pubblicazioni di Luigi Mariani, docente di meteorologia agraria all'Università degli Studi di Milano⁷². Osserva il Mariani, che si avvale anche delle preziose documentazioni dell'ERSAL⁷³: «I più grandi successi nella storia delle scienze, da Galilei in avanti, sono associati al rifiuto del conformismo»⁷⁴. Di questo, diffuso purtroppo anche in ambiti scientifici, scrive alcune pagine ricche di acute osservazioni appunto il Visconti.

Se a qualcuno capitasse di leggere il rapporto dei lavori dell'IPCC (cioè della già citata commissione intergovernativa sul cambiamento climatico, costituita in gran parte da scienziati: meteorologi, fisici dell'atmosfera, ecc.) non ci troverebbe tracce di dissenso (...). Oggi in tutte le scienze è ben difficile trovare delle teorie in competizione tra loro (...). È vero che la scienza non è fatta dal consenso, ma è basata sul sistema dei *peer reviewers* o *referees*, per cui, quando si mandano i risultati del proprio lavoro di ricerca sotto forma di un articolo scientifico a una rivista professionale, questa manda l'articolo a degli anonimi arbitri (...) i quali danno un loro giudizio sulla qualità del lavoro e un parere sull'opportunità di pubblicarlo o meno. È ovvio (...) che se io scrivo un lavoro i cui risultati sono in aperto contrasto con le teorie di uno dei "censori", quasi sicuramente la redazione della Rivista non me lo pubblicherà (...). Con questo sistema si può solo costruire consenso (...). Si creano delle incredibili *lobbies*, soprattutto quando si tratta di teorie emergenti (...) dove gli specialisti del nuovo settore sono così pochi che può accadere che si trovino a dover giudicare se stessi. In questo modo il nuovo settore può avere una crescita parossistica, che normalmente però è pressoché inutile ai fini del progresso scientifico. Il problema dell'effetto serra presenta quasi tutti questi lati negativi⁷⁵.

⁷² L. MARIANI, *Clima e agricoltura in Europa: spunti di riflessione storica*, «Atti della Società Agraria di Lombardia», 3 (2004), pp. 72 ss.

⁷³ *Atti del Convegno: Due secoli di osservazioni meteorologiche a Mantova*, Milano, 1998.

⁷⁴ L. MARIANI, *Clima e agricoltura in Europa: spunti di riflessione storica*, cit., p. 75.

⁷⁵ G. VISCONTI, *La febbre del Pianeta*, cit., pp. 133-134.

Si tratta di considerazioni e osservazioni così ben azzeccate che sembrano stese da un etologo-sociologo, studioso del comportamento degli scienziati. Ma risalgono al 1989. Ora la *lobby* dell'effetto serra, cui si riferisce il Visconti, si è rafforzata enormemente e ampliata, quindi quelli che si trovano adesso in difficoltà sono gli studiosi che anche solo in piccola parte dissentono.

Il dissenso può sorgere non solo riguardo alle sue cause e all'entità delle sue conseguenze, ma soprattutto riguardo all'interpretazione di esse.

Dopo le ricerche pioniere sulla CO_2 che abbiamo illustrato trattando della fotosintesi, studi specifici sulla sua concentrazione nell'atmosfera sono stati effettuati da Alexander von Humboldt e Joseph-Louis Gay Lussac negli ultimi anni del '700. Quest'ultimo, con un pallone aerostatico che fece salire fino a 8000 m di quota, rilevò come la concentrazione di tale gas non variesse con l'altezza. Contemporaneamente iniziarono e si svilupparono gli studi sulle radiazioni solari e Wilhelm Herschel, sempre a fine Settecento, scoprì l'esistenza dei raggi infrarossi. Qualche decennio dopo, Fourier scoprì l'effetto serra⁷⁶ e, a metà Ottocento, John Tyndall rilevò come il vapore acqueo e la CO_2 assorbissero le radiazioni infrarosse. Poco prima (1830) Macedonio Melloni e Leopoldo Nobili avevano ideato un apparecchio per misurarle. Tyndall è entusiasta della funzione del vapor acqueo, che definisce «diga locale», «coperta», efficace ottanta volte più dell'aria pura per assorbire le radiazioni termiche: «Il vapor acqueo è una coperta più necessaria alla vita vegetale in Inghilterra di quanto non siano i vestiti per l'uomo»⁷⁷.

Ancora nel 1906 Svante Arrhenius inneggiava a quello che ora indichiamo con terrore come *effetto serra*:

Spesso ascoltiamo critiche sul fatto che il carbone sepolto nella Terra è dilapidato dall'attuale generazione, senza alcun pensiero per il futuro. Possiamo consolarci pensando al fatto che anche in questo caso, come sem-

⁷⁶ Per queste notizie storiche si veda *Il clima*, Roma-Bari, 2002, scritto in collaborazione da A. Navarra dell'Istituto Nazionale di Geofisica e dal giornalista specialista nel settore A. Pinchera. Si cfr. anche G. VISCONTI, *La febbre del Pianeta*, cit.

⁷⁷ In A. NAVARRA, A. PINCHERA, *Il clima*, cit.

pre, il buono è mescolato al cattivo. Attraverso l'influenza della crescente quantità di acido carbonico (allora così veniva chiamata l'anidride carbonica) che si trova nell'atmosfera potremo sperare in epoche con clima migliore e meglio distribuito, specialmente per quanto riguarda le regioni più fredde della Terra, epoche nelle quali la Terra produrrà raccolti più abbondanti di quelli attuali⁷⁸.

Quindi, mentre Tyndall, pur non ignorando il contributo di altri gas, aveva focalizzato il vapor acqueo, Arrhenius sottolinea, ai fini dell'effetto serra, anche l'importanza della CO₂. Secondo i suoi calcoli, un raddoppio della concentrazione di essa nell'atmosfera avrebbe determinato un incremento della temperatura sulla terra di 4-6°C. Visconti, riportando nel 1992 il brano succitato dell'Arrhenius, critica lo scarso buon senso che egli dimostra esaltando l'effetto serra, ma nel suo scritto più recente (la voce "effetto serra" nell'Enciclopedia UTET-«La Repubblica» del 2003) riconosce che questo fenomeno «potrebbe facilitare l'agricoltura alle alte latitudini». Già Callender, pur esso citato da Visconti⁷⁹, aveva sviluppato questa considerazione. Un recente servizio giornalistico di Danilo Taino sul «Corriere della Sera» del 13 ottobre 2005 conferma, a nostro parere un po' in chiave fantascientifica, la visione ottimistica dell'Arrhenius. Anzi, la amplifica, in quanto l'addolcimento del clima non solo apre grandi spazi all'agricoltura nelle terre del Nord, dal Canada alla Siberia, ma permette lo sfruttamento degli immani giacimenti di petrolio, gas, carbone ivi esistenti. Solo la Norvegia sta ora investendo al riguardo circa 9 miliardi di dollari. Gli esperti rilevano in quelle aree anche un ingente allargamento a nord dell'attività di pesca e intravedono l'apertura di più rapide rotte marittime tra Europa, America, Asia settentrionali, con l'avvio della nascita di nuovi porti e città. L'articolista riporta quindi queste conclusioni di chi opera in tali terre: «Cos'è un po' di effetto serra rispetto a tutto questo ben di Dio!» (sic!).

⁷⁸ Riportato in G. VISCONTI, *La febbre del Pianeta*, cit., p. 26. Navarra e Pinchera citano la memoria di Arrhenius dell'11 dicembre 1895 all'Accademia Reale della Svezia su questo argomento.

⁷⁹ G. VISCONTI, *La febbre del Pianeta*, cit., p. 28.

Accrescimento dell'effetto serra. Svantaggi e vantaggi per gli agricoltori

Limitandoci agli aspetti agricoli (quelli che interessano in questo studio) occorre fare un bilancio oggettivo tra vantaggi e svantaggi prodotti dall'effetto serra: tra gli svantaggi (che noi consideriamo, anche se Visconti li ritiene conseguenze specifiche solo probabili o addirittura soltanto possibili):

1. la frequente uraganizzazione delle piogge e i conseguenti danni alle colture;
2. l'aridificazione di molte regioni ubicate alla basse latitudini, forse non sufficientemente bilanciate dal miglioramento ambientale di quelle alle latitudini più elevate.

Tra i vantaggi oggettivamente certi, se effettivamente si verificasse un incremento di CO_2 nell'atmosfera:

1. è unanime l'accordo tra i fitofisiologi (come abbiamo ampiamente documentato) che l'aumento della CO_2 costituisce il fertilizzante più efficace per la più parte delle piante verdi. Anzi per queste sarebbe auspicabile un incremento molto maggiore;
2. l'aumento della temperatura è ugualmente favorevole per le piante C_4 e per le C_3 coltivate (tenendo conto che per queste ultime basta un incremento più moderato). Poiché la fotosintesi comprende reazioni enzimatiche, queste seguono la regola di van't Hoff, per la quale la velocità di reazione raddoppia a ogni aumento di temperatura di 10°C . In particolare l'optimum di temperatura per una maggiore fotosintesi netta è sempre anche di molto superiore, per certe specie, ai 30°C nelle C_4 , nelle C_3 arriva ai 30°C , a esclusione delle piante d'alta montagna e delle sciafile (= piante amanti l'ombra). Sopra l'optimum la crescita della fotosintesi netta è bilanciata dalla maggiore intensità della respirazione. Un'influenza rilevante hanno le condizioni di iniziale sviluppo della foglia. Se questo è avvenuto a temperature alte, l'optimum fotosintetico si verificherà in tal senso⁸⁰.

È necessario precisare che occorre sempre tener presente la legge del minimo e cioè che nello sviluppo delle piante l'utilizzo di un fat-

⁸⁰ L. TAIZ, E. ZEIGER, *Fisiologia vegetale*, cit., pp. 293-294. Cfr., per i rimanenti dati, il trattato *Strasburger*, cit., p. 265.

tore è sempre condizionato dalla presenza in misura adeguata degli altri fattori. Così ad esempio laddove si verifichi una scarsità di acqua è inutile un incremento della CO_2 al disopra del livello pre-industriale.

Stando così le cose, considerando oggettivamente vantaggi e svantaggi apportati dall'aumento dell'effetto serra, la bilancia pende in senso positivo solo tenendo conto esclusivamente degli aspetti agricoli. Pende invece in negativo considerando gli interessi umani nel loro complesso. Visconti, quando accusa Arrhenius di non tener conto a sufficienza delle conseguenze economico-sociali, ha certamente presente il fatto che se le desertificazioni alle basse latitudini si avverano, ciò significa immani carestie e morte per le popolazioni di tali aree, già economicamente depresse. Ha presente che l'innalzamento del livello degli oceani significa la distruzione di città come Venezia, ubicate in riva al mare.

Ciò malgrado occorre tener conto in modo adeguato dell'*effetto gregge*. Questo è il principale e, sotto questo profilo, utile agente d'aggregazione nelle società umane. Esso si basa sull'imitazione, la suggestione del modo di pensare della maggioranza e l'*humus culturale* che ne deriva, come sul terrore di scenari catastrofici, apocalittici, necessari (sottolineo necessari) ai mass media per suscitare l'interesse del pubblico e perciò da questi amplificati o anche creati. Parallelamente a questi processi si accresce da un lato l'interesse dei politici per il loro oggetto e alla fine essi se ne impossessano per utilizzarlo come *instrumentum regni*, dall'altro aumenta anche quello del mercato delle forze economiche, che intravedono l'opportunità di grossi affari. Si forma così alla fine un baluardo compatto e travolgente cui è impossibile contrapporsi, anche se in esso, accanto al certo, al giusto, all'oggettivo si aggrega il fantastico, nonché interessi politico-economici non sempre limpidi.

Interessante l'esame di alcuni sintomi indice dell'effetto gregge, nell'ambito di cui ci occupiamo. Innanzitutto, nelle miriadi di articoli e opuscoli divulgativi che si occupano dell'effetto serra, i fatti vengono selezionati e interpretati solo in funzione anti CO_2 . Risulta in tal modo che dell'incremento dell'effetto serra essa venga citata quasi sempre come unica causa, dimenticando il suo ruolo molto ridotto in confronto al vapor acqueo, solitamente taciuto o minimizzato. Colpevoli al riguardo sono anche i chimici e i fisici del-

l'atmosfera che, forse per comodità di calcolo, nel misurare l'entità dell'effetto serra, conteggiano tutti i gas serra, utilizzando il loro equivalente in CO_2 ⁸¹. Ciò ha un effetto psicologico-sociale devastante perché in tal modo il 99% della gente dimentica che dal complesso $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ provengono tutto il nostro cibo, tutto l'ossigeno necessario per respirare. La CO_2 appare solo colpevole della desertificazione, degli uragani, del pericolo di sommersione di città come Venezia, delle estati torride e così via. Incredibile poi lo stravolgimento dei rimedi, probabilmente preselezionati, forse talora per favorire gli interessi politico-economici prevalenti. È chiaro che la stessa ricerca scientifica trova più agevoli finanziamenti e appoggi se volta a evidenziare possibili catastrofi. Tutto ciò spiega come mai la via maestra per ridurre l'effetto serra, l'agricoltura, non viene menzionata, o, se lo è, lo è solo marginalmente.

Quel che poi è più grave, nel calcolo della CO_2 prodotta nelle campagne, non solo non è focalizzato il bilancio positivo per l'assorbimento di CO_2 effettuato dalla fotosintesi campestre, ma viene sottolineato l'incremento della CO_2 prodotta dalla messa a coltura di appezzamenti prima a bosco. È chiaro infatti che, con il dissodamento, lo spesso strato di sostanza organica boschiva si ossida rapidamente formando CO_2 . Questa tuttavia non è oggettivo addossarla all'agricoltura tradizionalmente intesa, essendo tale sostanza prodotta dal bosco che ha preceduto la trasformazione.

Sempre dagli aspetti negativi dell'effetto gregge derivano i vari abbagli di cui sono vittime le varie categorie: ambientalisti, agricoltori, socio-antropologi, economisti, che si occupano del problema CO_2 .

Analogo al misconoscimento del vero, utilissimo ruolo della CO_2 è da porre anche quello dell'effetto serra stesso. Ma non dobbiamo tralasciare un cenno ad altri sintomi abbastanza curiosi, ma significativi.

Potremmo sintetizzare così un interrogativo che ho sentito porre sommessamente anche da meteorologi, climatologi e altri specia-

⁸¹ G. VISCONTI, *Fondamenti di fisica e chimica dell'atmosfera*, cit. Anche in un volume come quello curato da R. SWINGLAND, *CO₂ e biodiversità*, Milano, 2004, in cui a suo dire «si esprimono i leaders» mondiali delle diverse discipline «interessate a questo problema», a p. 31 la CO_2 viene definita come «il più importante gas serra», sic!

listi del settore: «La guida fondamentale del variabile sistema climatico è il sole. Il clima, nei milioni di anni di esistenza del nostro pianeta, è mutato più volte anche radicalmente. Spesso ciò è da connettersi con il variare dell'attività solare. Attualmente, ricerche sulle relazioni tra questa e l'incremento dell'effetto serra certamente sono state condotte, ma in misura probabilmente troppo limitata. Anche ciò non potrebbe essere spiegato dal fatto che lo scoprire eventuali influenze solari non concorderebbe con quella strategia catastrofista, favorevole agli interessi di certi poteri politico-finanziari?». Sono tutte ipotesi concepibili, ma sulle quali non possiamo indugiare.

Abbiamo visto come Visconti descriva magistralmente il costituirsi dell'impostazione unilaterale nella valutazione delle conseguenze dell'effetto serra in ambito scientifico. Ma è altrettanto significativo come, pur al di fuori della cerchia dei meteorologi e dei fisici dell'atmosfera, influisca il clima da deterrente psicologico che pervade anche gli altri settori del sapere. Così ad esempio nel trattato di botanica più diffuso in tutto il mondo (34 edizioni in Germania e molto numerose altre in inglese, polacco, spagnolo, turco, italiano, ecc.), lo Strasburger (citato in nota 47) a p. 263 (ix ediz. italiana, 2004) l'Autore, dopo aver necessariamente precisato che la concentrazione naturale di CO_2 non è ottimale, ma solo subottimale (prima della psicosi dell'effetto serra i botanici scrivevano "minimale") aggiunge che la ridotta «quantità attuale della CO_2 nell'atmosfera dovrebbe limitare la fotosintesi in piena luce solare nelle piante C_3 ». Cioè viene usato prudenzialmente il condizionale quando nella pratica i floricoltori usano da più di un secolo intensificare la fotosintesi nelle serre con l'aggiunta di CO_2 , giungendo persino a triplicare la produzione: fatto che l'Autore stesso riferisce qualche riga dopo!

Infine un cenno alla prospettiva storica dell'uraganizzazione del clima negli USA, causata dall'incremento dell'effetto serra. Tempo fa, liberando il solaio da cianfrusaglie del secolo scorso, mi capitò tre le mani un cesto avvolto in un giornale di quasi 80 anni fa (che purtroppo non ho conservato) in cui, a seguito di un violentissimo uragano allora avvenuto in USA, l'articolista spiegava che in America, terra "giovane", il clima non era ancora stabile, da ciò i violenti uragani ricorrenti... Leggendo oggi i nostri giornali, gli uragani in quel Paese sarebbero un fenomeno recente.

Quest'ultima osservazione ci rivela come nascono le idee false e come rapidamente si diffondano, talvolta anche per il preconetto o più semplicemente il particolare modo di vedere di qualcuno che può scrivere sui giornali, parlare alla televisione. Ciò in tutti i campi: poco tempo fa avevo letto su AM.09, una rivista specializzata in museologia etnoantropologica, un articolo di M.S. Piccardi dallo strano titolo: *Il museo relitto*. Incuriosito, anche perché il museo descritto mi era noto come uno dei principali musei etnografici del mondo, la prima volta che ebbi l'occasione di andare a Firenze mi precipitai a visitarlo. Straordinario e di eccezionale interesse, come sempre, il suo contenuto. Il che è attestato, come riconosce l'articolista, dagli elogi espressi specie dai visitatori stranieri sui registri-firma. Penso quindi che Piccardi abbia dimenticato l'antico detto «L'abito non fa il monaco». Certo l'allestimento ha la sua importanza⁸², ma, da notizie offertemi dal personale, la Direzione da tempo ha progettato un riordino. È comunque certo che un titolo dell'articolo di tal fatta suggerisce un'immagine sostanzialmente distorta di quell'importantissimo Museo. Non è eccessiva questa nostra focalizzazione delle conseguenze dell'effetto gregge, perché, come vedremo, esso è all'origine di pericolose distorsioni nell'interpretazione e nella scelta dei rimedi riguardo alle oggettivamente dannose conseguenze dell'effetto serra.

I re della fotosintesi scippati dello scettro

Da tutto ciò che abbiamo sopra esposto, pur sottraendo l'alone catastrofista, risulta evidente quanto segue:

1. Anche nel caso della CO₂, malgrado la sua fondamentale e necessaria funzione di materia prima di partenza per la produzione di tutti gli alimenti e, attraverso l'acqua, di tutto l'ossigeno necessario ai viventi, "il troppo stropia", quindi occorre sia incrementarne il consumo, sia ridurne la produzione.

⁸² Per una museologia che rispetti il giusto equilibrio tra allestimento e contenuto, si veda G. FORNI, *Il museologo: preparazione, formazione, selezione, assunzione*, «AMIA», 19/20, pp. 3-15, «Rivista di Storia dell'Agricoltura», 2 (2003).

2. Alle origini, come documenta Berner⁸³, l'atmosfera originaria terrestre era enormemente più ricca di CO₂ rispetto all'attuale. Probabilmente ne costituiva il componente, o uno dei componenti principali. È stato il mondo vegetale con la fotosintesi a impoverirla sino al livello pre-industriale. Quindi quella è la strada maestra da seguire per ridurre la CO₂ ora presente che, come si è detto, sotto vari aspetti risulta eccessiva.
3. Come abbiamo evidenziato in queste pagine, e come, in ultima istanza, risulta implicito nella definizione di agricoltura che dà il Maestro e decano degli agronomi italiani, il prof. Luigi Cavazza⁸⁴, essa è da considerarsi oggi, nell'epoca geologica caratterizzata dalla presenza predominante dell'uomo, nell'Antropocene, sostanzialmente come governo dell'ambiente. Ciò per necessità concreta e concettuale. Nei diecimila anni della sua storia essa ha progressivamente modellato l'ambiente, creato il paesaggio. In un'epoca sotto molti aspetti drammatica, anche se non catastrofica, come l'attuale, è necessario che l'intervento dell'uomo sull'ambiente sia condotto in maniera concettualmente organica, unitaria da chi con l'ambiente ha relazioni di profonda, oltre che millenaria interdipendenza. Non certo da coloro che l'ambiente lo distruggono per sfruttarlo, o lo proteggono in maniera astratta e retorica, come un certo ecologismo. Ma governo dell'ambiente equivale innanzitutto a governo del suo cardine: la fotosintesi. Ciò appare in forma immediata anche nell'agricoltura tradizionale, in quanto qualsiasi operazione coltivatoria: non solo lavorazione del suolo, concimazione, irrigazione che direttamente sviluppano l'apparato fogliare, ma anche semina e raccolta, sono da porsi in relazione con lo sviluppo, il controllo e l'utilizzo di tale processo. Non solo, ma perché proteggere è la forma più elementare del coltivare, come risulta in

⁸³ R.A. BERNER, *Paleoclimate: the rise of plants and their effect on weathering and atmospheric CO₂*, «Science», 276, pp. 544-546 (1997). Dello stesso avviso è Visconti in *Fondamenti di fisica e chimica dell'atmosfera*, cit.

⁸⁴ L. CAVAZZA, *Le scienze agrarie nel mondo culturale della società moderna*, in *Verso il 2000*, Atti del Convegno delle Accademie Europee di Agricoltura, Roma, 2001, pp. 25-35. La concezione del Cavazza si riflette nella definizione di Agronomia, dello stesso Cavazza, accolta da L. Giardini a pp. 1-2 del suo *Trattato di Agronomia*, cit. Per i primordi dell'agricoltura basati sulla protezione di piante spontanee utili, cfr. G. FORNI ET ALII, *Storia dell'Agricoltura Italiana*, 1, 1, Firenze, 2002.

particolare a chi non è digiuno di discipline quali l'antropologia, la paletnogia e l'etnologia agrarie, ecco che tutto il mondo vegetale terrestre e, in senso lato, anche quello degli oceani, essendo protetto, rientra in una concezione moderna, unitaria, globale, lungimirante dell'agricoltura.

4. Abbiamo rilevato come, secondo i dati più recenti, circa il 50% della CO_2 prodotta nel mondo è assorbita dalla fotosintesi terrestre, e *quasi* il 50% dagli oceani e anche in questo caso per merito in buona parte della fotosintesi algale. La differenza non assorbita è quella che incrementa lentamente, ma per ora inesorabilmente la concentrazione di CO_2 atmosferica. Ecco quindi che all'agricoltura intesa, come si è detto, come governo della fotosintesi, sia nella campagna come nei boschi e, perché no, nei parchi e nei mari protetti, spetta il merito e l'onere di assorbire la CO_2 e di attuare i rimedi atti a evitare quel surplus non assorbito che si accumula nell'atmosfera.

Nelle pagine precedenti abbiamo riportato diversi dati circa la rilevanza delle coltivazioni nell'utilizzo e quindi nell'assorbimento della CO_2 . È qui opportuno riportare un'ultima sintesi su quanto ammonta l'entità di questo assorbimento, al netto di quella che anche l'agricoltore – inteso in senso tradizionale – produce a seguito dell'impiego di macchine, concimi, ecc. Ci baseremo sui dati offerti da Borin⁸⁵. Questo Autore chiama «energia ausiliaria» quella impiegata dall'agricoltore per praticare l'agricoltura, quindi non solo l'energia necessaria per azionare le macchine, ma anche quella per realizzarle, come per produrre tutto ciò che viene impiegato nelle coltivazioni. In tal modo, Borin considera e calcola in megajoule (Mj) minuziosamente in dettaglio l'utilizzo e quindi, a seconda dei casi, la produzione o il consumo di macchine, carburante, lubrificante, i vari tipi di concimi, gli erbicidi, il lavoro umano, le sementi. Per le macchine il calcolo viene effettuato mediante il coefficiente 80,23 Mj per ogni kg di peso di esse. Esso viene moltiplicato per il numero delle ore/ha in cui vengono impiegate. Per il lavoro umano, calcola il numero delle ore/ha moltiplicato per il coefficiente 1,95. Più semplice il calcolo del consumo energetico realizzatosi per l'impiego di concimi (compreso il letame), erbicidi, se-

⁸⁵ M. BORIN, *Introduzione all'ecologia del sistema agricoltura*, cit., pp. 207 ss.

menti, tutto considerato per kg utilizzato. Da questi calcoli risulta ad esempio per il mais un consumo massimo (cioè con le tecniche proprie all'agricoltura intensiva) di 48,320 Mj/ha, che nell'agricoltura meno intensiva si riducono di 1/3, e si dimezzano in quella biologica, quella praticata in sostanza dal contadino tradizionale. Moltiplicando l'entità dell'energia consumata per la coltivazione, per il coefficiente 0,06, si ha l'equivalente in CO₂ prodotta, vale a dire kg 1802, che si riducono a kg 900/ha per l'agricoltura biologica (o tradizionale che dir si voglia). Abbiamo visto che per Ciferri un ha coltivato a mais consuma – e quindi toglie dall'atmosfera – kg 66.700 in media, cioè al netto 65.000 kg/ha di CO₂ nell'agricoltura intensiva. Attualmente, date le dimensioni molto maggiori delle piante di mais rispetto a quelle esaminate dal Ciferri, la quantità di CO₂ sottratta all'atmosfera è corrispondentemente di molto superiore. È ovvio poi che, per calcolare l'asporto netto di CO₂ dall'atmosfera di un ha coltivato a mais occorre necessariamente sottrarre la CO₂ prodotta dalla respirazione del terreno. Questa, secondo le misurazioni riportate da Tonzig nei paragrafi precedenti, è per lo più inferiore alla metà del consumo suddetto, in quanto oscilla tra i 17.500 e i 43.800 kg/ha, a seconda del tipo di terreno, nonché del suo contenuto in sostanza organica, e del clima. Ancor minore, secondo i calcoli più recenti (2003) di A. Freibauer del Max Planck Institute for Biochemistry di Jena è la quantità di CO₂ emessa dal suolo coltivato. Essa oscilla tra i 10.000 e i 20.000 kg/anno/ha nell'aratorio; tra i 5.000 e i 15.000 kg nei prati. Borin (ibidem) calcola anche il consumo di energia ausiliaria in colture più esigenti (frutticoltura). Qui, nella coltura intensiva, esso sale a 48,320 Mj/ha/anno, equivalenti a 2942 kg di CO₂/anno. Ma sale anche l'assorbimento di CO₂, perché alla CO₂ consumata da ogni singola pianta (kg 22,2, secondo Ciferri), occorre aggiungere quella consumata dalle erbe che solitamente si lasciano crescere sotto gli alberi⁸⁶.

⁸⁶ M. BORIN, *Introduzione all'ecologia del sistema agricoltura*, cit., tab. 7.2 e seguenti, dalle quali si ricava la seguente equivalenza: 1 kg di combustibile = 3,1 kg di CO₂ + 50,23 Mj. Da essa si può ottenere buona parte dei dati che ci interessano. Circa l'entità della CO₂ emessa dal suolo, cfr. S. TONZIG, *Elementi di botanica*, cit. in nota 32, pp. 722-723, e A. FREIBAUER, *Regionalised inventory of biogenic greenhouse gas emissions from European Agriculture*, «European Journal of Agronomy», 19 (2003), pp. 135-160.

5. Stando così le cose, perché sono da considerarsi *re scippati dello scettro* coloro che governano o dovrebbero governare la fotosintesi, vale a dire gli agricoltori? Ciò per diversi motivi, che ora schematizziamo ma che vedremo in dettaglio nel paragrafo successivo. Perché innanzitutto si lasciano spodestare da una pletora di usurpatori: abbiamo già accennato chi sono. In secondo luogo, perché non hanno intrapreso alcuna iniziativa concreta per impedire l'emergere del surplus di CO_2 nell'atmosfera. Infine perché non si sono mai sognati di richiedere neanche un compenso simbolico per l'immane servizio che rendono all'umanità e al mondo e, quel che è peggio, non se ne rendono conto.

Potrebbe risultare che questa illustrazione delle risultanze di una ricerca sulla storia della fotosintesi e dell'effetto serra sia una ridicola pretesa di un primato a vantaggio di agricoltori e agronomi. Non è così, ma è solo, come è facile capire, un'espressione di buon senso, di civico buon senso. Se l'ambiente corre un serio pericolo – lo abbiamo già sottolineato – a chi tocca l'onere di affrontarlo, se non a coloro che, per la natura della propria professione, lungo i millenni lo hanno governato?

La seconda rivoluzione copernicana: è la presa di coscienza che il governo della fotosintesi, quindi il controllo della CO_2 , è nelle mani dei coltivatori. Il necessario superamento degli abbagli di ambientalisti, climatologi, e agricoltori e agronomi

Precisiamo innanzitutto che la seconda rivoluzione copernicana consiste nella presa di coscienza che il contenimento della CO_2 – come insegna la storia geologica del nostro pianeta – può realizzarsi solo con un intelligente governo della fotosintesi. Esso permetterà a questa di ripetere il processo accaduto durante l'infanzia del nostro pianeta, ma questa volta in un lasso di tempo estremamente più breve, in quanto la concentrazione della CO_2 alle origini era decine di migliaia di volte superiore all'attuale. Essa, sotto il profilo cronologico, ha preso l'avvio quando al Museo Lombardo di Storia dell'Agricoltura, nell'indimenticabile seduta del giugno 2005, venne proposta una campagna di sensibilizzazione a due versanti: da un la-

to verso gli agricoltori, per renderli consapevoli del fatto che il loro operare consiste essenzialmente nel governare la fotosintesi. Dall'altro verso la gente comune, perché si renda conto della reale natura e di come può essere risolto nel modo migliore il problema della CO_2 in eccesso.

Dato che la sfida dell'effetto serra è impellente, è necessario concentrare tutte le forze intellettuali, tecniche, finanziarie in maniera corretta. Ecco quindi che occorre evitare gli abbagli, non prendere lucciole per lanterne.

In primo luogo, occorre privilegiare la razionalità, superare l'emotività romantica. La contrapposizione tra il caldo fascino del bosco e la fredda geometria dei campi, ancora predominante tra gli ambientalisti, non ha più senso. La selvicoltura rientra nell'ambito della coltivazione e quindi dell'agricoltura in senso moderno globale, o, come usa dire l'economista Dario Casati, della «panagricoltura». Ma l'agricoltore inquina, è l'obiezione. Piano! Al più si potrebbe asserire "inquinava". Ora sta prevalendo l'agricoltura "compatibile". Inoltre sarebbe utile ricordare che ad esempio il prototipo degli antiparassitari fosfororganici, il velenosissimo Parathion, dopo qualche settimana che era stato assorbito dalle foglie, si scomponeva nella linfa del vegetale, perdendo tutta la sua velenosità, e anzi diventava un prezioso nutriente fosfatico per la pianta. Infine bisognerebbe pure ricordare quanto scrive Albergoni nel passo già citato e ciò che conferma una rilevante recente (2003) ricerca sui boschi del Trentino⁸⁷ e cioè che il bilancio CO_2 assorbita- CO_2 prodotta per respirazione della pianta e soprattutto del suolo tende all'equilibrio nel bosco, mentre nel campo, come si è visto, prevale la CO_2 assorbita e quindi eliminata dall'atmosfera. Ma qual è il motivo di questa rilevante differenza tra i due grandi settori del regno della fotosintesi? Ed è sempre vero che le foreste non contribuiscono a ridurre la CO_2 atmosferica? Ce lo spiegano con chiarezza le scienze forestali: l'accumulo di foglie, cortecce,

⁸⁷ A. CESCATTI ET ALII, *Il ciclo del carbonio negli ecosistemi vegetali*, in *Il ruolo delle foreste nel bilancio del carbonio*, Report 28 del Centro di Ecologia Alpina, Trento, 2003, p. 24. Per il dibattito forestale qui sintetizzato, cfr. F. ALBERGONI, *La vita tra cose e natura*, cit.; A. PINCHERA, *Ci salveremo dal riscaldamento globale?*, cit., pp. 153-158; G. VISCONTI, *L'atmosfera*, cit., p. 291; ID., *La febbre del Pianeta*, cit., pp. 150-153; ID., *Fondamenti di fisica e chimica dell'atmosfera*, cit.

ecc. sotto le fronde di una foresta adulta può raggiungere spessori enormi. Il disfacimento continuo di tali prodotti organici è la fonte perenne delle immani quantità di CO_2 prodotte dai boschi, in particolare da quelli tropicali. È chiaro che ci sono eccezioni cui non è lecito riferirsi come norma: in alta montagna, in terreni scoscesi eminentemente rocciosi, lo strato di materia organica e quindi la CO_2 prodotta può ridursi notevolmente. È altrettanto ovvio che, nelle foreste giovani con fronde ridotte, la produzione di spoglie organiche e quindi di CO_2 per decomposizione è in corrispondenza minore. Non solo, ma la fase giovanile delle foreste è quella in cui le piante hanno sviluppo più rapido, per cui accrescono con maggior rapidità il proprio corpo ligneo, accumulando rilevanti quantità di carbonio. Ma Valentini, il maggior specialista italiano dell'argomento, consultato al riguardo dal Pinchera, diffida dal progettare una serie di disboscamenti seguiti da rimboschimenti, in quanto la produzione di CO_2 derivante dal disboscamento richiede almeno un decennio del neo-impianto per compensarla. Puntare quindi sulle foreste adulte, come fanno coloro che non tengono conto dell'ingente quantità di CO_2 prodotta dal loro suolo? Pinchera rincara quanto precisato dagli ecologi forestali già citati, menzionando il fatto che, nelle fasi siccitose, esse sono addirittura pericolose produttrici di CO_2 in quanto in loro il processo respiratorio prevale su quello fotosintetico. Ecco perché il Visconti, già qualche anno fa, concludeva il suo prezioso precitato volume sull'atmosfera (peraltro aggiornato recentemente nella sua nuova veste universitaria) scrivendo:

È falso che il contenuto di ossigeno dell'atmosfera dipenda in qualche modo dalla foresta amazzonica (... erroneamente chiamata il polmone della Terra), ma è grave invece che un patrimonio genetico e un *habitat* così vasto si perdano impunemente.

Altro abbaglio sta nel puntare tutto e solo su soluzioni temporanee di ripiego, vale a dire sull'accumulo⁸⁸ del carbonio nel suolo,

⁸⁸ La letteratura inglese usa termini come *sink*, *stock*, del carbonio, tradotte in italiano con *sequestro*, *accumulo*, *immobilizzo*, *tampone*, ecc., ad es. M. BORIN, *Introduzione all'ecologia del sistema agricoltura*, cit., p. 228. Circa le tecniche, cfr. SWINGLAND, *CO₂ e biodiversità*, cit., p. 78.

con pratiche quali il prato stabile, il sovescio, l'ammendamento effettuato interrando paglia, fascine. Oppure, per altra via, incrementando le colture arboree da falegnameria, ecc. Ciò è senz'altro utile, ma occorre sottolineare che si tratta di operazioni che procrastinano solo di qualche anno l'emissione di CO₂ dal suolo, non la eliminano!

Occorre quindi imboccare una strada diversa, più radicale, quella che abbiamo definito come maestra: il potenziamento e lo sviluppo della fotosintesi. Al riguardo l'abbaglio più grave sta nel premettere «Occorrono decenni e decenni di ricerca!». E quindi, data l'urgenza, non vale la pena di imboccare tale tipo di rimedio. Anche per la bomba atomica si preventivavano decenni e decenni di ricerca. Date le necessità belliche, l'operazione venne accelerata e abbreviata in qualche anno. Tutto sta nel numero dei ricercatori e nell'entità di investimenti. Purtroppo, per il primo punto, consultando i trattati di fisiologia vegetale, risulta che scarsissime sono le ricerche in corso. Per il secondo, occorre tener presente che i 18 milioni di miliardi di dollari preventivati dai protocolli di Kyoto (di cui una larga fetta, come si è indicato in nota 60, predisposta dal nostro governo), piuttosto che nel contenimento della produzione di CO₂, possono essere più utilmente impiegati nel suo utilizzo, vale a dire nella ottimizzazione della fotosintesi, secondo le prospettive illustrate dal Max Planck Institut e qui sopra citate in un apposito paragrafo.

Come fare per potenziare, velocizzare la ricerca? È chiaro che innanzitutto devono esserne profondamente ed entusiasticamente convinti i tecnici agricoli. Da una inchiesta condotta dallo scrivente⁸⁹ su oltre un centinaio di neo-iscritti alla Facoltà di Agraria nel 2003 e 2004, buona parte dei quali periti agrari (che quindi riflettono il pensiero dei loro docenti di agronomia), risulta che essi sono certo al corrente dell'esistenza della fotosintesi, ma sono anni luce lontani dall'essere consapevoli, ad es., che concimando, irrigando e in genere coltivando, l'operatore agricolo agisce sull'apparato fogliare, lo sviluppa e quindi potenzia la fotosintesi. Cioè non solo

⁸⁹ G. FORNI, *Significato e storia dell'agricoltura nella weltanschauung dei giovani alle soglie dell'Università. Una desolante situazione* (cfr., in questo stesso numero della Rivista, p. 183).

produce più grano, mele, uva, barbabietole, ma *consuma più CO₂, produce più ossigeno*. Altrettanto fanno i selvicoltori quando, difendendo il bosco dai suoi parassiti (la Processionaria ad esempio), in realtà permettono alle fronde di svolgere appieno la loro funzione fotosintetica. Una drammatica conferma si è ottenuta quest'anno (2005) ripetendo l'inchiesta sui nuovi iscritti (una cinquantina). Alla domanda «Esistono relazioni tra agricoltura e incremento dell'effetto serra? Se sì, quali?», nessuno, sottolineo nessuno dei diplomati delle scuole agrarie (un buon terzo) ha connesso l'attività coltivatoria con la fotosintesi e quindi con l'assorbimento di ricavare da tale connessione i possibili effetti benefici dell'agricoltura riguardo al controllo dell'accrescimento dell'effetto serra. Solo un neo-iscritto proveniente dal Liceo Scientifico ha fatto riferimento alla fotosintesi. Non molti altri, sotto l'influenza del *climax* culturale trasmesso dai media, hanno fatto riferimento all'effetto inquinante degli antiparassitari, dei concimi chimici che, producendo una sia pur minima quantità di gas serra diversi dalla CO₂, quali ad es, il protossido di azoto, contribuiscono in piccola misura all'effetto serra.

Di conseguenza quasi tutti questi giovani sono, come si è detto, anni luce lontani dall'esser consapevoli che il coltivatore, con la sua opera, non solo produce cibo, biomasse combustibili, fibre tessili, ecc. per tutta l'umanità, ma altresì tutto l'ossigeno necessario ai viventi per respirare e infine controlla o ha la possibilità di controllare l'eccesso di effetto serra.

Conclusioni

Riferendoci ora infine alla totalità dei coltivatori, degli operatori in agricoltura, essi, per dire pane al pane, vino al vino, appaiono *de facto* piuttosto incoscienti, non solo in quanto non esigono alcunché per quelle che sono, sotto il presente profilo, le loro più essenziali prestazioni (l'utilizzo appunto della CO₂, il controllo dell'effetto serra e la produzione di ossigeno), ma perché nemmeno si stupiscono del fatto che nessuno si accorga di quella che giustamente dovremmo definire la loro generosità e nessuno, proprio nessuno li ringrazi. Abbiamo parlato di generosità, ma è chiaro che l'agricoltore avvertito, se fosse reso consapevole del suo servizio,

esigerebbe un compenso. Altro che pagare lui le tasse! Dovrebbe, al contrario, esser pagato e una branca delle scienze della finanza e dell'economia agraria dovrebbe sviluppare questo argomento. Se i tecnici agricoli, e di conseguenza gli agricoltori, fossero consapevoli di questo fatto, ne deriverebbe che gli Enti Pubblici, dallo Stato alle Regioni, alle Province e ai Comuni, si accorgerebbero dell'estrema rilevanza, sotto diversi profili essenziali, degli agricoltori, anche se ora costituiscono una parte ridottissima della popolazione. E ciò non sarebbe che l'avvio, perché l'obiettivo finale del mondo agricolo è quello di utilizzare i 18 milioni di miliardi di dollari preventivati dal protocollo di Kyoto per ottimizzare la fotosintesi a mezzo della bioingegneria e della genetica. Un barlume di una prospettiva in questo senso sembrano adombrarla gli agronomi più illuminati⁹⁰.

Per poter ora concludere, occorrerebbe rispondere alla domanda: storicamente parlando, perché chi realmente governa la fotosintesi è stato coatto a un comportamento da re privato dello scettro? È materia che richiederebbe un intero articolo. Qui ci limitiamo a un cenno di risposta: perché in tutto il mondo le categorie che, riguardo alla fotosintesi, hanno una funzione solo indiretta o meramente teorica dei fatti, non riconoscono ai coltivatori, cioè a coloro che operano per mezzo della fotosintesi, la funzione di contenimento dell'anidride carbonica e quindi il controllo dell'effetto serra. I coltivatori e gli agronomi hanno accettato questo fatto supinamente!

Riassunto

In un'epoca come la nostra caratterizzata da un grande timore per il pericoloso possibile accrescimento dell'effetto serra e le sue disastrose conseguenze, muta radicalmente la concezione tradizionale del significato e del valore dell'agricoltura. Ciò nell'ambito degli operatori agricoli come in quello di coloro che non si dedicano all'agricoltura.

⁹⁰ Cfr. G. FORNI, *Significato, funzione e storia dell'agricoltura in tre emblematiche recenti enciclopedie: Piccola Treccani, Rizzoli-Larousse (Corriere della Sera), UTET (la Repubblica)*, «Rivista di Storia dell'Agricoltura», 2 (2004).

Il Protocollo di Kyoto ha elaborato un programma di contenimento della CO₂, ritenuta causa principale dell'effetto serra, dall'astronomico costo di 18 milioni di miliardi di dollari, secondo le valutazioni dell'autorevole IPCC. Il nostro Paese si è già impegnato per quasi 30 miliardi di euro.

Ma qual è, più in dettaglio, il ruolo dell'agricoltura in rapporto all'effetto serra e all'insieme di questi problemi? Generalmente si tace al riguardo e, se si fa qualche cenno all'agricoltura, non sempre lo si fa in modo lusinghiero per essa, anzi spesso avviene il contrario. Il fatto paradossale è che, sebbene l'unico agente che, sul nostro pianeta, consuma e quindi riduce effettivamente la CO₂ dell'aria è la fotosintesi operata dal mondo vegetale e, sebbene l'agricoltura nel significato più lato di fitocoltura estendentesi quindi all'orticoltura come alla silvicoltura e alla parchicoltura, ecc., dalle forme più blande quali la semplice protezione alle più intensive, per cui il coltivatore con ogni suo atto, dal concimare all'irrigare alla lotta antiparassitaria, sviluppando la vegetazione, di fatto la governi, tutti, a cominciare dagli operatori agricoli, non ne sono consapevoli. Ne deriva una situazione incredibile, gravida di errori di cui non solo gli agricoltori, ma l'intera umanità soffrono le deleterie conseguenze.

In questa breve monografia, la prima parte è dedicata alla prima "Rivoluzione Copernicana", cioè alla storia della scoperta della fotosintesi (fino a non molto tempo fa non se ne conosceva l'esistenza e si pensava che le piante traessero il loro nutrimento, compresi i composti del carbonio costituenti gran parte del loro corpo esclusivamente dal terreno) avvenuta gradualmente a partire dal '600 con Malpighi, dal '700 con Priestley, fino all'800 con De Saussure, Boussingault, Liebig; la parte successiva è dedicata alla seconda "Rivoluzione Copernicana", cioè la presa di coscienza del fatto che l'agricoltura governa la fotosintesi e quindi appunto ai rapporti tra agricoltura ed effetto serra, alla rivalutazione dell'agricoltura intesa in senso lato (in tutte le sue branche) come unico rimedio contro il pernicioso elevarsi di esso. Infatti dovrebbe esser noto (ma paradossalmente non lo è) che la CO₂ utilizzata da un ettaro di terreno mediamente coltivato, *al netto di quella prodotta* (per la respirazione delle piante e del terreno, ecc.) si aggira sulle 10-30 tonnellate all'anno. Enormi quindi dovrebbero essere i crediti che gli agricoltori dovrebbero vantare nei confronti della società civile.

Data la fondamentale importanza dell'argomento, l'elaborazione di questo studio è stata curata con particolare impegno e rigore. La prima sezione della monografia è basata sostanzialmente sui più significativi trattati fisio-botanici in uso nelle principali sedi universitarie dei Paesi occidentali. Su tali solide fondamenta, come pure sui manuali di ecologia del sistema agricoltura, si sono poi sviluppate le argomentazioni successive.

Viene così delineata implicitamente la figura del Nuovo Agricoltore: un personaggio che, in quanto *de facto* governatore della fotosintesi, svolge una funzione basilare delicatissima, indispensabile per l'esistenza del genere umano, che tocca l'essenza stessa della vita sulla terra, utilizzando $0,7 \times 10^{14}$ kg di carbonio/anno, per produrre sulla terraferma tutto l'ossigeno che ci è necessario per respirare, tutto il nostro cibo, nonché legno, fibre tessili vegetali, biomasse combustibili, ecc., contenendo la crescita calamitosa dell'effetto serra.