

■ RISULTATI DI STUDI IN SERRE NEL SUD ITALIA E IN SPAGNA

# Rese maggiori a costi contenuti con la concimazione carbonica

La concimazione carbonica, che utilizza CO<sub>2</sub> liquida, può permettere incrementi pari all'8% della produzione di pomodoro da mensa (circa 0,5 kg/m<sup>2</sup>/mese) ed è economicamente vantaggiosa per dimensioni aziendali superiori a 1 ha

di **L. Incrocci, C. Stanghellini, B. Dimauro, A. Pardossi**

**L**a fotosintesi è una reazione chimica fondamentale per la crescita della pianta e consiste nella produzione di zuccheri utilizzando l'anidride carbonica, assorbita dall'aria attraverso gli stomi, e l'acqua, presente nella foglia. La fotosintesi è influenzata principalmente dall'intensità luminosa e dalla concentrazione di CO<sub>2</sub> e secondariamente dalla temperatura e dallo stato di turgore della pianta. La risposta della fotosintesi all'intensità luminosa e alla concentrazione di CO<sub>2</sub> ambientale è di tipo saturante e cioè incrementa all'aumentare del fattore fino a che un'altro non diventa limitante (legge del minimo).

In serra gli scambi fra l'aria interna ed esterna sono più o meno ridotti in funzione dei valori interni di temperatura e

umidità desiderati rispetto a quelli esterni. Il tasso di ventilazione di una serra si può esprimere come numero di ricambi d'aria/ora indicando con ciò il rapporto fra numero di metri cubi di aria entrata in serra in un'ora e il volume totale della stessa.

Proprio a causa dei ridotti scambi d'aria con l'esterno, la CO<sub>2</sub> consumata in serra durante il periodo luminoso può essere inferiore a quella reintegrata con il tasso di ventilazione, causando un abbassamento della sua concentrazione.

Il grafico 1 mostra come l'incremento percentuale di fotosintesi netta in pomodoro, causato da un arricchimento artificiale (concimazione carbonica) di 100 vpm (volume per milione), sia profondamente influenzato dalla concentrazione iniziale di CO<sub>2</sub>.

Nei Paesi del Nord Europa la concimazione carbonica è una pratica ampiamente utilizzata da più di 15 anni, mentre nei

Paesi del bacino del Mediterraneo è a oggi poco diffusa. Il motivo dello scarso interesse per la concimazione carbonica è soprattutto legato alla convinzione, diffusa fra i nostri agricoltori e tecnici, che nelle serre italiane, caratterizzate da scarsa tenuta e ventilate per molti mesi dell'anno, l'applicazione di questa tecnica non sia economicamente conveniente per le possibili elevate perdite di CO<sub>2</sub>.

In realtà alcuni autori (Stanghellini *et al.*, 2008), dopo lo studio dei dati climatici di una serra italiana in provincia di Ragusa e di una serra spagnola ad Almeria, hanno dimostrato che ci sono diversi periodi nell'anno in cui queste serre, pur essendo parzialmente ventilate, hanno una concentrazione di CO<sub>2</sub> inferiore fino a 100 vpm rispetto a quella esterna. Questa concentrazione sub-ottimale causa perdite produttive medie intorno al 10%, che potrebbero essere inibite utilizzando una concimazione carbonica «soft», il cui obiettivo sia solo quello di evitare situazioni di concentrazioni inferiori a quelle esterne (380 vpm). In questo caso, infatti, le perdite di CO<sub>2</sub> sono nulle, in quanto applicando il bilancio di massa è facile dimostrare che le perdite sono possibili solo se il flusso di aria che esce dalla serra ha concentrazioni di CO<sub>2</sub> superiori rispetto al flusso di aria che entra dall'esterno.

## La concimazione carbonica

La tecnica della concimazione carbonica si basa sull'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> all'interno della serra mediante l'immissione di anidride carbonica prodotta direttamente in azienda (con bruciatori posizionati direttamente all'interno della serra o in caldaie centralizzate) o acquistata esternamente sotto forma liquida.

## CO<sub>2</sub> prodotta in azienda...

L'impiego di CO<sub>2</sub> prodotta all'interno della stessa azienda è possibile solo con l'utilizzo di alcuni combustibili fossili

**Foto 1** - Bancale di coltivazione di una serra olandese con pomodoro. Si notino la linea di distribuzione dell'anidride carbonica (tubo color verde), posizionato sotto il bancale, e i fusti dei pomodori arrotolati in testata



(ad esempio oli raffinati, gas metano o propano, kerosene bianco). La produzione di CO<sub>2</sub> mediante l'uso di bruciatori posti all'interno dell'ambiente di coltivazione è una tecnica quasi completamente inutilizzata in quanto, pur avendo il vantaggio di costi abbastanza contenuti, presenta importanti aspetti negativi:

- spesso si verificano combustioni incomplete con produzioni di gas fitotossici (monossido di carbonio ed etilene);
- tutto il vapore acqueo sprigionatosi dalla combustione rimane in serra, con problemi di gestione dell'umidità relativa;
- la produzione di CO<sub>2</sub> è condizionata dalla necessità di riscaldare.

Infatti, mentre la fotosintesi avviene esclusivamente di giorno, il calore serve in gran parte durante le ore notturne. Questi due vincoli sono superati grazie all'uso di caldaie centralizzate esterne alle serre stesse, abbinate a serbatoi termici per

l'immagazzinamento del calore prodotto in esubero durante le ore diurne. In questo sistema l'anidride carbonica e il calore vengono inseriti separatamente nella serra e regolati indipendentemente l'uno dall'altro, anche se il dimensionamento del serbatoio termico e la sua gestione nei mesi estivi possono essere limitanti.

Attualmente questo ultimo tipo di impianto per la concimazione carbonica è molto diffuso in Olanda e nei Paesi nord-europei, caratterizzati da una serricoltura ad alta tecnologia. In pratica la CO<sub>2</sub> è un sottoprodotto del riscaldamento ed esistono in azienda caldaie funzionanti a gas metano, che, abbinate a un condensatore dei fumi, riescono a recuperare la CO<sub>2</sub>, eliminando al tempo stesso buona parte del vapore acqueo prodotto con la combustione e aumentando l'efficienza del sistema di riscaldamento. Dalla combustione di 1 m<sup>3</sup> di gas me-

tano si ottengono 1,84 kg di anidride carbonica e 1,31 kg di acqua. In Olanda il tasso medio di rifornimento di CO<sub>2</sub> è di 18 g/m<sup>2</sup>/ora, pari a un consumo di gas metano di 100 m<sup>3</sup>/ha/ora. Il

flusso è controllato in maniera da garantire concentrazioni intorno a 1.000 vpm a serra chiusa, che scendono ai circa 380-400 vpm (simile alla concentrazione esterna) con

le finestrate completamente aperte. L'anidride carbonica viene spinta attraverso un ventilatore nelle linee di distribuzione presenti sotto i bancali in serra (foto I).

La CO<sub>2</sub> ottenuta come sottoprodotto del riscaldamento ha un costo stimato oscillante fra 130 e 150 euro/t, assai inferiore, fino a qualche anno fa, al costo dell'anidride carbonica liquida (180-200 euro/t). Recentemente il prezzo dell'anidride carbonica liquida sta diminuendo a causa della maggiore offerta di CO<sub>2</sub> a fronte dell'applicazione della direttiva europea 77/2003, la quale sta obbligando le industrie chimiche e le raffinerie ad abbattere le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'ambiente.

### ...e fuori azienda

La produzione di CO<sub>2</sub> da combustione non trova giustificazione economica nei Paesi del bacino del Mediterraneo, dove la richiesta di energia per il riscaldamento è minima o nulla; quindi la concimazione carbonica deve essere fatta con CO<sub>2</sub> prodotta esternamente all'azienda (CO<sub>2</sub> liquida).

Le parti basilari di un sistema per la distribuzione della CO<sub>2</sub> liquida in serra sono illustrate nella figura 1.

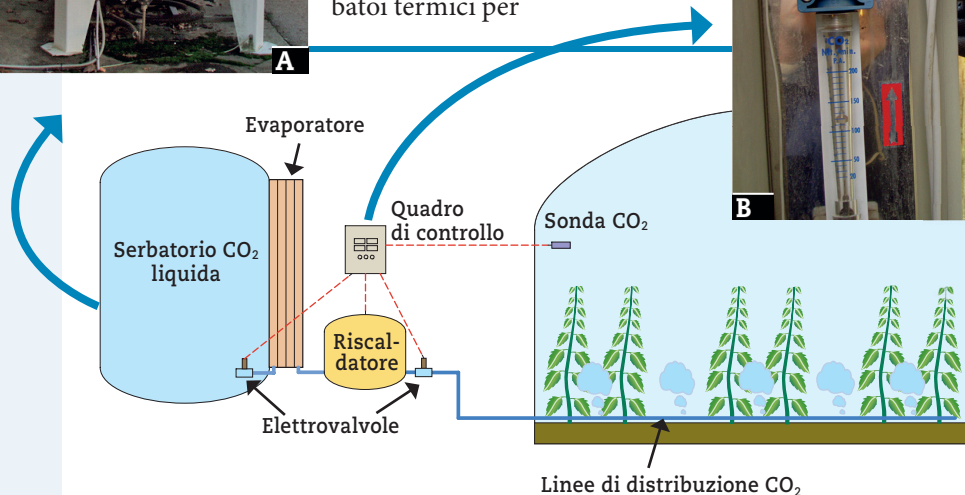
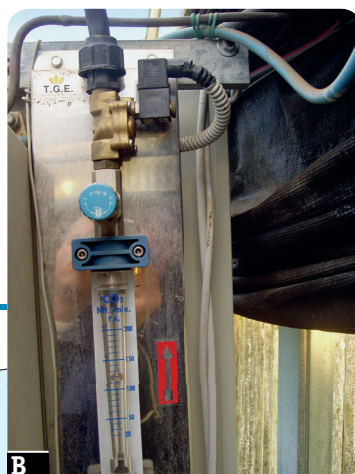
### Costi e vantaggi

Concentrazioni di CO<sub>2</sub> in serra di 800-1.000 vpm sono possibili solo con serre non ventilate e con una buona tenuta, in quanto la ventilazione provoca perdite di CO<sub>2</sub> abbastanza consistenti.

Ad esempio, mantenere una concentrazione di 1.000 vpm in una serra con 15 ricambi d'aria/ora può far perdere fino a 0,5 kg di CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/giorno (grafico 2).

È chiaro che la concimazione carbonica nelle serre del bacino del Mediterraneo deve avere come scopo principale quello

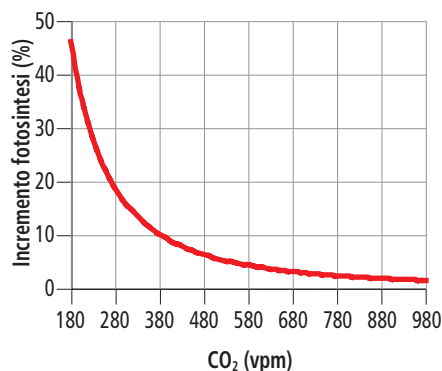
**Il costo fisso minimo per un impianto di concimazione carbonica è di 7.200 euro/anno**



**FIGURA 1 - Schema della concimazione carbonica utilizzando CO<sub>2</sub> liquida**

La CO<sub>2</sub> viene trasportata tramite carribotte in azienda, dove viene stoccata in contenitori da 2 a 5 t a seconda della superficie aziendale interessata (foto A). La CO<sub>2</sub> liquida, attraverso un evaporatore, si gassifica e successivamente, per evitare i fenomeni di condensazione lungo le linee di distribuzione, si provvede al suo riscaldamento a temperatura ambiente. Un quadro di controllo, in base alla concentrazione di CO<sub>2</sub> rilevata da un sensore (di tipo NDIR, Non-dispersive infrared detector, con costo unitario intorno a 250 euro e autocalibrante) posto in ogni settore e al suo relativo set-point di concentrazione desiderato dall'utente, regola, attraverso un sistema di elettrovalvole e flussimetri, l'immissione della CO<sub>2</sub> nella serra (foto B). La distribuzione al suo interno è poi effettuata attraverso tubi di polietilene a bassa densità con fori di diametro pari a 0,8-1 mm, posti a distanza variabile da 1 m a 50 cm in modo da rendere uniforme la portata di gas lungo tutta la linea.





Simulazione effettuata utilizzando il modello proposto da Nederhoff (1994).

**GRAFICO 1 - Incremento della fotosintesi netta in pomodoro all'innalzamento di 100 vpm della concentrazione di CO<sub>2</sub> interna**

L'incremento percentuale di fotosintesi netta in pomodoro causato da un arricchimento artificiale di CO<sub>2</sub> pari a 100 vpm (volume per milione), è profondamente influenzato dalla concentrazione iniziale di CO<sub>2</sub>.

di evitare le concentrazioni sub-ottimali e incrementare la concentrazione in molte ore delle giornate di sole, relativamente fredde, in cui la necessità di ventilare la serra è scarsa. La possibilità di avere un impianto di concimazione carbonica permetterebbe però di utilizzare questa tecnica anche come parziale surrogato del riscaldamento. Infatti, spesso le serre vengono aperte proprio per evitare concentrazioni troppo basse di anidride carbonica all'interno, anche se la temperatura interna è subottimale rispetto a quella programmata: impiegando un sistema di concimazione carbonica, le serre potrebbero essere meno ventilate (compatibilmente con i livelli di umidità relativa interni) ottenendo un'innalzamento della temperatura media diurna (effetto serra) di 2-3 gradi.

Utilizzando l'esempio del pomodoro da mensa, ciò produrrebbe un incremento di produzione dell'8% circa (circa 0,5 kg/m<sup>2</sup>/mese). Per ottenere questo incremento produttivo utilizzando il riscaldamento, sarebbe necessario consumare circa 0,52 kg di propano/m<sup>2</sup>/mese pari a un costo di 0,40 euro/m<sup>2</sup>/mese, che attualmente, con i prezzi di mercato del pomodoro, non è conveniente per l'agricoltore.

La convenienza a ottenere lo stesso

incremento produttivo con l'uso della concimazione carbonica varia con le dimensioni aziendali, essendo necessario un costo fisso minimo per l'attrezzatura di circa 7.200 euro/anno. Ipotizzando un utilizzo di queste per circa 8 mesi l'anno, il costo mensile unitario oscilla fra 0,17 (per 0,5 ha) e 0,03 euro/m<sup>2</sup> (per 4 ha). A questo poi occorre sommare il costo della CO<sub>2</sub>, che in caso di assenza di perdite, per ottenere un incremento produttivo di 0,5 kg di pomodoro al mese, può essere stimato pari a 0,03 euro/m<sup>2</sup>/mese (con un consumo di CO<sub>2</sub> di 100 g/m<sup>2</sup>/mese) (tabella 1). In questo caso la convenienza all'uso della CO<sub>2</sub> si ha sicuramente in serre con dimensioni maggiori di 1 ha.

### Quando conviene concimare con la CO<sub>2</sub>?

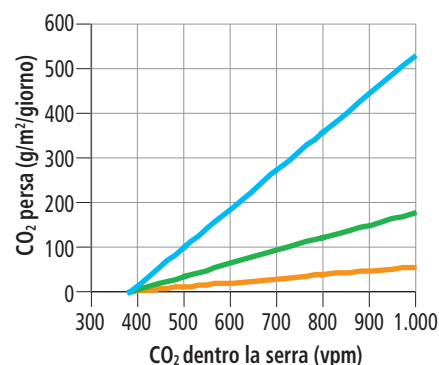
Studi sulla dinamica della concentrazione carbonica nelle serre del bacino del Mediterraneo hanno dimostrato che la stessa è in concentrazioni subottimali in diversi periodi dell'anno. L'applicazione della concimazione carbonica tramite utilizzo di CO<sub>2</sub> liquida effettuata allo scopo di garantire concentrazioni interne di anidride carbonica pari a quelle esterne è di sicuro economicamente vantaggioso per dimensioni

**TABELLA 1 - Costi fissi e variabili unitari mensili della concimazione carbonica**

Tipologia di costo	Costi annui (euro/m <sup>2</sup> )	Dimensione serra (ha)		
		4	1	0,5
<b>Costi fissi (euro/m<sup>2</sup>)</b>				
Noleggio attrezzatura	3.600	0,011	0,045	0,090
Diritto di fornitura	1.200	0,004	0,015	0,030
Manutenzione impianto	2.400	0,008	0,030	0,060
<b>Costi fissi totali (euro/m<sup>2</sup>) (A)</b>		<b>0,023</b>	<b>0,090</b>	<b>0,180</b>
<b>Costi variabili (euro/m<sup>2</sup>)</b>				
Costo CO <sub>2</sub> compresi diritti di trasporto (0,2 kg/m <sup>2</sup> /mese) (B)		0,044	0,044	0,044
<b>Costo totale concimazione CO<sub>2</sub> (euro/m<sup>2</sup>) (A+B)</b>		<b>0,067</b>	<b>0,134</b>	<b>0,224</b>
<b>Incremento produttivo di 0,5 kg/m<sup>2</sup>/mese (euro/m<sup>2</sup>)</b>		<b>0,250</b>	<b>0,250</b>	<b>0,250</b>

La stima è stata effettuata ipotizzando un utilizzo della concimazione carbonica per un periodo di 8 mesi all'anno con un consumo mensile prudenziale di CO<sub>2</sub> pari a 0,2 kg/m<sup>2</sup>. L'incremento di produzione (0,25 euro/m<sup>2</sup>/mese) è stato calcolato in circa 0,5 kg/mese, con un prezzo al produttore di 0,5 euro/kg. Tutti i prezzi si intendono medi e senza Iva. L'esempio è dimensionato su un'azienda di pomodoro, con noleggio dell'attrezzatura necessaria.

La convenienza all'uso di CO<sub>2</sub> liquida si ha in serre di dimensioni superiori all'ettaro: infatti nel caso di una serra di dimensioni di 0,5 ha l'incremento produttivo ha un valore quasi pari al costo totale della concimazione.



Ricambi d'aria (n./ora): 1,5 (arancina) 5 (verde) 15 (blu)

Per la simulazione si è considerato un periodo di concimazione carbonica pari a 8 ore/giorno.

**GRAFICO 2 - Perdita di CO<sub>2</sub> giornaliera in una serra in base alla ventilazione e alla concentrazione di CO<sub>2</sub> interna**

Mantenere una concentrazione di 1.000 vpm in una serra con 15 ricambi d'aria all'ora può far perdere fino a 0,5 kg di CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/giorno.

aziendali superiori a 1 ha. Per superfici inferiori, il costo diretto della CO<sub>2</sub> è sicuramente ripagato dall'incremento produttivo indotto, mentre perplessità rimangono sulla possibilità di ammortizzare i costi fissi. Tuttavia, nel caso si disponga già di un computer climatico, il costo fisso necessario per effettuare la concimazione carbonica si riduce fortemente, in quanto questo, interfacciato a un sensore NDIR per la CO<sub>2</sub>, può pilotare direttamente l'immissione di questo gas nella serra, in accordo con il grado di apertura delle finestrate, incrementando molto l'efficienza della tecnica.

Luca Incrocci  
Alberto Pardossi

Dipartimento biologia delle piante agrarie

Università di Pisa  
incrocci@agr.unipi.it

Cecilia Stanghellini

Greenhouse horticulture group  
Università di Wageningen

Wageningen (Olanda)

Biagio Dimauro

Assessorato agricoltura e foreste  
Regione Siciliana

UOS 36-Centro colture protette  
Comiso (Ragusa)



Per consultare la bibliografia:  
[www.informatoreagrario.it/rdLia/08ia21\\_3448\\_web](http://www.informatoreagrario.it/rdLia/08ia21_3448_web)