

Vegetazione ed effetto serra

Dalla foglia all'ecosistema: la scala di analisi modifica la risposta all'aumento di CO₂?

Giacomo Grassi *

Citation: Grassi G, 2004. Dalla foglia all'ecosistema: la scala di analisi modifica la risposta all'aumento di CO₂? Forest@ 1 (1): 13-15. [online] URL: <http://www.sisef.it/>

Premessa

Negli ultimi 250 anni la CO₂ atmosferica è aumentata del 32%, passando da 280 a 370 μmol mol⁻¹, e metà di questo aumento è avvenuto negli ultimi 40 anni. Per il 2100, a seconda delle assunzioni sulla crescita economica, i progressi tecnologici ed il sequestro del carbonio attraverso i processi biologici, si prevede un livello di CO₂ compreso tra 540 e 970 μmol mol⁻¹ (Houghton et al. 2001). Con questo scenario, è evidente il grandissimo interesse degli scienziati – soprattutto fisiologi vegetali ed ecologi – nel prevedere le risposte delle piante e degli ecosistemi all'aumento della CO₂ atmosferica e alle modificazioni climatiche (temperatura e regimi pluviometrici) ad esso associate. Per quanto riguarda la CO₂, un'ampia *review* recentemente uscita sulla rivista *New Phytologist* (Nowak et al. 2004) analizza in dettaglio i risultati ottenuti con i sistemi "FACE" (Free-Air-CO₂-Enrichment). Questa tecnologia rappresenta al momento la migliore soluzione per manipolare, in condizioni naturali, la concentrazione della CO₂ atmosferica a livello di ecosistema.

Dalla cuvette ai sistemi FACE

Sebbene la risposta positiva della fotosintesi alla CO₂ sia nota da tempo, ed in certi casi sia anche stata sfruttata (ad es. nelle serre), solo negli ultimi 30 anni si è iniziato ad analizzarne in modo approfondito i fondamenti fisiologici. Fin dalle misure effettuate con *cuvette* su singole foglie apparve chiaro che un aumento di CO₂ aumentava i tassi di fotosintesi e diminuiva la conduttanza stomatica, con l'effetto complessivo di aumentare l'efficienza d'uso dell'acqua. Il problema era capire come questa risposta interagisse con altri fattori limitanti (soprattutto azoto ed acqua) e, soprattutto, se si potesse confermare anche a livello di intera pianta o di ecosistema. Dalle prime osservazioni sperimentali su semenzali in ambiente controllato vennero formulate ipotesi - ad e-

sempio che la risposta degli ecosistemi all'aumento di CO₂ sia maggiore laddove l'acqua è limitante ed i nutrienti abbondanti (Strain e Bazzaz 1983) - che stimolarono una vastissima ricerca sperimentale. Grazie al progressivo interesse sull'argomento ed ai significativi miglioramenti strumentali, all'inizio degli anni '90 si arrivò - con le "open top chambers" - a testare la risposta all'aumento di CO₂ su interi alberi nel loro ambiente naturale. Questi studi, pur rappresentando un decisivo passo in avanti rispetto alle precedenti ricerche su semenzali in ambiente controllato (vedi Saxe et al. 1998, Medlyn et al. 1999, Norby et al. 1999), soffrirono però ancora di alcune importanti limitazioni. Tra queste, il fatto che gli alberi esaminati erano di solito nella fase di crescita esponenziale, e che le "camere" nelle quali crescevano alteravano in modo significativo il microclima. Insomma, estrapolare ad un intero popolamento i risultati di questi studi era difficile, e divenne sempre più chiaro che un approccio a livello di ecosistema era indispensabile per effettuare realistiche previsioni sulla risposta degli ecosistemi ai cambiamenti climatici (Körner 2000). Gli ulteriori progressi scientifici e tecnologici permisero di arrivare, alla fine degli anni '90 (Hendrey et al. 1999, Miglietta et al. 2001), ai primi sistemi FACE capaci di fornire - in modo sufficientemente continuo ed uniforme e con minimi disturbi al microclima ed al suolo - CO₂ elevata (intorno ai 550 μmol mol⁻¹) a porzioni relativamente grandi (aree di 20-30 m di diametro) di ecosistemi erbacei e forestali intatti.

Attualmente, in tutto il mondo, ci sono 24 sistemi FACE operanti su ecosistemi naturali (la maggior parte è in Europa). La *review* di Nowak et al. (2004), di cui di seguito si riportano sinteticamente i risultati, analizza i dati di 16 di questi siti (dei quali 5 sono foreste temperate). L'obiettivo è di verificare se i risultati dei sistemi FACE confermano le precedenti ipotesi sulla risposta degli ecosistemi all'aumento di

CO₂. In particolare, determinando i rapporti E/A, cioè tra la risposta a CO₂ elevata (E, pari a circa 550 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e quella a CO₂ ambiente (A, 370 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), sono stati analizzati gli effetti della CO₂ sull'assimilazione e la produttività primaria, nonché l'influenza dell'azoto e dell'acqua e le differenze di risposta tra i gruppi funzionali.

La risposta dell'ecosistema all'aumento di CO₂

Per analizzare quanto la scala di analisi modifichi la risposta all'aumento di CO₂, partiamo dal processo che è alla base della crescita: l'assimilazione. Di fronte ad un aumento di CO₂ di circa il 50%, nel breve periodo (minuti-giorni) il rapporto E/A per l'assimilazione delle specie arboree è di circa 1.50 (cioè, l'assimilazione aumenta in modo direttamente proporzionale alla CO₂). La prima domanda da porsi è se questa risposta si mantiene anche nel lungo periodo. I risultati dopo 2-7 anni (a seconda del sito FACE esaminato) indicano un rapporto E/A di 1.38 per le specie arboree e di 1.26 per tutte le specie esaminate (range 1 - 1.60). La discrepanza tra dati di breve e di lungo periodo è nella maggior parte dei casi riconducibile ad un'acclimatazione dell'apparato fotosintetico (*down-regulation*, Sage 1994), cioè ad un calo nel tempo delle capacità fotosintetiche massime (V_{cmax}), quasi sempre associato ad una diminuzione di azoto fogliare. Ma non in tutte le specie, e non in tutte le condizioni, questo fenomeno è risultato significativo. Le specie arboree, ad esempio, mostrano in genere una minore *down-regulation* di quelle erbacee. Inoltre, il forte legame tra fotosintesi ed azoto fogliare fa sì che l'effetto positivo di elevate CO₂ sia enfatizzato dalla fertilizzazione (o, in ambienti naturali, dalle deposizioni azotate) e che la *down-regulation* risulti evidente soprattutto in condizioni di scarsità di nutrienti – supportando quindi l'ipotesi di Strain e Bazzaz (1983). Da risultati dei sistemi FACE, invece, non emergono elementi a favore dell'ipotesi che la risposta alla CO₂ sia maggiore in ambienti siccitosi (Strain e Bazzaz 1983), ed anzi per gli ecosistemi forestali sembra emergere un andamento opposto. Una seconda domanda è se questo aumento di assimilazione, che in parte si mantiene nel lungo periodo, si traduce in un aumento di produttività. Il rapporto E/A per la produttività primaria netta è risultato massimo per gli ecosistemi forestali (1.20) e minimo per le praterie (1.07), con una media di 1.12. E' interessante inoltre notare come nel tempo questo rapporto si mantiene circa costante per le foreste mentre tende ad 1 per le praterie, e che nella maggior parte degli ecosistemi l'in-

cremento maggiore si è osservato per la componente ipogea.

Nel complesso, confrontando i risultati delle ricerche degli ultimi 20 anni – da quelle sui semenzali in ambiente controllato, alle *open top chambers* fino ai sistemi FACE – emerge che gran parte delle prime osservazioni risultano confermate almeno dal punto di vista qualitativo (Norby et al. 1999, Nowak et al. 2004). Dal punto di vista quantitativo invece, pur con forti variazioni tra specie ed ecosistemi, l'effetto positivo dell'aumento di CO₂ sulla crescita tende a ridursi mano a mano che l'analisi si sposta verso scale spaziali e temporali più ampie.

Quale futuro per le ricerche su ecosistemi e cambiamenti climatici?

I cambiamenti climatici in atto rappresentano modificazioni complesse ed in certi casi difficilmente prevedibili dei principali fattori che regolano i processi biologici. Se l'obiettivo è di prevedere la risposta degli ecosistemi ai cambiamenti in atto, risulta evidente che analizzare l'effetto della CO₂ non è sufficiente. Molti studi sono stati o sono attualmente condotti anche su altri fattori, quali la temperatura (si veda la review di Rustad et al. 2001) o l'acqua (ad es. il Progetto Europeo MIND, che ha un sito sperimentale anche a Tolfa, VT). Ciascuno di questi studi fornisce informazioni fondamentali per la comprensione del funzionamento degli ecosistemi considerati, ma restano comunque delle informazioni parziali. Da uno dei pochissimi studi multifattoriali - effettuato su ecosistemi di prateria (Shaw et al. 2002) - emerge ad esempio che l'interazione tra CO₂, temperatura, acqua ed azoto genera effetti difficilmente prevedibili sulla base delle risposte ai singoli fattori. Esperimenti come questi – purtroppo molto costosi e di difficile realizzazione – possono essere molto utili anche per sviluppare e testare modelli capaci di integrare tra loro le conoscenze emerse dalle ricerche su singoli fattori (Norby e Luo 2004).

Nel complesso, dall'analisi della più recente letteratura sull'argomento, sembra possibile affermare che i problemi multifattoriali sollevati dai cambiamenti climatici potranno trovare adeguate risposte solo se affrontati da una combinazione tra ricerca multifattoriale a livello di ecosistema – probabilmente concentrata su pochi grandi esperimenti (Beier 2004) – e analisi modellistica.

Bibliografia

Beier C (2004). Climate change and ecosystem function -

- full-scale manipulations of CO₂ and temperature. *New Phytologist* 162: 243-246.
- Hendrey GR, Ellsworth DS, Lewin KF, Nagy J (1999). A free air enrichment system for exposing tall forest vegetation to elevated atmospheric CO₂. *Global Change Biology* 5: 293–309.
- Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Xiaosu D, eds. (2001) *Climate Change 2001. The Scientific basis*. Cambridge, UK. Cambridge University Press.
- Körner C (2000). Biosphere responses to CO₂ enrichment. *Ecological Applications* 10: 1590–1619.
- Medlyn BE, Badeck F-W, De Pury DGG, Barton CVM, Broadmeadow M, Ceulemans R, De Angelis P, Forstreuter M, Jach ME, Kellomäki S, Laitat E, Marek M, Philippot S, Rey A, Strassmeyer J, Laitinen K, Liozon R, Portier B, Roberntz P, Wang K, Jarvis PG (1999). Effects of elevated CO₂ on photosynthesis in European forest species: a meta-analysis of model parameters. *Plant, Cell & Environment* 22: 1475–1495.
- Miglietta F, Peressotti A, Vaccari FP, Zaldei A, De Angelis O, Scarascia-Mugnozza G (2001). Free-air CO₂ enrichment (FACE) of a poplar plantation: the POPFACE fumigation system. *New Phytologist* 150: 465–476.
- Norby RJ, Wullschlegel SD, Gunderson CA, Johnson DW, Ceulemans R (1999). Tree responses to rising CO₂ in field experiments: implications for the future forest. *Plant, Cell & Environment* 22: 683–714.
- Norby RJ, Luo Y (2004). Evaluating Ecosystem Responses to Rising Atmospheric CO₂ and Global Warming in a Multi-Factor World. *New Phytologist* 162: 281-293.
- Nowak RS, Ellsworth DS, Smith SS (2004). Functional responses of plants to elevated atmospheric CO₂ – do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions? *New Phytologist* 162: 253-280.
- Rustad LE, Campbell JL, Marion GM, Norby RJ, Mitchell MJ, Hartley AE, Cornelissen JHC, Gurevitch J (2001). A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia* 126: 543-562.
- Sage RF (1994). Acclimation of photosynthesis to increasing atmospheric CO₂: the gas exchange perspective. *Photosynthesis Research* 39: 351–368.
- Saxe H, Ellsworth DS, Heath J (1998). Tree and forest functioning in an enriched CO₂ atmosphere. *New Phytologist* 139: 395–436.
- Shaw MR, Zavaleta ES, Chiariello NR, Cleland EE, Mooney HA, Field CB (2002). Grassland responses to global environmental changes suppressed by elevated CO₂. *Science* 298: 1987–1990.
- Strain BR, Bazzaz FA (1983). Terrestrial plant communities. In: *CO₂ and plants: the response of plants to rising levels of atmospheric carbon dioxide* (Lemon E, ed). AAAS Selected Symposium 84. Washington, DC, USA: AAAS, 177–222.

* *Dipartimento di Colture Arboree, Università di Bologna, Bologna – email: grassi@agrsci.unibo.it.*