

RIDUZIONE DEI DANNI CAUSATI DALL'AUMENTO DI CO₂

Il ruolo della frutticoltura nella mitigazione dell'effetto serra

I dati presentati evidenziano il ruolo positivo della frutticoltura nel sequestro della CO₂ atmosferica, in particolare durante la formazione della struttura permanente degli alberi, e la primaria importanza della gestione del suolo per invertire il flusso del carbonio dall'atmosfera verso la pedosfera e la biosfera, trasformando la CO₂ in humus e biomassa vegetale

A. Sofo, A.M. Palese, C. Xiloyannis, G. Montanaro, R. Massai

La presenza dell'atmosfera permette che la temperatura media della Terra a livello del suolo si aggiri attorno ai 15 °C; se il nostro pianeta ne fosse privo, la temperatura superficiale media sarebbe di circa -18 °C, simile a quella della Luna. L'atmosfera si comporta quindi come una serra, lasciandosi attraversare dalle radiazioni a onde corte, senza però permettere la riflessione delle radiazioni a onde lunghe emesse dalla superficie terrestre verso lo spazio. Questo significa che una parte delle radiazioni provenienti dal-

la superficie terrestre e assorbite dall'atmosfera è irradiata nuovamente indietro verso la Terra, consentendone un maggiore riscaldamento. La bassa atmosfera ha quindi una funzione simile a quella di una coperta che conserva il calore della Terra.

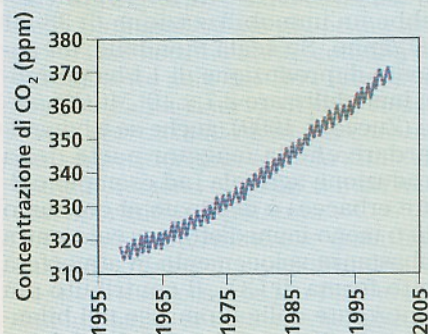
I gas naturali presenti nell'atmosfera e responsabili dell'effetto serra sono principalmente biossido di carbonio (CO₂) e vapore acqueo, ma, com'è ben noto, l'uomo tende ad aumentare questo effetto liberando in atmosfera enormi quantità di CO₂, metano, cloro-

fluorocarburi, ossidi di azoto e altri gas. Il più importante di questi gas «serra» è la CO₂. La quantità della CO₂ nell'atmosfera va crescendo a una rapidità di $3,2 \times 10^3$ Mt/anno, più di mezza tonnellata per ciascuna persona nel mondo (Lal, 1997). Questo incremento è causato soprattutto dalla combustione di petrolio, carbone, gas naturali e foreste, ed è accentuato dalla deforestazione, che riduce la quantità totale di carbonio fissato dalla fotosintesi; altre cause dell'incremento di CO₂ sono la desertificazione, l'urbanizzazione e l'adozione di particolari pratiche agricole. In particolare, queste ultime sono la più importante causa dell'aumento di metano e ossido nitroso; inoltre, l'incendio delle foreste per far posto ai terreni coltivati favorisce la produzione di ossido nitrico, monossido di carbonio e aerosol, che vengono liberati nell'atmosfera, alterandone l'equilibrio chimico (Vitousek, 1994).

La concentrazione atmosferica di CO₂ è aumentata del 37% durante gli ultimi 120 anni, passando da 260-280 ppm nel 1880 a 370 ppm nel 2001 (grafico 1) e si prevede che entro 30-40 anni raggiungerà le 550 ppm (Castelnuovo, 2002). L'aumento di questo gas è senz'altro causato dall'uomo, ma i danni causati dall'effetto serra non sono attribuibili soltanto all'aumento della concentrazione dei gas serra, dal momento che variazioni climatiche a



Grafico 1 - Misurazioni e previsioni della concentrazione atmosferica di CO₂ dal 1955 al 2005 (*)



(*) Effettuate presso la Stazione climatica di Mouna Loa - Hawaii (Keeling e Whorf - Scripps institution of oceanography).

lungo termine hanno da sempre interessato il nostro pianeta e quindi potrebbero avere un ruolo non trascurabile. Tra le molteplici conseguenze che i gas serra provocheranno, sono previsti effetti moderati sulla produzione agricola mondiale, grazie anche all'effetto «fertilizzante» della maggiore concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, che dovrebbe consentire una migliore efficienza dell'uso dell'acqua (WUE). Quasi sicuramente, invece, mutamenti climatici a livello locale causeranno sostanziali variazioni nei raccolti, che saranno più a rischio nelle aree tropicali e subtropicali, vale a dire nelle zone più povere del pianeta. Questo potrebbe avere pesanti ripercussioni a livello economico e politico, dal momento che, ai fini della valutazione del rischio di fame, malnutrizione e carestie, è più importante la disponibilità locale di alimenti che la produzione totale mondiale. Tutto ciò potrebbe rivelarsi un peso insostenibile per i Paesi in via di sviluppo situati nelle aree più critiche.

Se l'uomo continuerà a immettere nell'atmosfera una quantità sempre maggiore di CO₂, molto probabilmente la Terra continuerà a riscaldarsi da 2 a 8 °C durante questo secolo (Strong, 1989). Per diminuire le emissioni atmosferiche di CO₂ è necessario ridurre i consumi globali annui di combustibili fossili, ripartendone equamente le riserve disponibili tra i vari Stati in ragione della rispettiva popolazione, e utilizzare nuove fonti di energia, possibilmente rinnovabili (energia solare, geotermica, idrica, eolica, biomasse legnose forestali e derivanti da residui agricoli, urbani e industriali). È altresì urgente bloccare il ritmo di distruzione delle foreste, in particolare di quelle equatoriali, e modificare la gestione degli ecosistemi agroforestali, dal momento che la fotosintesi è il sistema più efficiente in nostro possesso per la fissazione di CO₂.

In Italia, un aumento delle biomasse agrarie (oggi circa 15 t s.s./ha/anno), anche circoscritto al 10%, permetterebbe un'immobilizzazione di 33 Mt CO₂/anno. Su scala mondiale, un aumento di produzione di 1 t/ha potrebbe immobilizzare 2,7 × 10⁹ Mt CO₂/anno (Zucconi, 1999), anche se è bene ricordare che la maggior parte della produzione agricola (ad esempio colture erbacee) è destinata al consumo più o meno immediato, per cui rientra abbastanza velocemente in atmosfera sotto forma di CO₂. Il contributo più importante delle biomasse nel bilancio della CO₂ sarebbe tuttavia indiretto, attraverso il controllo dei livelli di humus, il quale ha la capacità di immobilizzare il carbonio atmosferico

Tabella 1 - Le riserve di carbonio della Terra

Serbatoio	Gt di carbonio
Carbonio stabile	
Carbonati sedimentari	50 × 10 ⁶
Combustibili fossili	20 × 10 ⁶
Carbonio libero	
Idrosfera	39 × 10 ³
Pedosfera	1,55 × 10 ³
Atmosfera	0,75 × 10 ³
Biosfera:	
piante e funghi	0,43 × 10 ³
animali, protozoi e batteri	0,12 × 10 ³

Fonte: rielaborazione da Lal, 1997; Zucconi, 1999.

attraverso una cattura lievemente più lenta di quella della vegetazione e tuttavia con una semivita molto maggiore. Purtroppo, a causa dell'aumento dell'agricoltura intensiva (uso di concimi minerali, lavorazioni del suolo e irrigazione) la perdita di humus dai terreni coltivati è superiore al tasso di formazione; questo trasforma il suolo da piccolo serbatoio naturale a grande sorgente di CO₂. In Italia, un programma volto a elevare dell'1% la quantità di humus nell'arco di 12 anni permetterebbe un'immobilizzazione di 114 Mt CO₂/anno. Su scala mondiale, un aumento di 2 t/ha di humus permetterebbe l'immobilizzazione di circa 7,1 × 10⁹ Mt CO₂/anno, una cifra irrisoria rispetto alla riserva atmosferica, ma rilevante se confrontata con il suo incremento annuale (Zucconi, 1999).

I suoli mondiali costituiscono un ingente serbatoio di carbonio organico (tabella 1) e i residui colturali sono la maggiore risorsa rinnovabile e, come tali, hanno un impatto considerevole sul ciclo del carbonio; infatti, se il 15% del carbonio contenuto nei residui colturali mondiali potesse essere convertito in carbonio organico del suolo (SOC), porterebbe al sequestro di 7,32 × 10² Mt CO₂/anno (Lal, 1997). Ripristinando inoltre i suoli attualmente degradati nel mondo (circa 2 × 10⁹ ha) e aumentando il contenuto in SOC dello 0,01%, si consentirebbe l'immobilizzazione di 10,98 × 10⁹ Mt CO₂/anno, praticamente più di tre volte l'incremento annuale di CO₂ nell'atmosfera (Lal, 1997). Recenti stime indicano che, in Italia, la diminuzione annua dello 0,1% di SOC dei suoli agricoli nazionali, che corrispondono a 15 × 10⁶ ha, provocherebbe il rilascio in atmosfera di 2,75 × 10³ Mt CO₂/anno, ovvero più della metà delle emissioni annue totali di CO₂, che in Italia ammontano a 4,29 × 10³ Mt CO₂/anno (Sequi, 1999). Questi dati evidenziano il ruolo chiave della sostanza organica del terreno nella regolazione della concentrazione di CO₂ atmosferico e l'utilità di una sua restituzione ai suoli.

Tabella 2 - Durata del ciclo vitale di diverse specie vegetali

Specie vegetali	Durata del ciclo
Formazioni forestali	
Fustaie secondarie (*)	oltre il secolo
Ceduo (*)	10-25 anni
Arboricoltura da legno	
Ciclo breve (pioppeto) (*)	8-10 anni
Ciclo medio-lungo (noceto, ceraseto, ecc.) (*)	30-60 anni
Colture arboree da frutto	
Olivo	oltre il secolo
Agrumi	30-40 anni
Drupacee-pomacee	15-20 anni
Colture erbacee	
Colture a breve ciclo	minore di 1 anno
Colture agricole erbacee	1 anno

(*) Fonte: De Simone et al., 2000.

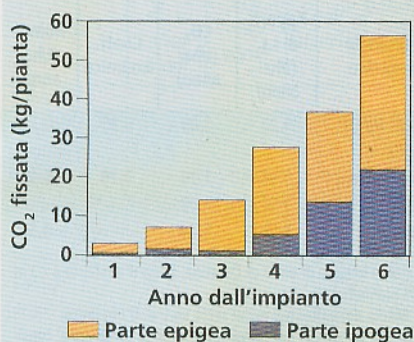
Fissazione della CO₂ nelle arboree da frutto

Alla luce degli aspetti in precedenza elencati, emerge la necessità sia di contenere le emissioni di gas serra nell'atmosfera sia di promuovere la fissazione della CO₂, specialmente da parte degli ecosistemi agroforestali, i quali sono in grado di immagazzinare un grande quantitativo di carbonio: a livello mondiale essi ne fissano globalmente circa 1,146 × 10⁶ Mt (Kimmins, 1997). Pertanto, una mirata gestione del patrimonio agroforestale esistente può contribuire a mitigare il rilascio di CO₂ nell'atmosfera. La produzione primaria netta (PPN) di un frutteto indica la quantità di carbonio, al netto della respirazione, da esso sottratta annualmente all'ambiente e fissata sotto forma di biomassa (esprimibile in t/ha di sostanza secca), che può essere impiegata sia per l'accrescimento che per l'accumulo delle riserve.

È fondamentale conoscere il modo in cui gli alberi distribuiscono al loro interno il carbonio fissato: quello fissato nel legno è destinato a risiedere nell'ecosistema per molto tempo, mentre quello delle foglie e dei frutti è velocemente rilasciato nell'atmosfera. L'accumulo di carbonio nelle radici e nei funghi a esse associati è anch'esso trattenuto per un lungo periodo. I frutteti producono biomasse che possono rilasciare il carbonio in esse contenuto in tempi medio-brevi (ad esempio frutti e foglie) ovvero accumularlo in tempi medio-lunghi (ad esempio legno di potatura ed eventuali manufatti in legno).

La valorizzazione energetica dei residui di potatura rappresenta inoltre un'alternativa reale all'uso dei combustibili fossili con ripercussioni positive e dirette sull'effetto serra. È da non sottovalutare, infatti, che la maggior parte dei residui di potatura viene bruciata a bordo campo (olivo, agrumi,

Grafico 2 - CO₂ fissata a fine stagione vegetativa in piante irrigate di olivo in fase di allevamento (*)



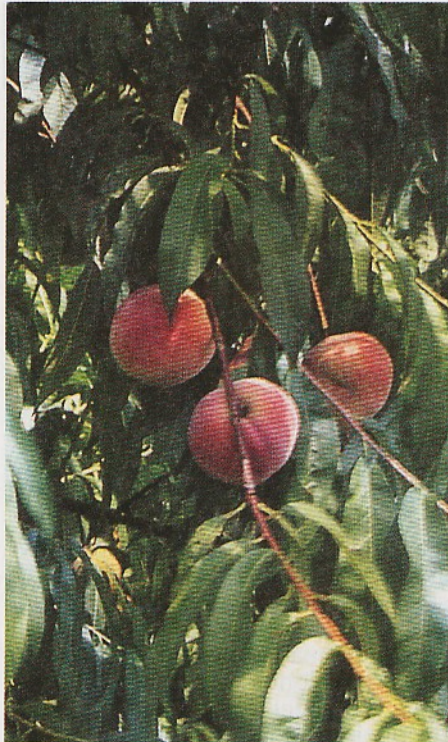
(*) Cv Coratina, sesto d'impianto 6 x 3 m. Dati calcolati come incrementi annuali.

drupacee, ecc.) anche per evitare problemi fitosanitari. Questo causa il rapido rilascio in atmosfera della CO₂ fissata nel corso di 15-20 anni. Se invece i residui fossero opportunamente valorizzati mediante la combustione a fini energetici, non solo si eliminerebbe una fonte di CO₂, ma si ridurrebbe anche l'uso di combustibili fossili.

Attraverso il censimento e il monitoraggio degli impianti arborei, è possibile tracciare un quadro realistico delle principali caratteristiche produttive degli impianti e procedere a una quantificazione, seppure solo orientativa, della quantità di CO₂ immagazzinata nella vegetazione e nel suolo. Dal momento che tra l'eccesso del bilancio di CO₂ e l'incremento di sostanza secca vi è una correlazione diretta, il bilancio gassoso si può esprimere in unità di peso (solitamente g o kg) di CO₂ per pianta per periodo di tempo (giorno o anno). Il valore può essere riferito alla sostanza organica o al contenuto di carbonio o di CO₂ attraverso fattori di conversione.

In un frutteto, il bilancio del carbonio dipende da caratteristiche strutturali e morfologiche intrinseche a ogni specie ed è influenzato anche dalla densità di impianto e dalla forma di allevamento, con particolare riferimento al rapporto tra massa fogliare e organi legnosi epigei e ipogei. Altri fattori che agiscono sul rendimento fotosintetico, oltre alla luce e alla superficie fogliare, sono la disponibilità di acqua e di nutrienti (soprattutto azoto). In altri casi, possono essere le caratteristiche fisiche del terreno, piuttosto che quelle chimiche, a limitare l'accumulo delle piante.

Quando un impianto arboreo da frutto è giovane, la PPN ha un valore positivo e il surplus di sostanza organica, di anno in anno, incrementa la sostanza



secca delle piante. L'incremento di sostanza secca è accentuata anche dal fatto che in questa fase non si verificano prelievi di biomassa (ad esempio frutti) da parte dell'uomo. Con l'aumento dell'età media delle piante, l'incremento di sostanza secca nelle strutture permanenti diminuisce: l'inversione dell'andamento di crescita non è causato da un incremento delle perdite, ma dalla diminuzione della PPN, che serve soprattutto al ricambio del fogliame, alla respirazione dei rami e delle radici e allo sviluppo dei frutti. Poiché nelle specie arboree la fissazione di CO₂ nelle strutture permanenti, e quindi con un rilascio più lento, è maggiore durante la fase di allevamento, è più conveniente utilizzare specie a ciclo medio-lungo (tabella 2) per aumentare il sequestro della CO₂ atmosferica.

Valori di fissazione della CO₂ in diverse specie arboree da frutto

I dati riguardanti l'olivo in fase di allevamento si riferiscono a piante irrigate di cui sono stati misurati, a fine stagione vegetativa (dal 1992 al 1998), i valori di sostanza secca (Celano *et al.*, 1999). Da questi ultimi sono stati ricavati i valori di CO₂ atmosferica fissata (grafico 2) secondo l'equazione:

$$1 \text{ g sostanza secca} = 0,5 \text{ g C} = 1,83 \text{ g CO}_2 \text{ atmosferica fissata}$$

Il tasso di accumulo di CO₂ (*k*) nei frutteti in fase di allevamento può es-

sere calcolato mediante la seguente equazione (modificata da Davidson e Hirsch, 2001):

$$C_t = C_0 e^{kt} + (i / d) (1 - e^{-kt})$$

dove C₀ è la riserva di CO₂ fissata all'inizio dell'esperimento, C_t è la riserva di CO₂ dopo *t* anni, *i* è l'immissione di CO₂ da altre fonti esogene e *d* è la costante di decomposizione (nel nostro caso il coefficiente isoumico). Nel caso in cui gli scarti di potatura siano allontanati dal campo e non ci siano ulteriori immissioni di CO₂ nell'agroecosistema, il secondo termine dell'equazione precedente può essere considerato trascurabile e quindi:

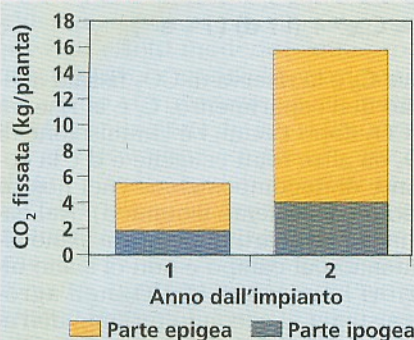
$$k = \ln(C_t / C_0) / t$$

Nell'oliveto in questione, considerando i primi sette anni dall'impianto, il valore di *k* è stato di 0,775. Nel caso della permanenza del materiale di potatura o di altri apporti sul suolo, il valore di *k* aumenta in quanto il secondo termine dell'equazione non è più trascurabile; ciò significa che, in quest'ultimo caso, l'agroecosistema è in grado di conservare ogni anno, al suo interno, una quantità di carbonio maggiore, la quale permane nel suolo sotto forma di humus.

Nel corso dei primi sette anni dall'impianto, la maggior parte della CO₂ fissata è stata allocata nel legno, mentre il resto negli organi a vita breve, quali le foglie e i frutti. Le foglie (ed eventualmente i frutti, nel caso essi non siano raccolti) sono destinate a cadere sul suolo e a decomporsi, cedendo solo una piccola parte del loro contenuto in carbonio (10%) ai materiali umici del suolo. La biomassa fogliare totale di un albero di olivo nei primi sette anni dall'impianto ha costituito in media l'11% della biomassa totale della pianta, diminuendo dal 23% del primo anno al 10% del settimo; nel corso degli anni, la biomassa legnosa dell'albero (tronco, ceppo, radici e rami), al contrario, è aumentata dal 77% della biomassa totale nel primo anno al 90% nel settimo anno, con una media nei sette anni del 75%. Il legno costituisce una riserva di CO₂ fissata, che è sottratta al ciclo del carbonio per un periodo pari al ciclo vitale dell'albero, a meno che non si intervenga con operazioni di potatura.

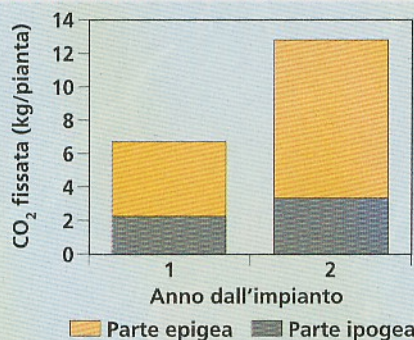
Volendo confrontare le quantità di carbonio fissate in diversi frutteti (olivo, pesco e actinidia) nei primi anni dall'impianto, si nota che la ripartizione percentuale della biomassa e il tasso di accumulo sono molto simili nei tre sistemi considerati, in cui variano la specie e la densità di piantagione.

Grafico 3 - CO₂ fissata in pianta di pesco in fase di allevamento (*)



(*) Portinnesto Missouri, sesto d'impianto 4,5 x 1,25 m. Dati calcolati come incrementi annuali (rielaborata da Xilyonnis et al., 1992).

Grafico 4 - CO₂ fissata in pianta di actinidia in fase di allevamento (*)



(*) Cv Hayward, sesto d'impianto 4,5 x 1,5 m. Dati calcolati come incrementi annuali (rielaborata da Massai et al., 1992).

Tabella 3 - CO₂ fissata in materiale di potatura, foglie senescenti e frutti di un oliveto in fase di allevamento (¹)

Materiale organico	Apporti di s.s. (t/ha/anno)	CO ₂ (t/ha/anno)	Coeff. isoumico	Humus (t/ha/anno)
Potatura (²)	1,03	1,89	0,35	0,36
Foglie senescenti (²)	0,96	1,76	0,20	0,19
Frutti (²)	1,14	2,09	-	-
Totale	3,13	5,74	-	0,55

(¹) Pianta irrigate di olivo cv Coratina, sesto d'impianto 6 x 3 m (555 piante/ha).

(²) Media dei valori nei primi sette anni dall'impianto.

(³) Media dei valori nei primi sette anni dall'impianto, considerando una vita media delle foglie di 30 mesi.

Nei primi tre anni dall'impianto, inoltre, nei pescheti e negli actinidietti la CO₂ fissata è allocata soprattutto nella parte aerea (rispettivamente 74% della biomassa totale nel pesco e 69% nell'actinidia, calcolati come valori medi nei tre anni) rispetto alle radici (grafici 3 e 4). L'olivo fissa mediamente, sempre nei primi tre anni dall'impianto, il 76% di CO₂ nella parte aerea e la restante parte nella porzione ipogea. Il tasso di accumulo di CO₂ (k), calcolato nei primi tre anni, in frutteti in fase di allevamento, è risultato essere di 1,357 per l'actinidieto, 1,131 per il pescheto e 1,172 per l'oliveto. Questi dati dimostrano una certa uniformità nelle specie considerate, anche se è necessario ricordare che l'olivo possiede una crescita più lenta di quella di altre specie arboree e quindi una fase in cui la pianta investe in strutture permanenti di durata maggiore.

Nel bilancio del carbonio dell'agroecosistema, è necessario considerare anche le perdite sotto forma di materiale di potatura e foglie. Se non sottratto dal bilancio totale, questo materiale si accumula sul terreno come deposito. Il livello del carbonio presente in un terreno dipende dalla quantità proveniente periodicamente dagli apporti e dalla velocità con la quale essi sono mineralizzati. Tutti questi fattori sono inglobati in un'equazione generale che correla la produzione netta della pianta (PP_n), la differenza di peso secco in un intervallo di tempo stabilito (ΔB) e le perdite di carbonio (V_A) (modificata da Larcher, 1993):

$$PP_n = \Delta B + V_A$$

Nei nostri esempi, le perdite di carbonio considerate sono state quelle del materiale di potatura, delle foglie e dei frutti (tabella 3). Gli interventi di potatura verde e invernale e il diradamento dei frutti sono solitamente ef-

fettuati per equilibrare dal punto di vista vegeto-produttivo la pianta. Allo stesso tempo, essi aumentano la quantità di carbonio fissato nell'agroecosistema, in quanto favoriscono un'ulteriore fissazione di CO₂, dovuta al rinnovamento del legno e consentono la produzione di humus, se lasciati sul terreno.

Nell'oliveto oggetto della ricerca, nel caso in cui il materiale di potatura fosse lasciato a terra, sarebbero destinate al terreno 1,89 t/ha/anno di CO₂ fissata, consentendo la formazione di humus. Dal momento che i residui di potatura sono convertiti in humus, il cui carbonio ha un tempo di turn over di 20-50 anni (e in alcuni casi anche maggiore), essi consentirebbero non solo la fissazione della CO₂ per un lungo periodo, ma anche la concimazione e la stabilizzazione dei suoli. Le foglie dell'olivo hanno una vita media di 30 mesi. In un oliveto in fase di allevamento, le foglie senescenti contribuiscono a rilasciare nel suolo 1,76 t/ha/anno di CO₂ fissata e a formare 0,19 t/ha/anno di humus. Nel caso in cui i frutti non fossero raccolti, permetterebbero la fissazione di 2,09 t/ha/anno di CO₂ e la produzione di 0,57 t/ha/anno di humus. Quest'ultima ipotesi è poco probabile, dal momento che i frutti hanno un valore commerciale e sono solitamente raccolti, costituendo così una perdita di CO₂ da parte dell'agroecosistema.

Diverso è il caso in cui si considerano frutteti in piena produzione, quando gli alberi hanno raggiunto la maturità e l'incremento di sostanza secca sul totale diminuisce con il tempo. È necessario precisare che non è stata considerata la quantità di carbonio rilasciato nel suolo a causa del rinnovamento dell'apparato radicale e della decomposizione delle radici, in quanto non possediamo dati al riguardo. Dal confronto dei valori di CO₂ fissata nei

frutteti in piena produzione (tabella 4), si notano differenze non marcate tra le diverse specie e una certa uniformità dei valori di humus prodotto.

I dati riguardanti i frutteti discussi nel presente lavoro possono essere altresì estesi alla superficie totale di terreno agricolo destinato alla coltivazione delle singole specie. Ad esempio, la superficie a oliveto in Italia ammonta a poco più di 1 milione di ettari, per un totale di 170.000.000 di piante (Lombardo e Parlato, 2002), e quella mondiale a 9,8 milioni di ettari, per un totale di circa 1 miliardo e 200 milioni di alberi (Luchetti, 2002). Anche considerando la grande diversità nelle caratteristiche degli oliveti, si può presupporre che le quantità di CO₂ fissata e di humus prodotto siano importanti ai fini del contenimento dell'incremento della CO₂ ambientale.

Gestione del terreno e suo ruolo nella fissazione della CO₂

L'humus contiene grandi qualità di carbonio, soprattutto sotto forma di compost organici. Una riserva cospicua di carbonio è costituita anche da quella presente nella biosfera (piante, animali, funghi, protozoi e batteri), da cui, tramite processi naturali, deriva l'humus; in questi processi, l'uomo è intervenuto pesantemente e prevalentemente in senso contrario, favorendo la mineralizzazione, cioè la trasformazione del carbonio fissato in CO₂, acqua e sali minerali.

Una corretta gestione del terreno agricolo ha un ruolo chiave nei processi di fissazione della CO₂. Le pratiche del sovescio e dell'inerbimento, ad esempio, potrebbero non soltanto determinare una maggiore fertilità del suolo, ma anche essere impiegate con lo scopo primario di «immagazzinare»

Tabella 4 - CO₂ fissata in materiale di potatura, foglie e frutti di frutteti in piena produzione

Specie	Apporti di s.s. (t/ha/anno)	CO ₂ (t/ha/anno)	Coeff. isoumico	Humus (t/ha/anno)
Olivo (*)				
Potatura	4,3	7,9	0,35	1,50
Foglie (*)	0,9	1,6	0,20	0,18
Frutti	5,1	9,3	-	-
Totale	10,3	18,8	-	1,68
Albicocco (*)				
Potatura	3,2	5,9	0,35	1,12
Foglie	2,8	5,1	0,20	0,56
Frutti diradati	0,5	0,9	0,50	0,25
raccolti	3,4	6,2	-	-
Totale	9,9	18,1	-	1,93
Pesco (*)				
Potatura	5,7	10,4	0,35	2,00
Foglie	4,2	7,7	0,20	0,84
Frutti diradati	0,3	0,5	0,50	0,15
raccolti	3,8	7,0	-	-
Totale	14,0	25,6	-	2,99
Actinidia (*)				
Potatura	2,6	4,8	0,35	0,91
Foglie	3,4	6,2	0,20	0,68
Frutti diradati	0,9	1,6	0,50	0,45
raccolti	5,3	9,7	-	-
Totale	12,2	22,3	-	2,04

(*) Impianto fertirrigato, cv Maiatica, 156 piante/ha, produzione 10 t/ha (Palese A.M., comun. personale).

(*) Dato calcolato considerando una vita media delle foglie di 30 mesi.

(*) Impianto a Y trasversale, 1.111 piante/ha, produzione 22,3 t/ha.

(*) Impianto a Y trasversale, cv Springcrest, 1.111 piante/ha, produzione 22 t/ha.

(*) Impianto a tendone, cv Hayward, 625 piante/ha, produzione 24 t/ha.

Fonte: rielaborata da Frangione, 1999; Nuzzo et al., 2002.

la CO₂ sotto forma di humus. La tecnica del sovescio, oltre ad apportare nuova sostanza organica, permette di stabilizzare quella già presente perché rientra in quella serie di pratiche agricole razionali (insieme, ad esempio, alla lavorazione minima, alle colture di copertura e alla coltivazione di colture intercalari e/o consociate) che consentono di mantenere bassi valori di mineralizzazione e di ridurre fortemente l'erosione del terreno. Per raggiungere risultati più efficaci, con la pratica del sovescio sarebbe necessario adottare alcuni accorgimenti: utilizzare colture in grado di produrre la maggior biomassa possibile; tritare solo quando il rapporto fra massa vegetale e lignificazione è ottimale, dal momento che la lignina fornisce la maggiore resa e che da essa si ottiene l'humus più duraturo; interrare superficialmente e, subito dopo, seminare un'altra specie che, se anche per motivi climatici non potesse giungere a maturazione, consentirebbe comunque la produzione di biomassa e quindi la copertura del terreno, evitandone l'erosione. A titolo di esempio, in una ricer-

Tabella 5 - Ipotesi di rotazione triennale di apporti di materiali organici in un oliveto maturo (*)

Materiale organico (*)	Apporti di s.s. (t/ha/anno)	Coeff. isoumico	Humus (t/ha/anno)
1° anno			
Potatura	4,3	0,35	1,50
Foglie (*)	0,9	0,20	0,18
Sovescio	6,0	0,15	0,90
Totale	11,2	-	2,58
2° anno			
Potatura	4,3	0,35	1,50
Foglie (*)	0,9	0,20	0,18
Letame	3,0	0,40	1,20
Totale	8,2	-	2,88
3° anno			
Potatura	4,3	0,35	1,50
Foglie (*)	0,9	0,20	0,18
Compost	2,0	0,40	0,80
Totale	7,2	-	2,48
Media annuale	8,9	-	2,65

(*) Impianto fertirrigato, cv Maiatica, 156 piante/ha, produzione 10 t/ha (Palese A.M., comun. personale).

(*) Il suolo all'inizio dell'esperimento conteneva una quantità di sostanza organica pari all'1,16%. Considerando un coefficiente di mineralizzazione di 0,020, si prevede un aumento di sostanza organica fino a valori dell'1,20% dopo un anno, dell'1,38% dopo cinque anni e dell'1,61% dopo 15 anni.

(*) Dato calcolato considerando una vita media delle foglie di 30 mesi.

Fonte: rielaborata da Celano et al., 2002.

ca condotta in un pescheto collocato in ambiente semi-arido del Sud Italia (Celano et al., 1998), la biomassa vegetale apportata in termini di sostanza secca (C/N = 20) mediante la tecnica del sovescio è stata pari a 7,5 t/ha (equivalenti a 13,73 t/ha di CO₂) di cui 3,3 attribuibili a *Vicia faba* e 4,2 ad *Avena sativa*. Con tali apporti, considerando un coefficiente isoumico di 0,15 (Celano et al., 2002), è possibile produrre 1,13 t/ha/anno di humus.

Da questi dati si evince che la produzione agricola influenza in modo determinante la dinamica del ciclo del carbonio. È altresì evidente che la rilevanza di questi metodi dipende dalla superficie che può essere utilizzata a tale scopo. Se ad esempio, a livello mondiale, ci si ponesse come obiettivo quello di trasformare annualmente 10⁹ Mt di carbonio, cioè poco meno di un terzo dell'incremento annuale di carbonio atmosferico sotto forma di CO₂, utilizzando terreni esclusivamente finalizzati alla produzione di humus, sarebbero necessari 364×10⁶ ha di terreno (pari al 9% delle terre coltivate mondiali); utilizzando terreni nei quali viene salvaguardata la produzione principale, gli ettari aumenterebbero a 800×10⁶ (19% delle terre coltivate); per terreni nei quali si utilizzano solo le colture intercalari, infine, l'estensione dei terreni interessati dovrebbe essere di 2.000×10⁶ ha (47% delle terre coltivate). È bene precisare che questa

analisi fornisce una stima teorica, in quanto la formazione di humus stabile in terreni agricoli abbandonati è spesso lenta e difficile, come nel caso di terreni sottratti alle foreste equatoriali per la coltivazione e poi nuovamente abbandonati.

Conclusioni

Dai dati discussi è evidente il ruolo positivo della frutticoltura, in particolare durante la formazione della struttura permanente degli alberi, nei riguardi del sequestro della CO₂ atmosferica. Nei primi anni, la CO₂ assorbita è investita maggiormente nelle strutture permanenti, mentre nei frutteti in piena produzione la CO₂ assimilata è destinata per l'80% alla produzione di frutti, foglie e legno. Il materiale di potatura, se rilasciato in campo, consente la produzione di humus, quest'ultimo con tempi di restituzione di CO₂ in atmosfera molto lunghi.

Da quanto detto, infine, si evince anche che la gestione del suolo è di primaria importanza nel sequestro della CO₂ atmosferica: attraverso l'utilizzo di opportune pratiche agricole e tenendo conto delle caratteristiche pedoclimatiche locali, si potrebbe infatti invertire il flusso di carbonio dall'atmosfera verso la pedosfera e la biosfera, trasformando, quindi, una parte significativa della CO₂ in humus e biomassa vegetale (tabella 5). In questa prospettiva, la pedosfera va considerata come un ecosistema planetario che interagisce non solo con la biosfera, ma anche con l'atmosfera, e sul quale l'uomo può intervenire in maniera opportuna in modo da modificare la composizione dell'atmosfera e mitigare così i danni dell'effetto serra. È necessario quindi promuovere tecniche colturali finalizzate non soltanto alla produzione di frutta, ma anche alla mitigazione dei danni causati dall'effetto serra.

Adriano Sofo
Assunta Maria Palese
Cristos Xiloyannis
Giuseppe Montanaro

Dipartimento di scienze
dei sistemi culturali,
forestali e dell'ambiente
Università degli studi della Basilicata
Potenza
sofo@unibas.it

Rossano Massai
Dipartimento di coltivazione
e difesa delle specie legnose «G. Scaramuzzi»
Università di Pisa

La bibliografia verrà pubblicata negli estratti.