

IL PROGETTO MAZINGA: OLTRE LA TEORIA DELLA DILUIZIONE

R. Confalonieri¹, M. Pirondini², P. Possenti², L. Bergamini², G. Barlassina², C. Debellini², A. Bartoli², E.G. Agostoni², M. Appiani², L. Babazadeh², E. Bedin², A. Bignotti², M. Bouca², R. Bulgari², A. Cantore², D. Degradi², D. Facchinetti², D. Fiacchino², M. Frialdi², L. Galuppini², C. Gorrini², A. Gritti², P. Gritti², S. Lonati², D. Martinazzi², C. Messa², A. Minardi², L. Nascimbene², D. Oldani², E. Pasqualini², F. Perazzolo², L. Pirovano², L. Pozzi², G. Rocchetti², S. Rossi², L. Rota², N. Rubaga², G. Russo², J. Sala², S. Seregni², F. Sessa², S. Silvestri², P. Simoncelli², D. Soresi², C. Stemberger², P. Tagliabue², K. Tettamanti², M. Vinci², G. Vittadini², M. Zanimacchia², O. Zenato², A. Zetta², S. Bregaglio¹, M.E. Chiodini¹, A. Perego¹, M. Acutis¹

¹Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Produzione Vegetale, roberto.confalonieri@unimi.it

²Università degli Studi di Milano, Studenti del corso di Complementi di Agronomia e Sistemi Colturali

Abstract

La teoria della diluizione dell'azoto è utilizzata da decenni come strumento diagnostico per compilare piani di concimazione e nei più diffusi modelli di simulazione per stimare lo stato nutrizionale delle colture. Essa risulta quindi fondamentale per studi rivolti alla modellizzazione di aspetti quali-quantitativi delle produzioni e, influenzando una delle uscite più importanti di azoto dal sistema (le asportazioni), per valutare l'impatto ambientale dei sistemi colturali. Al di là della sua diffusione, questa teoria si basa su assunti che la rendono adatta solo in condizioni molto particolari di crescita, portandola a sovrastimare notevolmente i fabbisogni in tutte le condizioni di crescita limitata da fattori che non siano l'azoto. Il progetto MAZINGA, condotto dagli studenti del corso di Complementi di Agronomia e Sistemi Colturali dell'Università degli Studi di Milano, ha proposto approcci alternativi alla classica teoria della diluizione, sviluppando modelli indipendenti dalle condizioni di crescita e, quindi, di validità più generale.

Introduzione

La valutazione dello stato nutrizionale è un aspetto cruciale nell'analisi e nella gestione dei sistemi colturali, sia per i risvolti quali-quantitativi sulle produzioni che per quelli legati all'impatto ambientale. Questo ha portato alla nascita di diversi strumenti in grado di effettuare diagnosi precoci di eventuali situazioni di stress e di fornire un efficace supporto alla gestione (Jeuffroy et al., 2002). Alcuni sono molto semplici, come l'utilizzo di cartine con tonalità di verde calibrate in modo da poter essere confrontate con il colore delle foglie. Altri (e.g. SPAD) utilizzano il contenuto in clorofilla, stimato attraverso misure di assorbanza nel rosso e nel vicino infrarosso, come un indicatore del contenuto in azoto.

Gli strumenti più potenti per analizzare e gestire l'azoto nei sistemi colturali sono i modelli di simulazione. I modelli più semplici per la stima della concentrazione critica di azoto (N_{crit} , %; concentrazione sotto alla quale la coltura cresce in condizioni di stress e sopra la quale si ha consumo di lusso) relazionano N_{crit} allo sviluppo (e.g. EPIC, Williams et al., 1989; DAISY, Hansen et al., 1991). Il modello più accreditato e diffuso è la teoria della diluizione (Salette and Lemaire, 1981). La teoria della diluizione si basa sull'equazione $N_{crit} = a \cdot AGB^{-b}$, dove AGB ($t\ ha^{-1}$) è la biomassa aerea, a e b sono coefficienti empirici. L'interpretazione teorica della teoria della diluizione attribuisce (i) all'auto-ombreggiamento delle foglie e (ii) all'allocazione di risorse verso organi della pianta a diverso tenore in azoto (foglie e steli) la diminuzione della concentrazione di azoto che si osserva nel corso del ciclo.

Nonostante la sua diffusione e il suo utilizzo all'interno di modelli molto diffusi (e.g., CropSyst), la teoria della

diluizione si basa su un assunto di base che la rende inconsistente nella maggior parte delle reali condizioni colturali: *se una pianta è piccola, allora è giovane*. Stando all'interpretazione teorica della teoria fornita dai suoi autori, infatti, bassi valori di AGB dovrebbero corrispondere a fasi precoci del ciclo, caratterizzate (i) da allocazione massiccia alle foglie, ricche in azoto e (ii) da poco auto-ombreggiamento. In realtà, le piante possono essere piccole per stress dovuti a molti fattori, a prescindere dal loro stadio di sviluppo.

Il progetto MAZINGA, condotto da studenti del corso di Complementi di Agronomia e Sistemi Colturali dell'Università degli Studi di Milano, è nato con l'obiettivo di sviluppare nuovi modelli per la simulazione della concentrazione critica di azoto, superando i limiti della classica teoria della diluizione.

Materiali e metodi

I modelli proposti sono raggruppati in due categorie. La prima prevede due approcci (modelli M1 e M2) per simulare esplicitamente i fenomeni dell'auto-ombreggiamento e dell'allocazione di risorse ad organi della pianta a diverso tenore in azoto. La seconda (M3) è un'evoluzione della teoria della diluizione basata sulla correzione di AGB con fattori di stress.

M1 è basato sull'equazione $N_{crit} = 1 / (1 - e^{-k \cdot LAI})$, dove k è il coefficiente di estinzione della luce all'interno della canopy e $(1 - e^{-k \cdot LAI})$ è la frazione di radiazione intercettata dalla canopy stessa. In pratica, M1 simula l'ombreggiamento come funzione della radiazione intercettata.

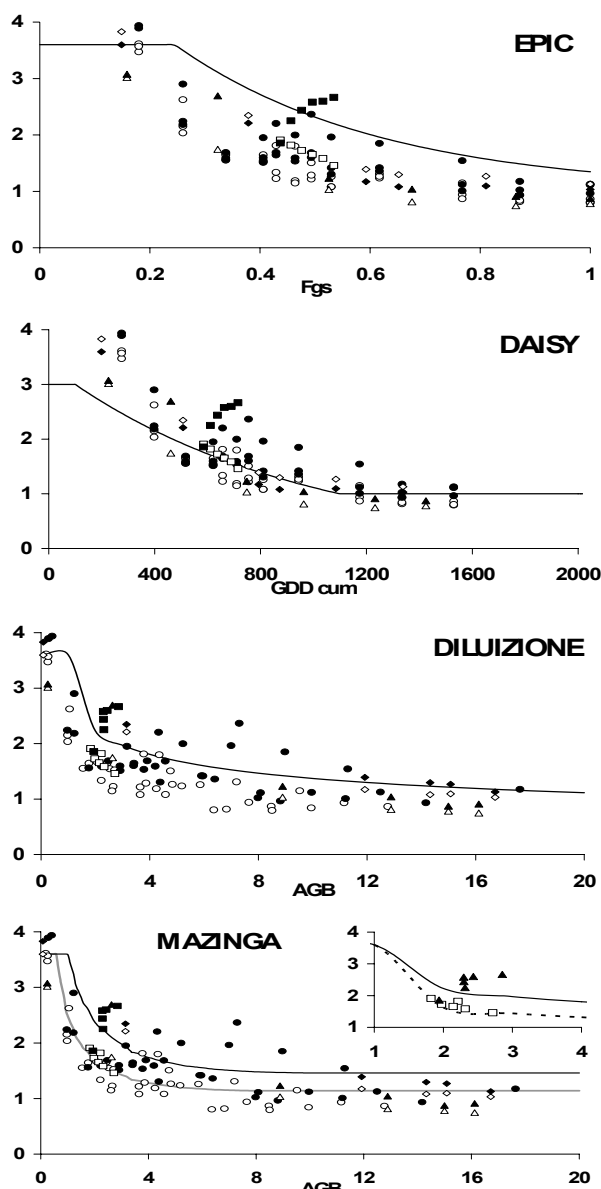


Fig.1 - Confronto tra cinque modelli per la stima della concentrazione critica di azoto. Per l'ultimo grafico, le curve nera e grigia corrispondono ai modelli M2 e M1; M3 nel riquadro

M2 è invece rappresentato dall'equazione $N_{crit} = [1 + B_L / (B_L + B_S)] / (1 - e^{-k \cdot LAI})$, dove B_L e B_S sono le biomasse di foglie e steli. M2 combina il fattore auto-ombreggiamento di M1 con un fattore in grado di rappresentare la quantità relativa di foglie e steli, e quindi di organi con diverso tenore in azoto.

M3 si basa sull'equazione $N_{crit} = a(AGB / TSI)^{-b}$, dove $TSI = SI_R \cdot SI_W \cdot SI_D \cdot SI_T \cdot SI_O \cdot SI_S$ rappresenta un indice totale di stress e $SI_R, SI_W, SI_D, SI_T, SI_O, SI_S$ sono, rispettivamente, stress da radiazione, da acqua, da patologie, da temperatura, da ozono, da salinità. Ognuno dei vari SI viene calcolato come media degli stress giornalieri (SI_i) accumulati dalla semina. In questo lavoro viene presentato solo l'effetto di bassi valori di radiazione, con $SI_{R,i} = \alpha \cdot Rad / Rad_{opt}$, dove Rad e Rad_{opt} ($MJ m^{-2}$) sono rispettivamente la radiazione globale giornaliera e la

soglia di radiazione considerata ottimale per la coltura ($25 MJ m^{-2}$ per riso; Confalonieri et al., 2009), α è un parametro coltura-specifico (3.5 per riso).

I dati sperimentali utilizzati per la validazione sono stati raccolti nel corso di quattro prove di campo condotte ad Opera nel 2002 e 2004, a Vignate nel 2002, a Milano nel 2007 e in una prova in camera di crescita (2006).

La validazione dei modelli è stata effettuata con due metodi: (i) elaborazione di grafici con le curve critiche e dati di concentrazione di azoto per tesi limitate e non limitate da azoto (le serie corrispondenti a tesi non limitate [simboli neri] e quelle limitate [simboli bianchi] avrebbero dovuto disporsi rispettivamente sopra e sotto le curve critiche); (ii) calcolo di $RRMSE$ ed efficienza di modellazione (EF) per le coppie misurato-simulato nelle quali il dato misurato si trovava dalla parete sbagliata della curva, adottando come dato simulato il corrispondente valore della curva stessa.

Risultati

Fig. 1 mostra una notevole sovrastima di N_{crit} per EPIC, sovrastima che si riduce notevolmente per l'equazione della diluizione e per uno dei modelli proposti dal progetto (M2). DAISY, al contrario, sottostima la curva, soprattutto nelle fasi iniziali del ciclo. Il modello M1 risulta il più accurato, presentando infatti i valori migliori sia di $RRMSE$ (17.6% contro 31.4%, 24.3%, 44.6% e 30.3 per teoria della diluizione, DAISY, EPIC e M2) che di EF (0.81 contro 0.49, 0.76, -0.06, e 0.36). La bontà di M1 rispetto agli altri modelli è dimostrata anche dal fatto che (i) ha il minor numero di punti dalla parte sbagliata della curva (31 contro 35, 40, 48 e 39) e (ii) gli stessi punti sono distribuiti equamente tra quelli sovra- e sottostimati (52% e 48% contro 6% e 94%, 75% e 25%, 4% e 96%, 10% e 90%). M3 è stato testato solo sui dati raccolti in camera di crescita, influenzati da valori molto bassi di radiazione. I dati del riquadro in Fig. 1 mostrano come M3 (linea tratteggiata) funzioni decisamente meglio della teoria della diluizione classica da cui deriva (curva continua).

Conclusioni

I modelli presentati aprono nuove frontiere per la simulazione di un aspetto cruciale per lo studio e la gestione dei sistemi colturali. In particolare, M1 è risultato decisamente più performante degli approcci esistenti, pur essendo privo di coefficienti e parametri empirici. I modelli proposti saranno testati su altre colture, in modo da verificare la loro adeguatezza nel caso di altre specie, sia a metabolismo C3 che C4.

Bibliografia

- Confalonieri, R., Rosenmund, A.S., Baruth, B., 2009. An improved model to simulate rice yield. *Agron. Sustain. Dev.* In press.
- Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E., Svendsen, H., 1991. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. *Fert. Res.* 27, 245-259.
- Jeuffroy, M.H., Ney, B., Ourry, A., 2002. Integrated physiological and agronomic modelling of N capture and use within the plant. *J. Exp. Bot.* 53, 809-823.
- Salette J., Lemaire G. 1981. Sur la variation de la teneur en azote des graminées fourragères pendant leur croissance: Formulation d'une loi de dilution. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, série III* 92: 875-878.
- Williams, J.R., Jones, C.A., Kiniry, J.R., Spanel, D.A., 1989. The EPIC crop growth model. *Transaction of the ASAE*, 32, 497-511.