

# La mela può essere neutrale. Strategie per ridurre l'impronta carbonica



Damiano Zanotelli, Giulia Galli,  
Benedikt Hauser e Massimo Tagliavini  
Facoltà di Scienze e Tecnologie - Libera  
Università di Bolzano

**Il successo dell'applicazione su larga scala delle soluzioni per ridurre le emissioni di gas serra deve fare i conti con la sostenibilità economica dell'intervento**

**I**l costante aumento delle concentrazioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e di altri gas nella nostra atmosfera è un fatto ormai accertato. La causa di questo fenomeno è da ricercare nella rapida e costante crescita, anno dopo anno, delle emissioni globali di CO<sub>2</sub> (soprattutto quelle derivate da combustibili fossili) e di altri gas ad effetto serra (GHGs), come il metano (CH<sub>4</sub>) e gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), che si è verificata soprattutto a partire dagli anni '50. Per uniformare il diverso potere che i principali gas serra possiedono nell'alterare il clima, riscaldando l'atmosfera, si deve introdurre il concetto di GWP (*global warming potential* o potenziale di riscaldamento globale,

*tabella 1*), che viene misurato ricorrendo al termine CO<sub>2</sub> equivalenti (CO<sub>2</sub>-eq) e che verrà impiegato anche nel presente testo. Le emissioni globali di CO<sub>2</sub>-eq (circa 39 Gt/anno, ossia miliardi di tonnellate, *figura 1*) sono compensate solo in parte (53-54%) dall'abilità di alcuni ecosistemi di sottrarre parte della CO<sub>2</sub> emessa in atmosfera, mentre la frazione rimanente causa una crescita della concentrazione della CO<sub>2</sub> atmosferica di circa 2.4 ppm (parti per milione) per anno. Mentre stiamo scrivendo, la concentrazione media della CO<sub>2</sub> è di circa 415 ppm, concentrazione mai raggiunta prima nei precedenti 800 mila anni di storia

analizzati dalla ricerca scientifica.

L'aumento dei gas serra è la causa del cosiddetto cambiamento climatico, le cui principali conseguenze sono l'aumento della temperatura media dell'atmosfera, delle minime e delle massime termiche (incluso le ondate di calore in estate), e la modifica del regime pluviometrico, con aumento della frequenza ed intensità di eventi temporaleschi violenti, da un lato, e la presenza di prolungati e severi periodi di siccità, dall'altro. Rispetto alla media del periodo 1961-1990, la temperatura media delle terre emerse del pianeta è infatti aumentata di almeno un grado (*figura 2*).

FIG. 1 - PRINCIPALI FLUSSI DI GAS SERRA A LIVELLO GLOBALE

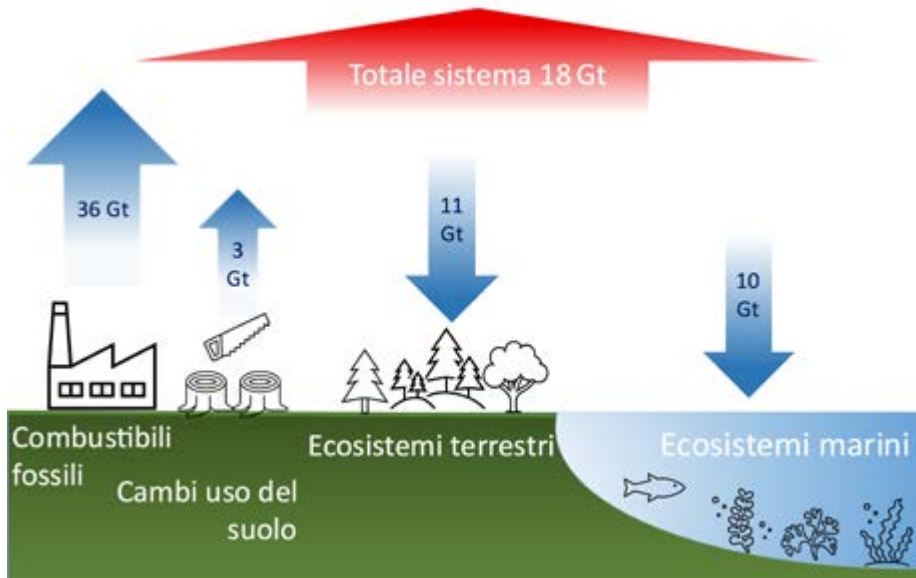
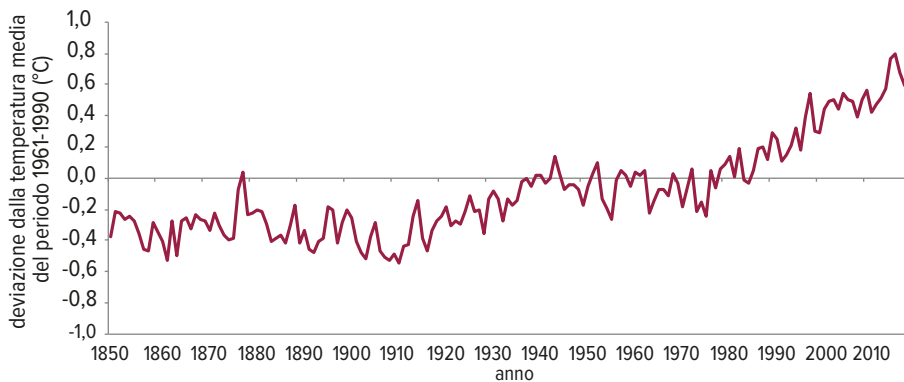
(in Gt di CO<sub>2</sub>-eq anno<sup>-1</sup>, Friedlingstein et al., 2021)

FIG. 2 - ANOMALIE TERMICHE GLOBALI NEL PERIODO 1850-2019 RISPETTO ALLA MEDIA DELLA TEMPERATURA TERRESTRE DEL TRENTENNIO 1961-1990



Fonte: ourworldindata.org

TAB. 2 - IMPRONTA CARBONICA DELLA MELA PRODOTTA IN ALTO ADIGE SECONDO IL PROTOCOLLO INTEGRATO E BIOLOGICO ED ESPRESSA PER UNITÀ DI SUPERFICIE (KG CO<sub>2</sub>-EQ ANNO<sup>-1</sup> HA<sup>-1</sup>) E DI PRODOTTO (KG CO<sub>2</sub>-EQ KG<sup>-1</sup>)

Coltivazione della mela	kg CO <sub>2</sub> -eq anno <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>		Produzione media (kg ha <sup>-1</sup> )		g CO <sub>2</sub> -eq kg <sup>-1</sup> mela	
	Int	Bio	Int	Bio	Int	Bio
Impianto	643	643	57.600	50.000	11,2	12,9
Macchinari	487	500			8,5	10
Produzione	2.050	1809			35,6	36,2
Espianto	77	77			1,3	1,5
Totale	3.257	3.029			56,6	60,6

In base ai modelli previsionali, in assenza di una rapida e drastica riduzione delle emissioni nette di gas serra, la temperatura dell'atmosfera potrà aumentare alla

fine del secolo anche di 3 gradi rispetto al 1990, anno di riferimento negli accordi internazionali sul clima (come, ad esempio, l'Accordo di Parigi). Per limitare tale aumen-

TAB. 1 - POTENZIALE DI RISCALDAMENTO GLOBALE (GWP, GLOBAL WARMING POTENTIAL) DEI PRINCIPALI GAS SERRA

Gas serra	Formula chimica	GWP (in un periodo di 20 anni)
Anidride carbonica	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	56
Protossido di azoto	N <sub>2</sub> O	280

Nota: i valori si riferiscono all'energia assorbita da una certa quantità di un gas serra presente in atmosfera, rispetto alla stessa quantità di CO<sub>2</sub> (si parla perciò di CO<sub>2</sub> equivalenti, CO<sub>2</sub>-eq). Ad esempio, se viene emessa 1 t di metano, ciò corrisponde a 56 t di CO<sub>2</sub>-eq

to entro la soglia di 1,5°C (questo, secondo gli scienziati, il limite per evitare una serie di effetti catastrofici) occorre quindi fin da subito adottare misure in grado di ridurre le emissioni di gas serra ed invertire una tendenza che invece, come abbiamo scritto sopra, è ancora in aumento.

### IL CONTRIBUTO DEI FRUTTIFERI ALLE EMISSIONI DI GAS SERRA

Ci si deve chiedere da quali attività antropiche derivino le principali emissioni di gas serra. I sistemi agrari per la produzione vegetale e animale, e il cambiamento di uso del suolo che talvolta avviene, sono responsabili a livello mondiale per circa il 21% delle emissioni complessive di gas serra, mentre nella sola Europa esse rappresentano circa il 10%.

Le emissioni di gas serra, imputabili in parte alla CO<sub>2</sub> ed in parte al metano e al protossido di azoto emessi dal suolo agrario e dagli allevamenti animali, sono relativamente stabili in Europa, mentre mostrano una tendenza in continuo aumento a livello globale. Se si estende l'analisi all'intera produzione alimentare e si include nei calcoli anche la trasformazione, il trasporto, la conservazione e la gestione degli scarti, il contributo dell'intero settore agroalimentare alle emissioni globali può raggiungere valori prossimi al 37% a scala globale. Non vi è dubbio, pertanto, che l'agricoltura può e deve fornire il proprio contributo alla mitigazione del cambiamento climatico attraverso pratiche maggiormente virtuose.

La produzione mondiale di frutta, secondo stime della Fao, si aggira su 868 milioni di tonnellate per anno, di cui poco più di 80 milioni sono rappresentate dalle mele, coltivate su circa 5 milioni di ha (intorno allo 0,3-0,4% della superficie agricola mondiale, Faostat, 2021). L'impronta carbonica (C fo-

otprint) della mela generata durante la sola fase di coltivazione oscilla in genere tra 50 e 100 g CO<sub>2</sub>-eq per kg di mele in molti contesti produttivi, ma fino a 800 g CO<sub>2</sub>-eq per la coltivazione in Cina che si stima produca da sola circa il 50% delle mele. Sulla base di questi dati si può ipotizzare che la produzione mondiale delle mele generi emissioni annue pari a circa 0.034-0.036 Gt di CO<sub>2</sub>-eq (figura 3).

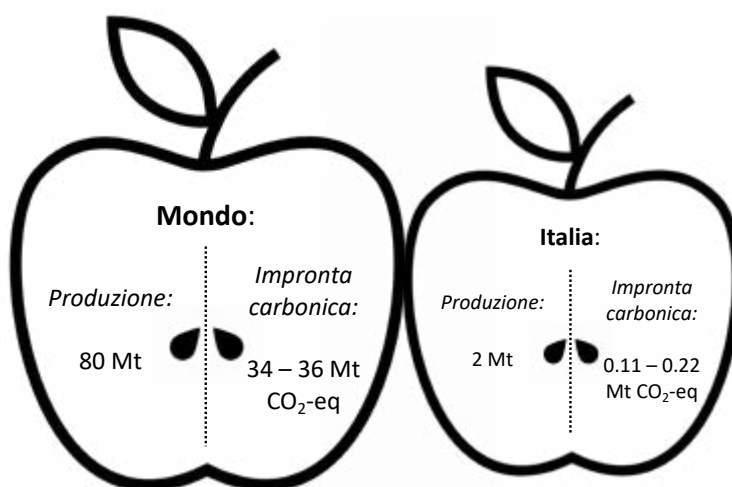
### L'IMPRONTA CARBONICA DELLA MELA DURANTE IL CICLO DI COLTIVAZIONE

Diversi autori hanno stimato le emissioni di CO<sub>2</sub>-eq legate all'impiego diretto (es. gasolio) ed indiretto (es. pali di cemento, plastiche, fertilizzanti) di combustibili fossili e le emissioni di protossido di azoto dal suolo nelle diverse fasi di coltivazione del meleto. L'approccio utilizzato nella maggior parte degli studi ha contabilizzato, ai fini del calcolo dell'impronta carbonica, la sola fase di piena produzione del meleto.

La metodologia impiegata considera il "ciclo di vita" di tutti i materiali e i processi impiegati nella coltivazione (Life Cycle Assessment) ed attribuisce ad essi una quantità di CO<sub>2</sub>-eq. La somma di tutte le emissioni viene poi riferita all'unità di prodotto. L'impronta carbonica della mela, ovvero il suo potenziale di riscaldamento globale (GWP), ci indica quindi la quantità di gas serra che vengono emessi in atmosfera nella produzione di 1 kg di mele. A seconda del perimetro dello studio, la C-footprint può riferirsi alla sola fase di produzione in campo (cradle to gate), alla fase di confezionamento, packaging e/o trasporto della mela ai mercati, o valutare complessivamente tutta la filiera, dal campo al mercato (cradle to market).

Oltre ad una precisa definizione dei confini dello studio, ad influire in maniera sensibile sui risultati dell'analisi sono la modellizzazione del ciclo produttivo e la numerosità dei dati sperimentali raccolti. Per il settore frutticolo, la maggior parte dei dati in letteratura fa riferimento a poche aziende o pratiche standard di gestione che raramente considerano le fasi di impianto ed espianamento del frutteto e rappresentano pertanto delle stime. Presso la Libera Università di Bolzano questo tema viene affrontato con il supporto dell'Associazione italiana di produttori di mele (Assomela) da circa un decennio. Recentemente abbiamo utilizzato una diversa metodologia di raccolta dei dati, direttamente dai quaderni di

**FIG. 3 - VALORI INDICATIVI DELLA PRODUZIONE MONDIALE E NAZIONALE DI MELE (MT ANNO<sup>-1</sup>) E STIMA DELLA RELATIVA IMPRONTA CARBONICA (MT CO<sub>2</sub>-EQ ANNO<sup>-1</sup>), RIFERITA ALLA SOLA FASE DI PRODUZIONE IN CAMPO (SONO ESCLUSE LE FASI DI CONSERVAZIONE, PACKAGING E TRASPORTO DELLE MELE)**



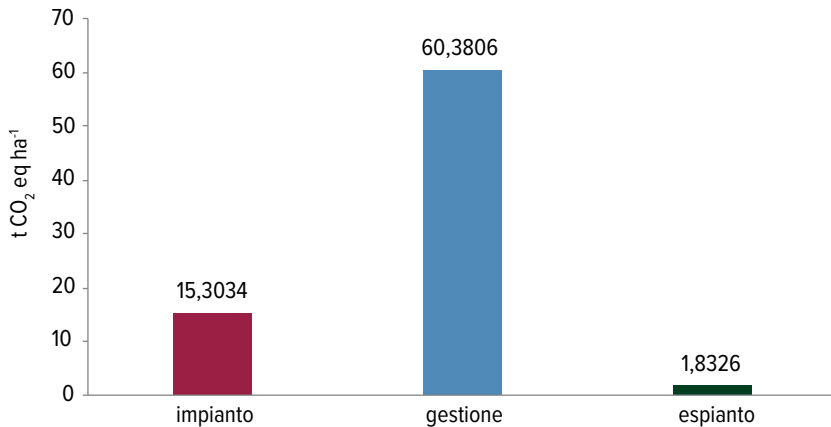
**TAB. 3 - STIMA DELLA QUANTITÀ DI BIOMASSA E DI CARBONIO (C) RIPARTITI NEI DIVERSI ORGANI (INCLUSO IL PRATO) IN FUNZIONE DEL LORO DESTINO DURANTE L'INTERO CICLO DI VITA DEL MELETO**

Organi	Biomassa (SS) t/ha	C	Cultivar	Riferimento	Destino
		t/ha			
Fusto	20	10	Cripps Pink	<i>Dati interni</i>	Estirpato a fine ciclo
	24-27	11-dic	Media diverse cv.	<i>Boschiero et al., 2016; Prando et al., 2016</i>	
Radici grosse e ceppo	5	02-mar	Media diverse cv.	<i>Boschiero et al., 2016</i>	Di norma estirpati a fine ciclo
	7	3	Fuji	<i>Zanotelli et al., 2015</i>	
Legno di potatura	24-26	11-dic	Media diverse cv.	<i>Boschiero et al., 2016; Prando et al., 2016</i>	Tritato in campo; contribuisce in parte ad aumentare la sostanza organica del suolo
	36	16	Fuji	<i>Dati interni</i>	
	39	18	Gala	<i>Scandellari et al., 2010</i>	
	70	32	Nicoter	<i>Dati interni</i>	
Foglie abscisse	36	16	Gala	<i>Scandellari et al., 2010</i>	Decomposte in campo; contribuiscono in parte ad aumentare la sostanza organica del suolo
	57	26	Fuji	<i>Zanotelli et al., 2015</i>	
	44	20	Nicoter	<i>Dati interni (proiezioni basate su dati annuali)</i>	
Frutti	185-212	83-95		<i>Proiezioni basate sulle rese medie</i>	Asportati dopo la raccolta
Sfalcio del prato	29	13	Fuji	<i>Zanotelli et al., 2015</i>	Decomposto in campo; contribuisce in parte ad aumentare la sostanza organica del suolo
Radici fini	47	21	Fuji	<i>Zanotelli et al., 2015</i>	Decomposte in campo; contribuiscono in parte ad aumentare la sostanza organica del suolo

campagna di soci delle cooperative altoatesine Vip e Vog, rappresentativi di una superficie di oltre 5500 ha di meleto. La

maggior parte dei dati si riferisce al periodo 2013-2019, mentre quelli relativi ai concimi e principi attivi fanno riferimento

**FIG. 4 - STIMA DELLE EMISSIONI TOTALI DA PARTE UN ETTARO DI SUPERFICIE DEDICATA A MELO (T CO<sub>2</sub>-EQ HA<sup>-1</sup> ANNO<sup>-1</sup>) CONSIDERANDO L'INTERO CICLO DI VITA PARI A 24 ANNI**



al solo 2019. Sono stati registrati i dati relativi alle operazioni colturali e ai materiali impiegati sia in aziende a produzione integrata sia in quelle biologiche, in cui erano presenti nuovi impianti, espianti e meleti di diverse età.

L'incidenza relativa delle operazioni di impianto ed espianto è riportata in *figura 4*

e fa riferimento ad un meleto con un ciclo della durata di 24 anni. Le emissioni maggiori nella fase di impianto sono legate ai pali di cemento (che si considerano comunque utilizzabili su due cicli produttivi), ai fili di ferro e alle reti antigrandine.

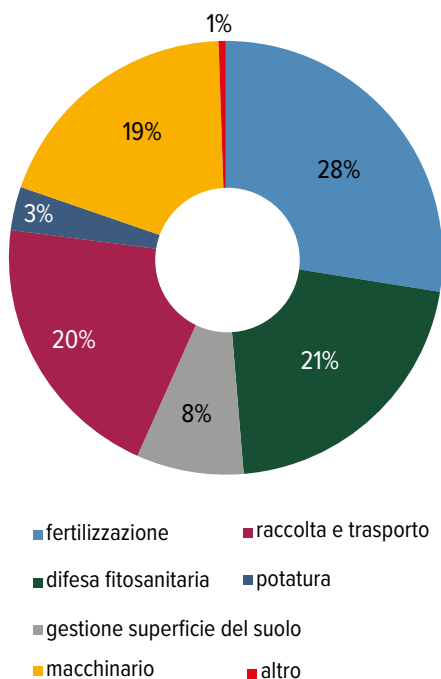
L'espianto invece incide in misura nettamente minore rispetto all'impianto (12%),

trattandosi quasi esclusivamente di gasolio per l'esecuzione dei lavori. Nella gestione ordinaria del frutteto secondo protocollo di agricoltura integrata (*figura 5*), quattro sono invece le operazioni colturali che incidono maggiormente sull'impronta carbonica: la concimazione (28%), i trattamenti antiparassitari (21%), la raccolta e il trasporto delle mele al magazzino (20%) e l'ammortamento dei macchinari (19%). Il riferimento delle emissioni all'unità di prodotto (il kg di mela), è importante perché permette di comparare l'impatto della mela ottenuta in diverse zone di produzione o con diversi modelli produttivi.

Diversi studi, condotti anche dal nostro gruppo di ricerca, hanno permesso di collocare l'impronta carbonica della mela del Trentino-Alto Adige in un intervallo compreso tra i 40 e i 60 g CO<sub>2</sub> per kg di mele. Anche il protocollo di produzione influisce sull'impronta carbonica finale della mela e in particolare sull'incidenza percentuale di determinate pratiche rispetto ad altre. L'utilizzo di fertilizzanti chimici di sintesi spesso impiegati nell'agricoltura integra-

Segnaposto  
120.0mm x  
185.0mm

**FIG. 5 - SUDDIVISIONE PERCENTUALE DELLE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub>-EQ NELLA FASE DI GESTIONE, IN BASE AL TIPO DI OPERAZIONE COLTURALE**



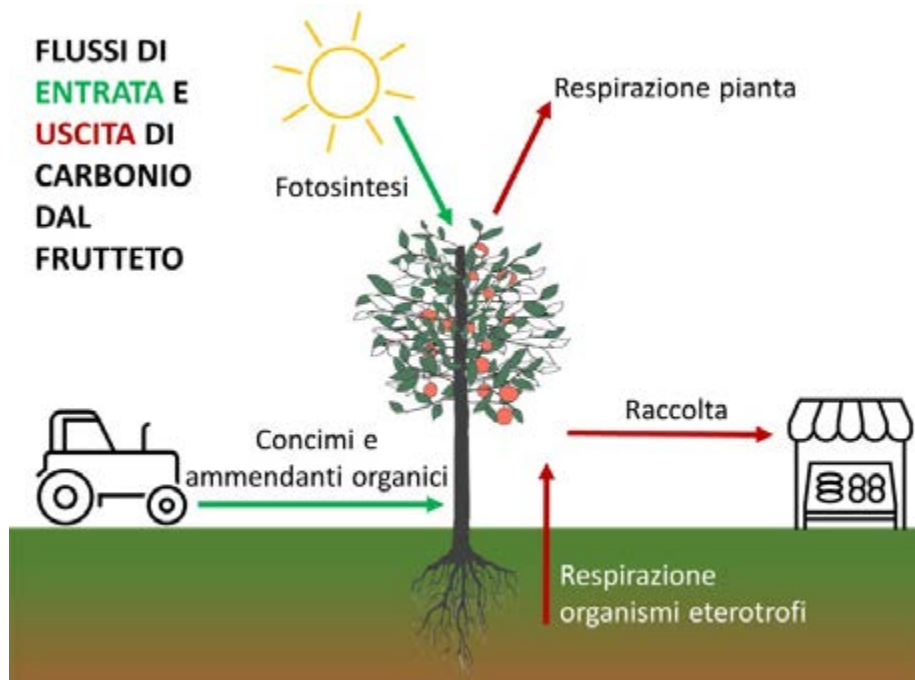
ta produce un maggiore impatto in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto all'uso di fertilizzanti organici. D'altro canto, la gestione del suolo con interventi meccanici e la maggior frequenza di interventi anti-parassitari necessari in una conduzione secondo metodo biologico, causano una maggiore impronta carbonica di queste fasi rispetto alla produzione integrata. L'agricoltura biologica, sembra tuttavia attualmente penalizzata dalle minori produzioni ettariali (tabella 2).

**MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI NEL MELETO**

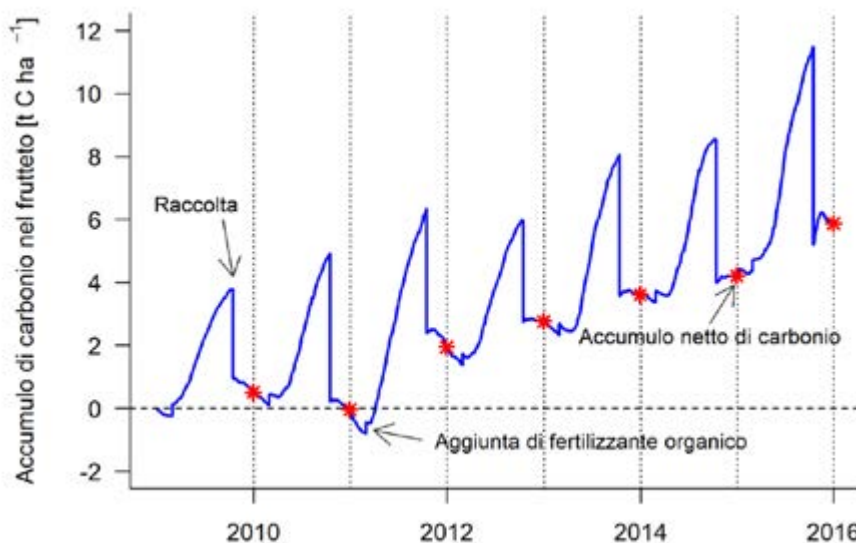
Una particolarità legata al calcolo dell'impronta carbonica dei prodotti agricoli, tra cui la frutta, risiede nel fatto che la fotosintesi delle piante, da un lato, e la respirazione sia delle piante che degli organismi del suolo, dall'altro, determinano elevati flussi di CO<sub>2</sub> sia in entrata che in uscita dall'agro-ecosistema, che quindi si vanno a sommare o a sottrarre all'impronta carbonica derivante dalla gestione del meleto (figura 6).

Una ricerca condotta dal nostro gruppo di ricerca e co-finanziata da Assomela, ha permesso di quantificare questi flussi e determinare su base annuale l'ammontare del carbonio che rimane nel sistema per

**FIG. 6 - PRINCIPALI FLUSSI DI CARBONIO IN ENTRATA ED IN USCITA DAL FRUTTETO**



**FIG. 7 - DINAMICA DI ACCUMULO DEL CARBONIO DURANTE 7 ANNI DI MONITORAGGIO CONSECUTIVO DI UN MELETO IN PRODUZIONE (CV. FUJI) SITUATO IN VALLE DELL'ADIGE (CALDARO, BZ)**



Nota: i flussi legati alle attività biologiche del meleto (fotosintesi e respirazione) sono stati misurati con la tecnica micro-meteorologica "eddy covariance". Fertilizzanti organici e asportazioni legate alla raccolta sono stati rilevati in campo. Nota: figura adattata da Zanotelli et al., 2018.

effetto dell'attività fotosintetica, dopo che sono state considerati i flussi di carbonio che avvengono sia in seguito ai processi respirativi che alla raccolta della frutta: al termine del 7° anno di monitoraggio, il frutteto aveva incorporato 5.7 t C ha<sup>-1</sup>, pari a circa 3 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (figura 7).

Per capire la natura e la durata di questo

sequestro di carbonio è doveroso chiedersi dove è stato stoccato il carbonio? Studi di allocazione della biomassa ci aiutano a rispondere a questa domanda.

Come si può capire da figura 7, gli scambi di carbonio a livello di ecosistema sono molto ampi, e quello che rimane è solo una minima parte. Alcuni degli organi che cre-

Segnaposto  
280.0mm x  
210.0mm

**TAB. 4 - POSSIBILI SOLUZIONI PER RIDURRE LE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub> IN ATMOSFERA (VERDE) E AUMENTARE L'ASSORBIMENTO/STOCCAGGIO DI CO<sub>2</sub> DI LUNGO PERIODO NEL SISTEMA FRUTTETO (GIALLO)**

POSSIBILI AZIONI/PROPOSTE	Pro	Contro
Uso fertilizzanti organici	Minori emissioni legate alla sintesi del fertilizzante; economia circolare	Reperibilità; efficacia; costo di distribuzione
Utilizzo varietà tolleranti a patogeni e parassiti	Riduzioni interventi fitosanitari ed impatti correlati	Risposta del mercato alle varietà disponibili
Limitazione alle lavorazioni meccaniche del suolo	Riduzione emissioni da macchinari; riduzione flussi di respirazione del suolo	Riorganizzazione della gestione colturale; alternative non sempre possibili
Utilizzo mezzi a trazione elettrica	Riduzione consumi combustibili fossili (emissioni dirette)	Ridotta disponibilità
Utilizzo di materiali meno impattanti per l'impianto (legno, fibre naturali?)	Minore contributo dei materiali alla C-footprint; possibile riciclo dei materiali	Costo, deterioramento, limitata disponibilità
Inclusione di animali da allevamento nel frutteto (Agroforestry)	Riduzione emissioni da pratiche meccaniche/diserbo	Compatibilità animali-operazioni colturali, limitazioni climatiche; costi di gestione
Sovescio	Aumento sostanza organica del suolo	Costi economico/ambientali legati all'implementazione della pratica
Zone di compensazione ecologica	Fissazione di C nella biomassa; aumento biodiversità	Tara produttiva; costi gestionali
Stoccaggio/Interramento dei residui dopo espianto (tronco, radici)	C rimane nell'agroecosistema; aumento di sostanza organica nel suolo	Costo lavorazioni meccaniche (emissioni); possibili problemi fitosanitari; diminuzione fertilità del suolo
Ammendanti organici (biochar da residui di potatura o espianto)	Produzione di energia da fonte rinnovabile; aumento C organico nel suolo; C ritorna nell'agroecosistema	Costo legato al recupero del materiale vegetale; emissioni durante la produzione di biochar

scono durante la stagione o sono asportati (es. i frutti) oppure ritornano al suolo ed alimentano il ciclo del detrito (es. foglie, legno di potatura, radici fini), ritornando



in parte in atmosfera, con tempistiche diverse, sotto forma di CO<sub>2</sub> emessa dalla respirazione. La frazione di carbonio che rimane per più anni è quella che determina l'aumento di dimensioni delle strutture legnose permanenti del frutteto (per circa l'85%), mentre una frazione minore si stima possa corrispondere ad un aumento di sostanza organica stabile nel suolo. Per avere un'idea più precisa del contenuto di carbonio di questi organi, rimandiamo alla *tabella 3*.

In sintesi, i flussi annuali di CO<sub>2</sub> derivanti dalla fotosintesi e dalla respirazione degli organismi nel meleto (*figura 7*) consentono di compensare gran parte delle emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dalla sua gestione (*tabella 2*). Tuttavia, una frazione significativa del C fissato corrisponde al C accumulato nel fusto e nelle radici grosse. È pertanto evidente che dal loro destino finale dipende l'abilità del sistema di mitigare le emissioni di CO<sub>2</sub>; se fusto e radici venissero sottoposti a combustione, il C fissato ritornerebbe subito in atmosfera.

#### **ALCUNE PROPOSTE PER RENDERE LA MELA C-NEUTRALE**

Il continuo aumento delle emissioni di gas serra ed i suoi effetti sul clima, sempre più evidenti per intensità e frequenza, impongono una riconversione rapida dell'intero sistema produttivo per annullare le emissioni nette di gas serra nel minor tempo

possibile e comunque entro il 2050.

Il settore agricolo e la frutticoltura in particolare hanno la possibilità di raggiungere questo obiettivo agendo su due fronti: da un lato riducendo le emissioni che si verificano durante il ciclo produttivo, dall'altro incrementando la capacità del frutteto di sottrarre CO<sub>2</sub> dall'atmosfera e/o stoccarlo in maniera stabile nei diversi comparti dell'agroecosistema.

In *tabella 4* sono riportate alcune ipotesi pratico-applicative che possono, in linea teorica, concorrere al miglioramento delle performances della produzione di frutta in termini di emissioni di gas climalteranti. Sarà compito della ricerca caratterizzare quantitativamente il contributo di ciascuna di esse e la loro effettiva applicabilità.

Trattandosi di pratiche che vanno a modificare l'attuale assetto produttivo e/o ad introdurre nuove operazioni nel ciclo produttivo, è evidente che il successo di una loro applicazione su larga scala deve fare necessariamente i conti anche con la sostenibilità economica dell'intervento. Laddove, quindi, i cambiamenti introdotti si dimostrino peggiorativi sul fronte del tornaconto economico per l'impresa, sarà opportuno prevedere idonei strumenti atti a compensare i mancati introiti, in modo che il raggiungimento degli ambiziosi traguardi sul fronte ambientale possa avvenire senza pregiudicare il futuro delle aziende frutticole. ●

Segnaposto  
280.0mm x  
210.0mm