

DOCUMENTO
TECNICO

Stefano Poni
Eugenio Magnanini
Fabio Bernizzoni

*Istituto di Frutti-viticultura,
Università Cattolica del Sacro
Cuore - Piacenza*

GRADO DI CORRELAZIONE TRA LUCE TOTALE INTERCETTATA E SCAMBIO NETTO DI CO₂ IN CHIOME DI VITE

I risultati presentati in questo studio, condotto su Cabernet Sauvignon, dimostrano come la quantità di luce intercettata da una chioma di vite sia ben correlata con la sua capacità fotosintetica e possa quindi rappresentare uno strumento valido per confrontare, in modo oggettivo, l'efficienza di diverse forme di allevamento.

Introduzione

La notoria "plasticità" scheletrica della vite è principalmente ascrivibile alla presenza di rami lunghi e flessibili (tralci) che consentono l'impostazione di chiome a struttura geometrica assai variegata. Questa eterogeneità di forme è particolarmente evidente nei paesi di maggiore "tradizione" viticola tra i quali l'Italia svetta con più di 40 diverse tipologie di sistemi di allevamento (Eynard e Dalmaso, 1990).

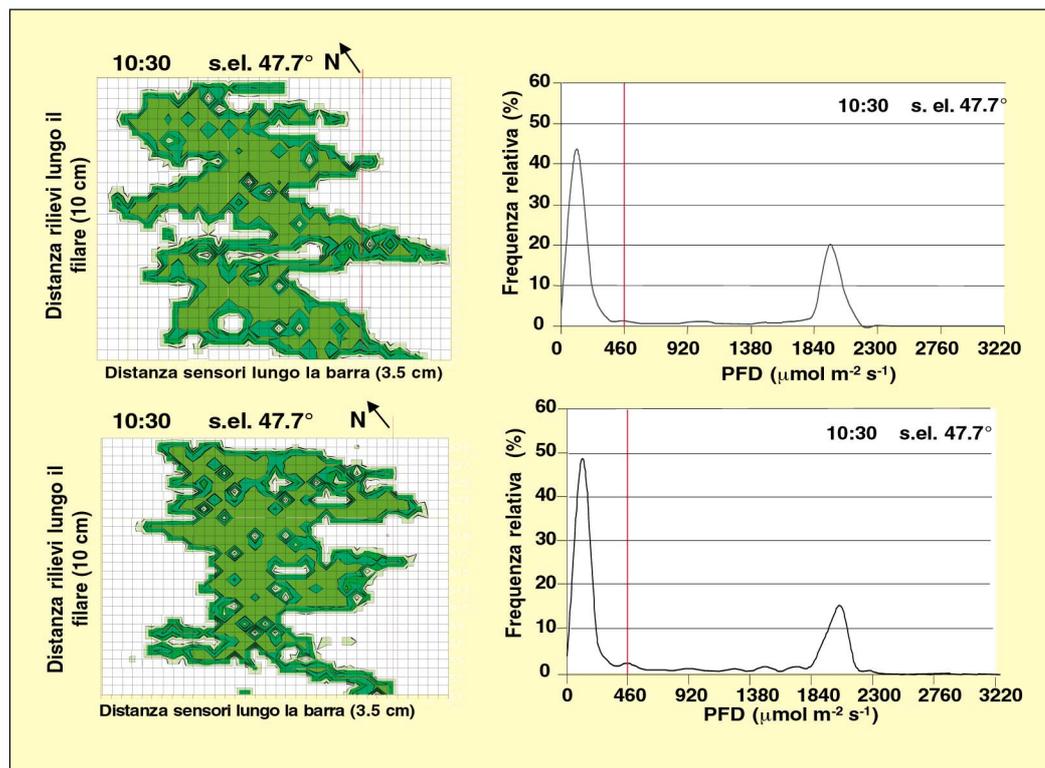
È proprio la complessa interazione che intercorre tra dimensioni e forma della chioma, sistema di potatura e scelte di impianto (latitudine del sito, sesto e orientamento dei filari) a definire la quantità totale di radiazione intercettata (giornaliera e stagionale) da un vigneto e le modalità con cui la radiazione si distribuisce all'interno della chioma (Smart 1973, Lebon et al., 1995; Zufferey e Murisier 1997). La quota di radiazione intercettata dalla chioma ne definisce, in ultima analisi, la

sua potenzialità assimilativa che può essere ragionevolmente rappresentata dalla frazione di superficie fogliare "funzionale" (ovvero bene esposta alla luce, sana, né troppo giovane né senescente). La determinazione di questa quota "funzionale", ovviamente variabile da sistema di allevamento a sistema di allevamento, costituisce ancora una sfida metodologica che, se vinta, potrebbe essere di notevole aiuto per determinare la massima carica di uva che un ceppo è in grado di

Premio "Assoenologi per la ricerca scientifica in viticoltura ed enologia" 2004.



Fig. 1 - Immagini esemplificative della proiezione al suolo dell'ombra delle chiome appartenenti alla tesi a "bassa" (sinistra-alto) e "alta" (sinistra-basso) densità di germogli per le ore 10:30 del 25 giugno (giorno giuliano 175) ad un angolo di elevazione solare di 47,7°



I grafici di destra mostrano la corrispondente distribuzione di frequenza delle differenze tra la radiazione massima esterna e quella misurata a terra da ogni singolo fotodiode. La scala della x è divisa in incrementi di 460 $\mu\text{mol fotoni}/\text{m}^2\text{s}$ mentre la barra verticale, nei grafici di destra, indica la soglia fissata per separare i valori "ombreggiati" da quelli dello sfondo illuminato. Le linee verticali nei grafici di sinistra indicano invece la posizione dell'asse del filare.

portare a piena maturazione senza che si verificano, contestualmente, deprezzamenti qualitativi delle uve. Peraltro, è noto che numerosi autori (May et al. 1969, Kliewer e Weaver, 1971, Jackson e Lombard 1993, Poni et al., 1994, Williams et al., 1994) hanno concordemente riportato che sono necessari circa 6-10 cm^2 di superficie fogliare "funzionale" per portare a maturazione un grammo di massa fresca di prodotto. Qualora il numeratore di questo rapporto potesse essere sostituito da un valore di fotosintesi, questo indice probabilmente acquisirebbe una ben diversa precisione e affidabilità soprattutto in un'ottica di diversificazione tra sistemi di allevamento a diversa geometria.

Gli approcci metodologici che fino ad ora sono stati seguiti per determinare la potenzialità assimilativa di una chioma di vite (da qui in avanti definita "source") sono

molteplici ma nessuno di essi appare pienamente soddisfacente.

L'equilibrio vegeto produttivo

Uno degli indicatori più comunemente applicati è, ad esempio, il rapporto tra produzione di uva e peso di potatura di un anno di età asportata con la potatura invernale (Bravdo et al., 1984; Smart 1985). La principale pecca di questo indice consta nell'assumere che il peso di potatura sia un indicatore attendibile della funzionalità della chioma. Il caso della potatura "minima" è, in merito, emblematico poiché le viti soggette a tale tecnica hanno, rispetto a ceppi potati tradizionalmente, valori più bassi di peso di potatura e, al tempo stesso, una potenzialità assimilativa nettamente superiore (Clingefer 1993). Altri indicatori di

funzionalità della chioma sono stati proposti fin dai primi anni 80 (Smart 1985). Alcuni di questi (numero di germogli/m di parete, rapporto tra superficie "esposta" della chioma e superficie fogliare, percentuale di "vuoti" di vegetazione sul volume della chioma) si sono dimostrati piuttosto generici e, nel complesso, scarsamente correlati con i parametri qualitativi delle uve (Mabrouk e Sinoquet 1988, Riou et al., 1989, Cavallo et al., 2001). Altri indici quali ad esempio, il rapporto tra la quota di superficie fogliare effettivamente illuminata e quella totale hanno dimostrato maggior affidabilità (Mabrouk e Sinoquet 1988) ma la loro stima richiede misure complesse che, realisticamente, non sono proponibili su vasta scala e, ancora in minor misura, in campo applicativo.

Abbastanza curiosamente, la quota totale di luce intercet-

tata da una chioma di vite è stata palesemente trascurata come indice di potenzialità fotosintetica a favore di studi più specifici spesso dedicati alla caratterizzazione del microclima e della funzionalità di organi specifici della chioma stessa, in particolare foglie e grappoli (Dokoozlian e Kliewer, 1996 a, b; Smart et al., 1988, Jackson e Lombard 1993). Nel melo, ad esempio (Lakso 1994), la quantità di luce intercettata per ettaro di superficie si è rivelata strettamente correlata alla capacità produttiva dell'impianto. Tuttavia, la medesima buona correlazione non è mai stata riportata per la vite. Infatti, accanto ad alcuni lavori (Smart 1973, Carbonneau e Huglin 1982) che sottolineano come sistemi di allevamento a parete divisa (tipo GDC e Lira) hanno quote di luce intercettata e rese per ettaro superiori a quelle di forme a parete singola, altri contributi (Williams et al., 1994) segnalano invece il caso, piuttosto frequente, di sistemi di allevamento che, a chioma completa, presentano valori di intercettazione luminosa assai simili pur differendo in misura marcata in termini di produttività ettariale. Emblematico, nel merito, è il confronto tra un impianto ad alberello, messo a dimora con il classico sesto di 1 m x 1 m ed uno a tendone. Entrambe le forme intercettano, al completamento della crescita vegetativa, quasi il 100% della radiazione incidente ma, come è noto (Intrieri e Filippetti, 2000) la produzione unitaria dell'alberello è largamente inferiore a quella ottenuta con il tendone. Questa differenza è essenzialmente da ascrivere alle diverse tipologie di potatura che, a sua volta, influenza la ripartizione degli assimilati prodotti con la fotosintesi. Nel tendone, la potatura a tralcio lungo favorisce la distribuzione dei grappoli sul tetto orizzontale di vegetazione originando quindi una correlazione più diretta tra quantità di luce intercettata dalla chioma e quota di luce successivamente convertita in sostanza secca convogliata ai grappoli. Vice-

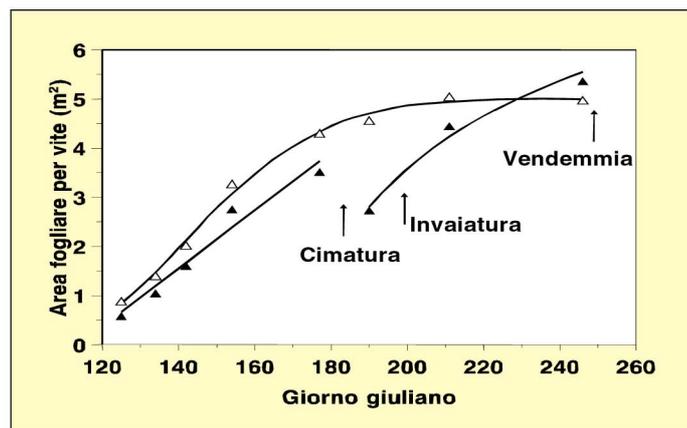


versa, nel caso dell'alberello, caratterizzato da una potatura corta che localizza fortemente la zona produttiva a livello della testa della vite, una frazione maggioritaria della quota di luce intercettata è probabilmente convertita in sostanza secca utilizzata per la crescita vegetativa e per il ripristino delle sostanze di riserva. Inoltre, nel caso della vite, altri lavori (Shaulis et al., 1966, Poni et al., 1996) hanno evidenziato che il potenziale produttivo di un vigneto è più probabilmente dipendente dalla quota di luce intercettata da porzioni specifiche della pianta (ad esempio la zona basale dei tralci che, nel caso della potatura corta, andrà a costituire i futuri speroni).

Indipendentemente da queste incertezze, non vi è dubbio che una quantificazione delle dimensioni e dell'intensità dell'ombra proiettata al suolo da una chioma rappresenti una valida metodologia di determinazione della frazione di luce totale intercettata dalla chioma che, a sua volta, tiene implicitamente conto della taglia e della forma geometrica della parte epigea nonché del numero di strati fogliari che i raggi di luce incontrano nel loro percorso di attraversamento della copertura vegetale. Pertanto, sotto tale profilo, sarebbe di indiscutibile interesse fisiologico ed applicativo verificare in quale misura il parametro di luce intercettata, di facile misurazione, è correlato con l'effettivo tasso di fotosintesi netta della chioma intera.

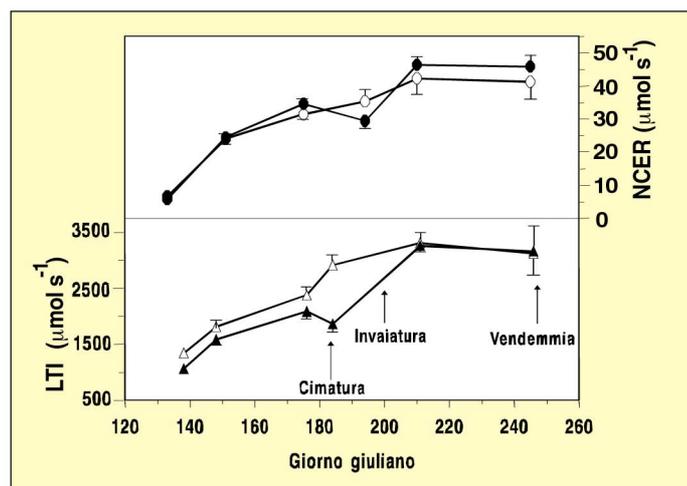
Lo scopo del presente lavoro è quello di verificare la suddetta relazione utilizzando un metodo di misura diretta del tasso di scambio di CO₂ della parte epigea. Al fine di corroborare la validazione dei dati, la correlazione verrà studiata in due diversi sistemi vegetali costituiti, il primo, da viti con una bassa densità di germogli per metro e conseguente elevata velocità di crescita degli stessi ed esigenza del ricorso alla cimatura e, il secondo, da viti con una elevata densità di germogli per metro con minore vigoria degli stessi e assenza di cimatura.

Fig. 2 - Produzione di superficie fogliare per vite registrata nel corso della stagione per le tesi a bassa (▲) e alta (△) densità di germogli



I dati sono mediati sulle due viti per tesi. I dati relative alla fase precimatura della tesi BD sono stati interpolati sulla base della seguente equazione $y = -6,73 + 0,059x$; $R^2 = 0,96$; quelli di post-cimatura, per la stessa tesi, sulla base di $y^2 = 108,12 - 19048,7/x$; $R^2 = 0,98$. Il modello non lineare utilizzato per interpolare i dati della tesi AD è stato invece: $y = 26,77 - 0,046x - 2539/x$; $R^2 = 0,98$.

Fig. 3 - Variazione stagionale di LTI e NCER per le tesi BD (▲,●) e AD (△,○)



Dati mediati sulle singole viti e sui valori presi a diverse ore nell'arco della giornata ($n = 6$). Le barre verticali indicano il valore dell'errore standard.

Materiale e metodo

Materiale vegetale e crescita vegetativa. La prova è stata condotta nel 2001 a Piacenza (45,1 °N, 9,6 °E) presso i bancali esterni dell'Istituto di Frutti-viticultura dell'Università Cattolica del Sacro Cuore.

Sono state utilizzate viti di sei anni di età di Cabernet Sauvignon innestate su SO4 fatte crescere in vasi di 70 litri riempiti con substrato co-

stituito da sabbia, torba e terreno nelle proporzioni di 1.5:1:2.5 in volume. Tra il gruppo delle viti disponibili (8 in totale) ne sono state isolate quattro durante la stagione invernale e potate in modo tale da mantenere 2 o 4 capi a frutto lunghi per ceppo. Tutte le viti sono poi state allevate e Guyot bilaterale e posizionate lungo un unico filare avendo l'accortezza di alternare quelle con due e quattro capi a frutto. L'orientamento del filare è risultato di 35 ° NE-SO e, al fine di evitare effetti di bordo lungo la fila, due viti fuori prova sono state aggiunte in testa ed in coda al filare. I capi a frutto sono stati legati orizzontalmente ad un filo portante principale posto ad 80 cm di altezza mentre la struttura di sostegno era costituita da fili semplici a loro volta posti a 30, 70 e 110 cm di distanza da quello principale. In questo modo l'altezza massima della vegetazione è oscillata intorno ai 2,2 - 2,3 m di altezza. Al fine di simulare il più fedelmente possibile una situazione di campo, accanto al filare in prova, sono stati approntati, sempre con viti di Cabernet S. allevate a Guyot bilaterale, due filari di bordo distanziati, da quello centrale, di 2,2 m. Questo tipo di assetto ha consentito di rispettare il rapporto di 1:1 tra altezza massima della parete e distanza tra i filari che, a queste latitudini, minimizza gli ombreggiamenti tra filari adiacenti e, al tempo stesso, previene la perdita di troppa luce al suolo.

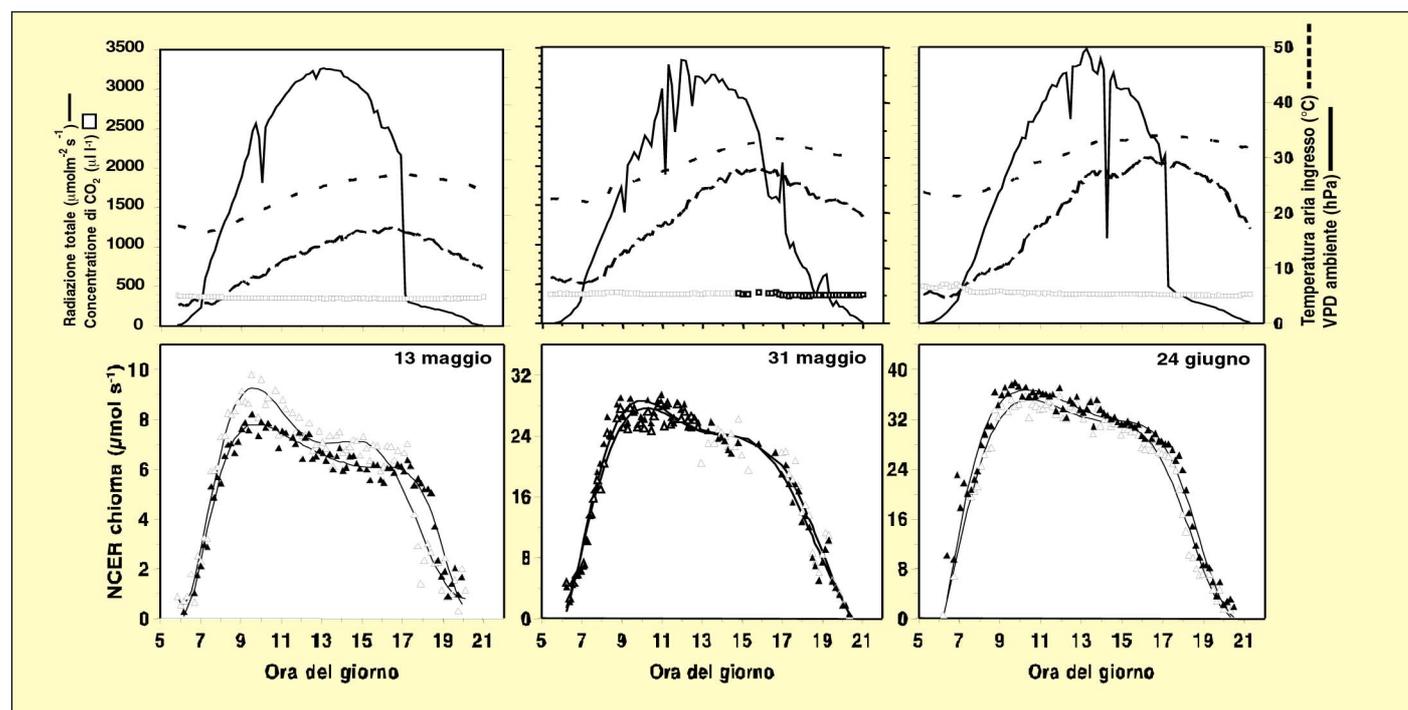
La data del germogliamento delle viti in prova è stata stimata al 25 marzo in accordo al superamento, a questa data, del 50% di gemme in fase B (gemma cotonosa secondo Baggioioli). Tre settimane dopo, quando i germogli avevano raggiunto uno sviluppo pari a circa 5-6 foglie completamente espanse, è stato applicato il diradamento dei germogli necessario a impostare le tesi a confronto.

Più in dettaglio, le due viti su cui erano state mantenuti solo due tralci per ceppo, sono state diradate in modo tale da raggiungere la densità di circa 10 germogli per metro di parete. Sui due ceppi rimanenti, provvisti di quattro tralci ciascuno, è stato effettuato un leggero diradamento dei germogli in modo da arrivare alla soglia di circa 20 germogli/m. Da qui in avanti le sigle utilizzate per indicare le due tesi a confronto saranno quindi BD (bassa densità) e AD (alta densità) di germogli.

Contemporaneamente al diradamento dei germogli è stato eseguito anche un diradamento delle infiorescenze tale



Fig. 4 - Raffronto tra andamenti giornalieri (alto) di radiazione globale (---), concentrazione ambientale di CO₂ (□), temperature dell'aria in ingresso (—) e VPD (...) e (basso) NCER della chioma relative alle tesi BD (▲) e AD (△) per le date di pre-cimatura (13 and 31 maggio, 24 giugno)



I dati di andamento diurno di NCER sono stati interpolati con modelli polinomiali di ordine variabile da 7 a 9.

da mantenere non più di un grappolo per germoglio e rendere quindi la carica produttiva in pratica proporzionale al numero dei germogli mantenuti. Inoltre, sempre nel corso della stessa giornata sono stati marcati, per BD e AD nell'ordine, tre e sei germogli per vite poi utilizzati per i rilievi di crescita vegetativa.

I rilievi di crescita vegetativa sono iniziati il 9 maggio e sono poi proseguiti ad intervalli variabili fino alla data di vendemmia (3 settembre). Ad ogni rilievo, su ciascun germoglio in prova, sono state rilevate la lunghezza totale nonché la lunghezza e la larghezza massima delle lamine di tutte le foglie espanse formate fino a quella data. Subito dopo la vendemmia, sono state asportate tutte le foglie da ciascuna chioma e l'area fogliare totale per vite, suddivisa nelle componenti attribuibili alle foglie principali ed alle femminelle, è stata determinata utilizzando un misuratore portatile LI-COR 3000. Per ciò che concerne le date intermedie di rilievo, l'area fogliare della chioma è stata stimata moltiplicando l'area

fogliare per germoglio x il numero totale di germogli.

L'area fogliare per germoglio è stata dedotta sulla base di una stima non distruttiva dell'area della singola foglia ottenuta attraverso la seguente equazione lineare: $A = 0.45 + 0.957 (lu \times la)$, dove "A" rappresenta l'area della foglia, "lu" rappresenta la lunghezza della nervatura centrale e "la" la larghezza massima della lamina. In accordo allo schema sperimentale, i germogli appartenenti alla BD sono stati cimati il 2 luglio mantenendo sull'asse principale 12 foglie. La cimatura è avvenuta in una fase in cui i germogli avevano in media raggiunto uno sviluppo pari a circa 21 nodi. La superficie fogliare asportata col taglio è stata quantificata mediante misura diretta con fogliarimetro. Nessuna cimatura è stata invece effettuata in AD.

La data di invaiatura è stata stimata al 17 luglio sulla base del raggiungimento di una soglia minima (10%) di bacche che ormai mostravano tangibili segni di colorazione. Per evitare stress idrici anche temporanei, tutte le viti sono

state irrigate due volte al giorno fino alla capacità "di vaso" dall'allegagione fino alla vendemmia. Inoltre, tutti i vasi sono stati rivestiti con un foglio di alluminio riflettente per limitare il surriscaldamento dell'apparato radicale. La concimazione è consistita nella somministrazione di 10 g di urea per vaso in due epoche (germogliamento e fioritura).

Luce totale intercettata

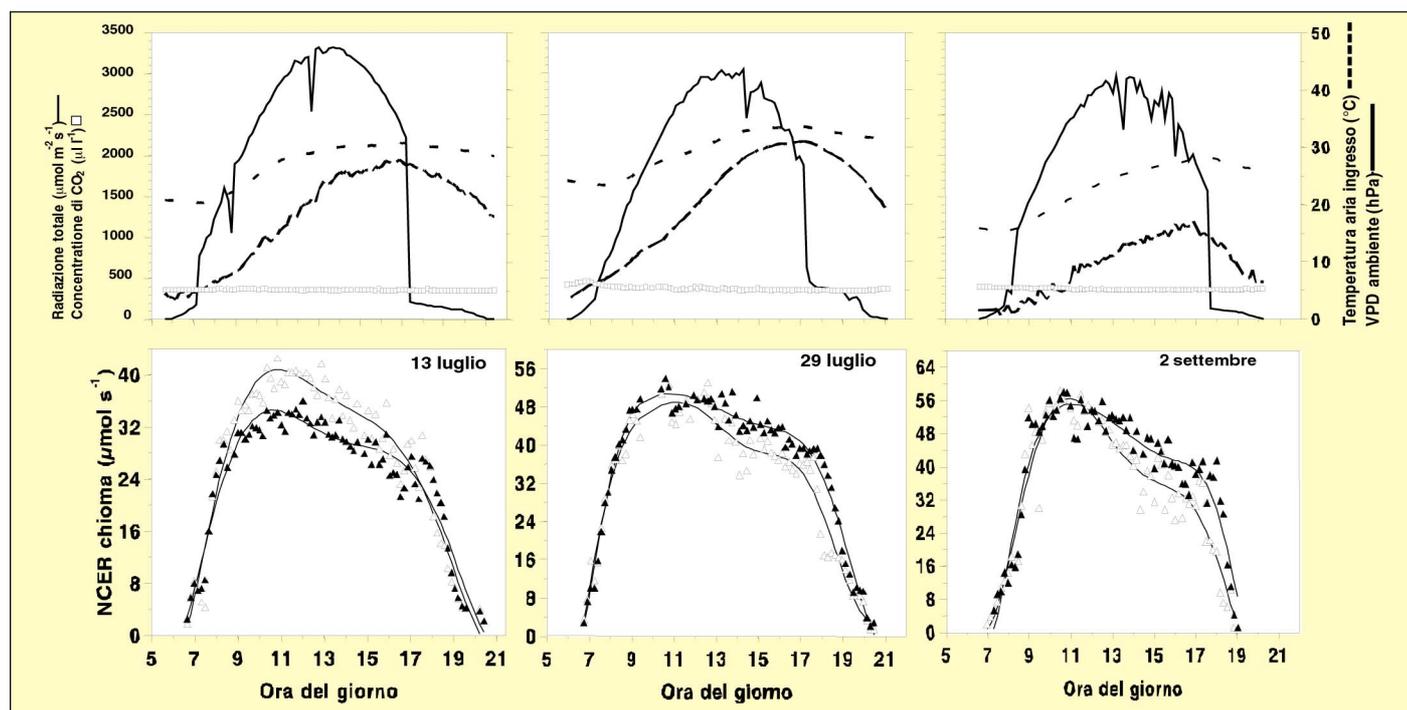
Il metodo utilizzato in questo lavoro per determinare la quantità totale di luce intercettata (LTI) dalle chiome è simile a quello descritto da Giuliani et al., 2000. Le misure sono state effettuate utilizzando una barra in lega in alluminio su cui sono stati montati 64 fotodiodi dotati di sensibilità fotovoltaica nella banda compresa tra 300 e 1100 nm (banda della radiazione totale ad onda corta). I sensori erano distanziati di 3,5 cm lungo la barra originando quindi una lunghezza utile di "misura" pari a 2,205

m. Ciascun sensore è stato coperto con un sottile strato di Teflon al fine di ottenere dati corretti in funzione del coseno della radiazione incidente secondo la legge di Lambert Beer. La barra luminosa è stata collegata ad un data logger CR10 munito di moltiplicatore di canali e le misure sono state registrate tramite pulsante presente sulla barra stessa. La barra è sempre stata mantenuta orizzontale durante i rilievi e i sensori sono stati calibrati rispetto ad un piranometro Sili-met RG39 all'interno della banda compresa tra 0 e 980 W/m². La calibrazione ha evidenziato un'ottima linearità (R^2 compresi tra 0,97 e 0,99), per ciascun sensore, tra il valore di output (espresso in mV) e quello misurato dal piranometro. Al fine di assicurare comparabilità con i dati di fotosintesi, i valori di radiazione sono stati espressi in termini di densità di flusso fotonico (PPFD, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) moltiplicando, secondo quanto riportato da Thimijan e Heins (1983), il dato in W/m² per un coefficiente pari a 4,6.

Le misure di LTI sono state



Fig. 5 - Raffronto tra andamenti giornalieri (alto) di radiazione globale (---), concentrazione ambientale di CO₂ (□), temperature dell'aria in ingresso (—) e VPD (...) e (basso) NCER della chioma relative alle tesi BD (▲) e AD (△) per le date di post-cimatura (13 e 29 luglio, 2 settembre)



I dati di andamento diurno di NCER sono stati interpolati con modelli polinomiali di ordine variabile da 7 a 9.

effettuate in sei diverse date nel corso della stagione (17 e 28 maggio, 25 giugno in precimatura; 2 e 30 luglio, 3 settembre in post-cimatura) e comunque in giornate serene e con moderata ventosità. In ciascuna data, le misure sono state effettuate in almeno tre momenti della giornata corrispondenti al mezzogiorno solare ed a circa tre ore prima e dopo il mezzogiorno solare. Per ogni rilievo, la barra è stata mossa velocemente lungo il filare in prova ad intervalli di 10 cm facendo attenzione a mantenere il piano orizzontale (peraltro segnalato da una bolla di livello) ed a catturare tutta l'ombra della chioma proiettata sul terreno.

Questa "frequenza" di rilievo ha reso possibile il completamento delle misure di ciascuna chioma in meno di due minuti. In generale, il numero di scansioni per chioma è variato da 25 a 34 in funzione della lunghezza della chioma e della posizione del sole originando quindi un numero di punti singoli variabile da 1600 (25 x 64) a 2176 (34 x 64). Alla fine ed al termine di ciascuna fase di rilievo (mat-

tino, mezzogiorno solare e pomeriggio) la radiazione massima incidente al di sopra delle chiome è stata determinata utilizzando la medesima barra lineare. Poiché è noto (Ross 1981) che i valori di intensità luminosa misurati al di sotto della chioma comprendono le classi di "luce", "ombra" e "penombra", gli stessi sono stati rappresentati in scala di grigio al fine di poterne studiare meglio la distribuzione di frequenza.

In Fig. 1 vengono mostrate le proiezioni al suolo dell'ombra di una delle chiome appartenenti alle due tesi, nonché la distribuzione bimodale di frequenza, per un momento della giornata (10.30 del mattino) e per uno specifico angolo di inclinazione solare (47,7°).

Il numero dei sensori interessati da una condizione di "penombra" è stato trascurabile. Questa configurazione ha permesso di identificare una soglia di intensità luminosa (100 W/m² equivalenti ad un PFD di 460 μmol m⁻² s⁻¹) in grado di separare nettamente i valori in luce ed in ombra.

La quota di luce totale in-

tercettata (LTI)/chioma nell'unità di tempo (μmol fotoni/s) è stata calcolata come somma delle differenze tra l'intensità della radiazione luminosa all'esterno ed al di sotto della chioma per ciascun sensore moltiplicata per la "griglia" spaziale identificata dal prodotto della distanza dei sensori sulla barra (3,5 cm) x la distanza delle scansioni lungo il filare (10 cm).

Scambi gassosi

La fotosintesi netta totale della chioma (NCER dall'inglese "net carbon exchange rate") è stata misurata utilizzando il sistema per piante intere messo a punto da Corelli Grappadelli e Magnanini (1993) e poi successivamente adattato alla vite da Poni et al. (1997) in modo tale da potere seguire in contemporanea, ed in modo continuo ed automatizzato, gli scambi gassosi di quattro chiome. Per i dettagli metodologici relativi all'assemblaggio, al funzionamento ed alla taratura del sistema si rimanda a Poni et al., 1997.

Nel caso specifico di questo lavoro, tuttavia, il flusso di aria alimentato attraverso le camere è variato da 12-14 L/s all'inizio dei rilievi (metà maggio) per arrivare a 46-48 L/s nel caso delle misure eseguite con chiome ormai complete.

Le camere sono state montate e smontate 6 volte nel corso della stagione al fine di consentire i rilievi di luce intercettata (che ovviamente non possono essere eseguite con le camere di polietilene che avvolgono le chiome), di crescita vegetativa e di manutenzione ordinaria (es. trattamenti antiparassitari). L'obiettivo primario delle misure eseguite coi "palloncini" era quello di assicurarsi almeno 24 ore di registrazione riferibili ad una giornata serena da mettere poi in diretta correlazione con i dati di intercettazione luminosa ottenuti in una giornata, altrettanto serena, e temporalmente più vicina possibile alla prima. Per lo scambio gassoso su chioma intera, la durata relativa di ciascun periodo di misura è stata la seguente: 4 giorni (10-13 maggio); 3 giorni (29-



31 maggio); 4 giorni (20-24 giugno), 3 giorni (13-15 luglio); 5 giorni (24-29 luglio) e 3 giorni (30 agosto - 2 settembre). Pertanto la distanza, in giorni, tra le giornate prescelte per descrivere l'andamento dello scambio gassoso e quelle dedicate invece alla caratterizzazione dell'intercettazione luminosa è stata, in ordine cronologico, di: -4, +3, -1, +10, -1, -1.

Al fine di verificare l'affidabilità delle misure condotte su chioma intera, nella giornata del 7 agosto sono state eseguite, su foglie singole, alcune misure di scambio gassoso utilizzando un IRGA portatile tipo Ciras-2. Poiché tutte le letture, concentrate nella fascia oraria compresa tra le 9 e le 13, sono state condotte su foglie adulte, sane e esposte ad una intensità di luce saturante, i valori di fotosintesi così ottenuti devono ritenersi espressione della massima potenzialità fotosintetica. Gli stessi sono poi stati messi a confronto con quelli dedotti dalle misure sulla chioma intera ottenuti nella data cronologicamente più vicina al 7 agosto (29 luglio).

Risultati e discussione

Crescita vegetativa e relazione LTI-NCER stagionale. Il più elevato numero di germogli per vite mantenuto nella tesi AD ha determinato, come ci si poteva attendere, una formazione di superficie fogliare più rapida (Fig. 2). Tuttavia, la vigorosa reazione di femminelle innescata dalla cimatura nella tesi BD ha causato, in questo trattamento, un prolungamento della crescita vegetativa e, in ultima analisi, un recupero completo in termini di area fogliare finale. Infatti, il valore finale di questo parametro non è risultato statisticamente diverso tra le due tesi risultando addirittura leggermente superiore nella tesi con densità dei germogli più contenuta.

In maggiore dettaglio, nella tesi AD, la frazione finale di superficie fogliare costituita da femminelle è risultata pari

al 15% del totale, mentre in BD la quota di femminelle è stata pari al 64% della superficie fogliare finale. Pertanto, l'impostazione delle tesi è stata efficace nel determinare quelle variazioni di dinamica e di composizione (demografia) di superficie fogliare necessarie per condurre la validazione di NCER in funzione di LTI

Gli andamenti stagionali dei valori di LTI e di NCER per le due tesi sono riportati alla Fig. 3. I valori medi di NCER derivano dai calcoli effettuati sugli andamenti giornalieri riportati, alle Figg. 4 e 5 per le date di pre e post cimatura. Per esigenze di comparabilità, le medie di NCER sono state calcolate limitatamente alle "finestre" di tempo corrispondenti ai rilievi di luce intercettata. Inoltre, sempre per motivi di completezza, alle Figg. 4 e 5 sono anche riportati gli andamenti dei parametri climatici più importanti: radiazione totale incidente, temperatura dell'aria in ingresso nelle camere, deficit di vapore di pressione, concentrazione ambientale di CO₂.

I valori di NCER misurati in pre-cimatura sono stati simili nelle due tesi anche se le viti con una alta densità dei germogli hanno presentato valori di luce intercettata più elevati (Fig. 3). La forte reazione di femminelle avutasi nella tesi a bassa densità come conseguenza della cimatura ha determinato un recupero completo di NCER già evidente a fine luglio e, puntualmente, il valore finale di luce totale intercettata dalle chiome delle due tesi a confronto è risultato molto simile. È molto interessante notare che, nella tesi cimata, nonostante una diminuzione di superficie fogliare pari al 23% di quella presente poco prima del taglio, si siano registrati cali di LTI e di NCER di solo il 12 ed il 14% nell'ordine.

Indubbiamente, la metodologia seguita in questo studio si è rilevata efficace ed adeguata a cogliere variazioni anche piuttosto contenute della quantità di luce intercettata dalle chiome. Inoltre, il fatto

che la riduzione di NCER determinata dalla cimatura sia risultata meno che proporzionale a quella della superficie fogliare può essere spiegato in funzione di due meccanismi principali; la cimatura ha asportato prevalentemente foglie giovani caratterizzate da una bassa capacità di fotosintesi (Kriedemann et al., 1970) ed ha, con ogni probabilità, causato la "riesposizione" alla luce di foglie che erano prima prevalentemente ombreggiate.

In proposito, occorre sottolineare che determinare l'effetto che un intervento di cimatura dei germogli esercita sulla fisiologia della chioma intera è un'esigenza molto sentita anche dal mondo tecnico; la cimatura dei germogli è infatti un'operazione applicata piuttosto frequentemente e, in svariati casi, reiterata nel corso della stagione vegetativa. Nel caso della nostra indagine, l'effetto indotto dalla cimatura può essere meglio apprezzato se si pongono a diretto confronto gli andamenti di NCER registrati, per le due tesi a confronto, nel corso del 13 luglio (Fig. 5d).

La sensibilità del metodo

I tassi di fotosintesi totale della chioma sono risultati simili nelle prime ore del mattino e nel tardo pomeriggio quando vi è prevalenza di luce diffusa. Viceversa, nelle ore centrali della giornata (9-15), i valori di NCER misurati sulla tesi non cimata sono stati sensibilmente più elevati di quelli registrati su quella cimata. Questo tipo di comportamento induce a ritenere che un intervento di cimatura abbia un effetto sulla fotosintesi della chioma che è anche funzione del clima; nel caso specifico è plausibile ipotizzare che la cimatura abbia effetti meno pronunciati in ambienti in cui vi è prevalenza di giornate non perfettamente serene con rilevante quota di luce diffusa.

La correlazione ottenuta tra LTI e NCER, su base stagionale, è stata molto buona per

ambidue le tesi (Fig. 6), facendo registrare un $R^2 = 0.97$ per BD e un $R^2 = 0.94$ per AD. Conseguentemente, si può concludere che, almeno per sistemi di allevamento in parete verticale con spessore limitato della chioma, è possibile ricavare una stima sufficientemente precisa del valore di NCER a patto che i rilievi vengano effettuati con una elevata risoluzione spaziale e almeno in tre diversi momenti della giornata per tenere conto della variabilità generata dall'interazione tra posizione-inclinazione del sole e geometria della chioma.

I dati riportati in Fig. 6 sono stati interpolati con equazioni che richiamano, in termini di andamento, quelle utilizzate per descrivere le curve di saturazione luminosa della fotosintesi per foglie singole.

Rispetto a queste, tuttavia, gli andamenti sono più gradualmente e non mostrano il raggiungimento di un chiaro livello di saturazione. Inoltre, bisogna considerare che poiché gli andamenti riportati in Fig. 6 sono rappresentativi dell'intera chioma gli stessi, specie per i rilievi eseguiti più precocemente, inglobano l'effetto legato ad una quota di foglie "giovani" che, ovviamente, presentano livelli di fotosintesi inferiori a quelle di foglie già completamente espanse. In senso applicativo, il mancato raggiungimento di un chiaro punto di saturazione (definito come valore di luce intercettata oltre il quale non si registrano ulteriori incrementi di fotosintesi) suggerisce che il livello finale di sviluppo fogliare raggiunto dai due sistemi di potatura (pari a circa 2,5 m² per metro di parete) consente livelli di intercettazione luminosa ancora sub-ottimali rispetto alla massima NCER ottenibile.

I valori di fotosintesi misurati su foglie singole il 7 agosto sono risultati pari a $14,8 \pm 0,62 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ per la tesi a BASSA densità e di $14,0 \pm 0,43 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ per quella ad ALTA densità. Questi valori, se confrontati con quelli dedotti dalle misure condotte sulle chiome intere nel corso della giornata cronologica-



mente più prossima al 7 agosto (31 luglio) sono superiori di circa il 30%. Questa differenza è normale e concorda con quanto riportato in altre esperienze, poiché il dato relativo alla chioma ingloba effetti di variabilità relativa alla posizione ed all'esposizione luminosa che, ovviamente, sono assenti nel caso di misure effettuate su foglie singole mantenute in condizioni ottimali di illuminazione. Inoltre, occorre segnalare che il dato derivato dal sistema per chiome intere "ingloba" l'effetto di alcuni organi (legno vecchio, tralci, germogli, grappoli) che non svolgono attività fotosintetica o hanno un bilancio fotosintetico largamente deficitario.

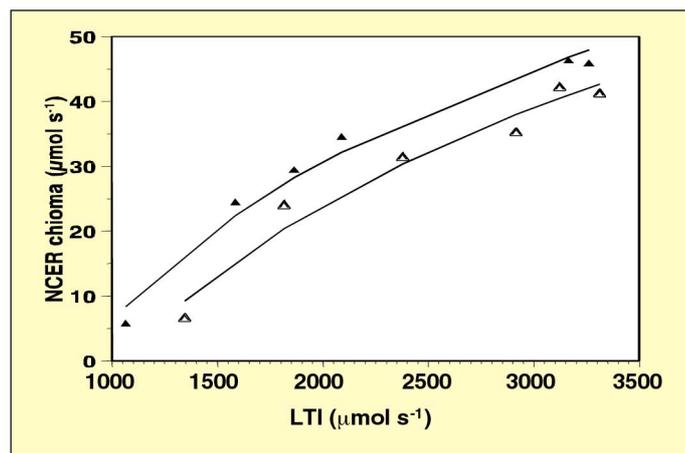
Utilizzo della radiazione

Relazione LTI-NCER diurna. La correlazione stagionale tra LTI e NCER (Fig. 6) diviene meno precisa ($R^2 = 0,80$ per BD e $R^2 = 0,79$ per AD) nel caso in cui la stessa venga calcolata non utilizzando il dato giornaliero mediato bensì i valori singoli relativi a ciascuna ora di rilievo (mattino, mezzogiorno solare, pomeriggio). Una spiegazione logica di questo fenomeno può essere dedotta commentando i dati riportati in Fig. 7 che mettono a diretto confronto i valori orari di LTI e di NCER per le due densità di germogli.

Al rilievo di mezzogiorno solare, il calo di LTI è stato, nell'ordine, pari al 27 ed al 25% per BD e AD a fronte di un calo di NCER contenuto entro il 13 ed il 17%. Viceversa, in occasione del rilievo pomeridiano (condotto circa tre ore dopo il mezzogiorno solare), a fronte di un valore di LTI sostanzialmente invariato, in entrambe le tesi, rispetto al dato di metà giornata, emerge un dato di NCER in calo del 15% per BD e del 18% per AD.

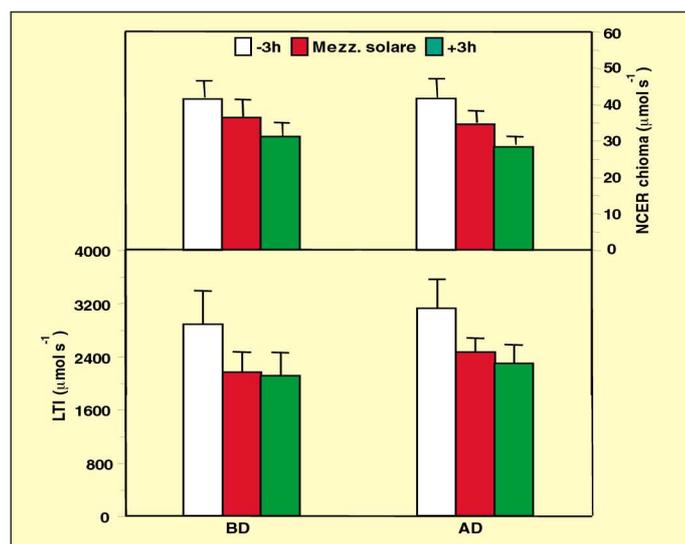
Ancora più esemplificativi sono gli andamenti riportati alla Fig. 8 in cui sono descritte le variazioni orarie di LTI e di NCER per le due tesi. I gra-

Fig. 6 - Correlazione stagionale tra TCLI e NCER per le tesi BD (▲) e AD (△)



Dati mediati sulle singole viti e sui valori presi a diverse ore nell'arco della giornata. I modelli non lineari utilizzati per l'interpolazione dei dati sono stati $y = -237,2 + 35,26 \ln x$; $R^2=0,98$ e $y = -258,1 + 37,1 \ln x$; $R^2 = 0,97$, per BD e AD, nell'ordine.

Fig. 7 - Istogrammi indicativi della variazione di NCER (alto) e TCLI (basso) a diverse ore nell'arco della giornata per le tesi BD e AD



Dati espressi come media \pm ES sulle singole viti e sulle diverse date di rilievo stagionali ($n = 12$).

fici evidenziano un aumento sincrono di LTI e NCER fino al rilievo delle 11 e 30 del mattino quando entrambi i parametri raggiungono i valori massimi. Successivamente, il declino di NCER si è rivelato più lento di quello di LTI fino a circa le 14 e 30.

Nel corso delle ore pomeridiane, a fronte di una leggera ripresa dei valori di LTI non si è mai evidenziata una corrispondente ripresa di fotosintesi. Peraltro, anche i dati di andamento giornaliero di

NCER riportati in Fig. 8 mostrano, in maniera molto consistente e ripetibile, che i valori massimi vengono raggiunti nella tarda mattinata e che in nessun caso si assiste ad un secondo picco pomeridiano. Gli andamenti di LTI e NCER di Fig. 8 confermano che, nelle specifiche condizioni di questa prova, i valori di NCER calcolati sulla base dei dati misurati di LTI possono risultare sottostimati per rilievi effettuati a mezzogiorno solare (o comunque per in-

clinazioni solari elevate) ed invece sovrastimati se dedotti da misure pomeridiane.

Per quanto riguarda il primo tipo di effetto (NCER sottostimati da misure di LTI effettuate nella parte centrale della giornata), altri studi avevano già evidenziato risposte simili sia pure in contesti culturali diversi. Ad esempio, Intriari et al. 1998 hanno evidenziato valori relativamente costanti di NCER/chioma per viti allevate con orientamento dei filari Nord-Sud nonostante che, a mezzogiorno solare, si fosse registrato, rispetto ai rilievi condotti al mattino ed al pomeriggio, un calo di luce totale intercettata compreso tra il 15 ed il 20%. Allo stesso modo, Lebon et al. (1995) sviluppando un modello di previsione della variazione giornaliera di luce intercettata e fotosintesi su chiome di vite, hanno verificato che il trend tipicamente bimodale di quantità di luce intercettata giornalmente da chiome orientate N-S non si ripeteva con altrettanta regolarità nel caso della fotosintesi che, anzi, presentava un andamento relativamente costante e decisamente simile a quello tipicamente ritrovato in chiome orientate Est-Ovest.

E' evidente che questa discrepanza tra quantità di luce intercettata e fotosintesi misurata nelle ore centrali della giornata sposta l'attenzione sulla distribuzione della luce nell'intorno della chioma e, in particolare, sul ruolo svolto dalla frazione di luce diretta e da quella di luce diffusa.

Nella nostra indagine, in cui sono state utilizzate chiome con parete di limitato spessore, è plausibile ritenere che quando il sole si trova allo zenit e quindi è solo la porzione orizzontale superiore della chioma a ricevere luce diretta, l'intensità di luce diffusa che interessa entrambi i lati della chioma è comunque di intensità tale da non penalizzare in maniera eccessiva la fotosintesi.

Anche nel caso del pomeriggio vi è una discrasia tra LTI e NCER che, tuttavia, in questo caso, va in direzione opposta. Nel caso specifico,

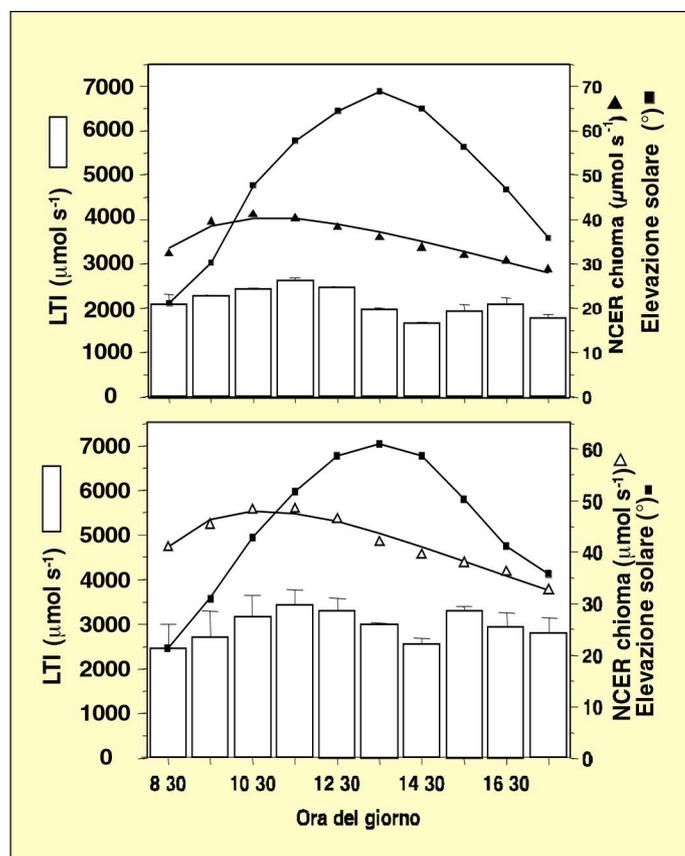


infatti, pur in presenza di una quantità di LTI che non decresce, i valori di NCER mostrano invece un calo piuttosto evidente. Anche se in questo lavoro di tesi non sono state condotte misure di traspirazione, è possibile rilevare che il graduale ma costante declino pomeridiano del tasso di NCER è associato ad un corrispondente incremento del valore di VPD (vedi Figg. 4 e 5) che, mediamente, fa segnare un picco intorno alle 16 del pomeriggio. In questo caso è possibile che vi sia stato, pur in presenza di adeguato rifornimento idrico ai vasi, un fenomeno di temporaneo "sfasamento" tra richiesta di traspirazione e capacità di assorbimento che può avere provocato una parziale chiusura stomatica. Naturalmente, non si può escludere che a questo fenomeno possano concorrere meccanismi di altra natura (ad esempio sintesi di ABA che viene poi traslocato per via xilematica alle foglie). In proposito occorre segnalare che Carbonneau et al., 1985, in un lavoro condotto sulla medesima varietà (Cabernet S.) sia in vaso che in campo, hanno evidenziato, per chiome orientate NS, un marcato declino di fotosintesi nelle ore pomeridiane non accompagnato da alcuna variazione della resistenza stomatica. Questo risultato, peraltro confermato anche da altri studi (Downton et al., 1997; Haasbroek et al. 2000), sottolinea l'importanza che fattori di natura non-stomatica possono avere nel condizionamento dell'andamento giornaliero della fotosintesi nella vite.

Considerazioni conclusive

L'ipotesi di lavoro formulata in questo lavoro di tesi si è rivelata nel complesso corretta e sufficientemente supportata dai dati acquisiti: in particolare si può affermare che una misura, relativamente semplice da effettuare, di luce totale intercettata può condurre ad una stima atten-

Fig. 8 - Variazione oraria di LTI ed elevazione solare rilevata per la tesi BD (alto) il 25 giugno (giorno giuliano 176). I valori orari di NCER si riferiscono invece a dati del 24 giugno (giorno giuliano 175). In basso, variazione oraria di LTI ed elevazione solare per la tesi AD rilevati il 30 luglio (giorno giuliano 211)



I valori di NCER si riferiscono a misure effettuate il 29 luglio (giorno giuliano 210). Valori di LTI mediati sulle singole viti \pm ES. Le equazioni dei modelli non lineari calcolati per NCER sono le seguenti: $y = -46,51 + 1891,6/x - 10295,1/x^2$, $R^2 = 0,95$ per BD e $y = -54,14 + 2187,7x - 11710,7/x^2$, $R^2 = 0,97$ per AD.

dibile di fotosintesi totale indipendentemente dalla densità dei germogli che compongono la chioma.

La bontà della stima è comunque vincolata all'utilizzo di un sensore lineare ad elevata risoluzione spaziale ed all'effettuazione dei rilievi in almeno tre diversi momenti della giornata.

Conseguentemente, questo metodo può essere utilizzato per confrontare, su base stagionale, l'efficienza fotosintetica di sistemi di allevamento che differiscono per struttura portante, distribuzione e densità di superficie fogliare.

Più in generale le curve di "saturazione" riportate in Fig. 7 contengono informa-

zioni preziose in merito al ritmo con cui la fotosintesi della chioma aumenta con il progressivo accumularsi di superficie fogliare ed al livello di superficie fogliare finale che, di fatto, "costituisce" il punto di saturazione.

Questo livello ha una indiscutibile rilevanza fisiologica poiché definisce la densità fogliare ottimale di una chioma che, per essere tale, da una lato deve consentire la massima intercettazione di energia radiante e, dall'altro, deve prevenire il verificarsi di fenomeni di ombreggiamento internodi che possono essere assai pregiudizievoli per la qualità finale delle uve.

Riassunto

In questo lavoro si produce una quantificazione del grado di precisione con il quale misure di luce totale intercettata dalla chioma (LTI) sono in grado di stimare il tasso di scambio netto di CO₂ dell'intera parte epigea.

Le viti in prova, dislocate lungo un filare orientato 35° NE-SO ed allevate in parete verticale, sono state assegnate a due trattamenti: bassa e alta densità dei germogli corrispondenti nell'ordine a circa 10 e 20 germogli per metro.

Nel corso della stagione 2001, la LTI è stata misurata in varie date e, all'interno di ogni data, a vari intervalli di tempo utilizzando una barra multipla lineare autocostruita munita di 64 fotodiodi spaziali di 3,5 cm. I fotodiodi presentavano sensibilità fotonica nella banda compresa tra 300 e 1100 nm e la barra è stata mossa lungo il filare delle viti in prova ad intervalli di 10 cm.

Il tasso di scambio netto di CO₂ dell'intera chioma (NCER) è stato determinato, in giornata serena temporalmente vicine a quelle riservate ai rilievi di intercettazione luminosa, utilizzando un sistema ad inglobamento, anch'esso autocostruito.

TLI e NCER sono risultate altamente correlate, su base stagionale, sia per il sistema a bassa densità di germogli ($R^2 = 0,97$) sia per quello ad alta densità ($R^2 = 0,94$).

La correlazione si è rivelata meno precisa ($R^2 = 0,80$ e $0,79$ per "bassa" e "alta" densità, nell'ordine) quando i dati sono stati analizzati mantenendo separate le diverse ore della giornata. Il tasso di NCER derivato dalle misure di LTI è risultato leggermente sottostimato rispetto a quello reale per i rilievi presi a mezzogiorno solare, mentre il risultato opposto (leggera sovrastima) è stato trovato per le misure eseguite nelle ore pomeridiane.

Tuttavia, per entrambi i sistemi di crescita esaminati, la nostra metodologia si è rivelata sufficientemente affidabile sia per stimare la pro-



gressione stagionale di NCER e sia per definire il valore di superficie fogliare per vite che definisce il valore massimo di NCER oltre il quale la produzione di nuova vegetazione sortisce l'effetto di aumentare l'ombreggiamento reciproco delle foglie con minimi guadagni in termini di fotosintesi.

Abbreviazioni e definizioni. GDC Doppia cortina tipo GDC; NCER tasso di scambio netto di CO₂; PFD densità di flusso fotonico, LTI luce totale intercettata

Parole chiave: *Vitis vinifera* L., sistema di allevamento, fotosintesi della chioma, trasmissione della luce, andamento diurno, densità della chioma

Bibliografia

- Baggiolini, M. (1952) Les stades repérés dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. *Revue Romande d'Agriculture, de Viticulture et d'Arboriculture* 1, 4-6.
- Bravo, B.A., Hepner Y., Loinger, C., Cohen, S., Tabacman, H. (1984) Effect of crop level on growth, yield and wine quality in a high yielding Carignan vineyard. *Amer. J. Enol. Vitic.* 35: 247-252
- Carbonneau, A., Huglin, P. (1982) Adaptation of training systems to French regions. In *Grape and Wine Centennial Symposium Proceedings*. Ed. A.D. Webb, Univ. California, Davis, pp. 376-382.
- Carbonneau, A., De Loth, C. (1985) Influence du régime d'éclairage journalier sur la résistance stomatique et la photosynthèse brute chez *Vitis vinifera* L. cv. "Cabernet Sauvignon". *Agronomie* 5, 631-638.
- Cavallo, P., Poni, S., Rotundo, A. (2001) Ecophysiology and vine performance of cv. "Aglanico" under various training systems. *Scientia Hort.* 87, 21-32.
- Clingeffer P.R. (1993) Vine response to modified pruning practices. *Proc. 2nd N. Shaulis Grape Symp. on Pruning mechanization and crop control*, Fredonia, NY, July 13-14, USA, p.20-30.
- Corelli Grappadelli L., Magnanini E. (1993) A whole-tree system for gas-exchange studies. *HortScience* 28, 41-46.
- Dokoozlian, N.K., Kliewer, W.M. (1995a) The light environment within grapevine canopies. I. Description and seasonal changes during fruit development. *Amer. J. Enol. Vitic.* 46, 209-218.
- Dokoozlian, N.K., Kliewer, W.M. (1995b) The light environment within grapevine canopies. II. Influence of leaf area density on fruit zone light environment and some canopy assessment parameters. *Amer. J. Enol. Vitic.* 46, 219-226.
- Downton, W.J.S., Grant, W.J.R., Loveys, B.R. (1987) Diurnal changes in the photosynthesis of field-grown grapevines. *New Phytol.* 105, 71-80.
- Eynard, I., Dalmasso, G. (1990) *Viticultura moderna*. 9th Edn. Hoepli, Milano, pp. 778.
- Giuliani, R., Magnanini, E., Fragassa, C., Nerozzi, F. (2000) Ground monitoring the light-shadow windows of a tree canopy to yield canopy light interception and morphological traits. *Plant Cell and Environment* 23: 783-796.
- Haasbroek, P.D., Myburgh, J., Hunter, J.J. (2000) Modelling sunlight interception and photosynthetic activity – correlation with field data. *Acta Hort.* 526, 365-371.
- Intrieri, C., Poni, S., Rebutti B., Magnanini E. (1997) Effects of canopy manipulations on whole-vine photosynthesis: results from pot and field experiments. *Vitis* 36, 167-173.
- Intrieri, C., Poni, S., Rebutti B., Magnanini E. (1998) Row orientation effects on whole-canopy gas exchange of potted and field-grown grapevines. *Vitis* 37, 147-154.
- Intrieri, C., Filippetti, I. (2000) Innovations and outlook in grapevine training systems and mechanization in North-Central Italy. *Amer. J. Enol. Vitic.* 51: 170-184.
- Jackson, D.I., Lombard, P.B. (1993) Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality – a review. *Amer. J. Enol. Vitic.* 44, 409-430.
- Kliewer, W.M., Weaver, R.J. (1971) Effect of crop level and leaf area on the growth, composition and coloration of Tokay grapes. *Amer. J. Enol. Vitic.* 22, 172-177.
- Kriedemann, P.E., Kliewer, W.M., Harris, J.M. (1970) Leaf age and photosynthesis in *Vitis vinifera* L. *Vitis* 9, 97-104.
- Lakso, A.N. (1994) Apple. In *Handbook of environmental physiology of fruit crops*. Volume I. Temperate Crops. Eds. B. Schaffer and P.C. Andersen. CRC Press, Florida, pp.3-42.
- Lebon, E., Dumas, V., Schultz, H.R. (1995) Application d'un modèle d'interception du rayonnement solaire par la vigne pour la simulation du bilan hydrique et de la photosynthèse a l'échelle du couvert: Résultats préliminaires. In *Compte Rendu 8 GESCO*, Ed. R.Castro, Vairao, Portugal, pp 31-39.
- Long, S.P., Hallgren, J.E. (1985) Measurement of CO₂ assimilation by plants in the field and the laboratory. In "Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis" Eds. J., Coombs, D.O. Hall, S.P. Long and J.M.O. Scurlock, Pergamon Press, Oxford, pp. 62-93.
- Mabrouk H., Sinoquet H. (1998). Indices of light microclimate and canopy structure of grapevines by 3D digitising and image analysis, and their relationship to grape quality. *Austr. J. Grape and Wine Research* 4, 2-13.
- May, P., Shaulis, N.J., Antcliff, A.J. (1969) The effect of controlled defoliation in the Sultana vine. *Amer. J. Enol. Vitic.* 20, 237-250.
- Poni, S., Lakso, A.N., Turner, J.R., Melioso, R.E. (1994) Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field-grown Concord grapevines. *Amer. J. Enol. Vitic.* 45, 252-258.
- Poni, S., Intrieri, C. (1996) Physiology of grape leaf ageing as related to improved canopy management and grape quality. In *Proc. 9th Austr. Wine Industry Tech. Conf.*, Adelaide 16-19 July 1995. Eds. C.S. Stockley, A.N. Sas, R.S. Johnstone and T.H. Lee, Winnetitles, Adelaide, pp. 113-122.
- Poni, S., Lakso, A.N., Intrieri, C., Rebutti, B., Filippetti, I. (1996) Laser scanning estimation of relative light interception by canopy components in different grapevine training systems. *Vitis* 35, 177-182.
- Poni, S., Intrieri, C., Magnanini, E. (1997) An automated chamber system for measurements of whole-vine gas exchange. *HortScience* 32, 64-67.
- Riou C., Valancogne C., Pieri Ph. (1989) Un modèle simple d'interception du rayonnement solaire par la vigne. *Vérification expérimentale*. *Agronomie* 9, 441-450.
- Ross J. (1981) *The Light Regime and Architecture of Plant Stands*. Junk Publishers, The Hague, the Netherlands.
- Shaulis, N.J., Amberg, H., Crowe, D. (1966) Response of Concord grapes to light exposure and Geneva Double Curtain training. *Proc. of the Amer. Soc. Hort. Sci.* 89, 268-280.
- Smart R.E. (1973) Sunlight interception by vineyards. *Amer. J. Enol. Vitic.* 24, 141-147.
- Smart R.E. (1985) Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *Amer. J. Enol. Vitic.* 36, 230-239.
- Smart, R.E., Smith, S.M., Winchester, R.V. (1988) Light quality and quantity on fruit ripening for Cabernet Sauvignon. *Amer. J. Enol. Vitic.* 39, 99-108.
- Thimijan, R.W., Heins, R.D. (1983) Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. *HortScience* 18, 818-822.
- Williams, L.E., Dokoozlian, N.K., Wample, R.L. (1994) Grape. In *Handbook of environmental physiology of fruit crops*. Volume I. Temperate Crops. Eds. B. Schaffer and P.C. Andersen. CRC Press, Florida, pp.85-134.
- Zufferey V., Murisier F., (1997) Orientation des rangs de vigne et interception de l'énergie lumineuse par le feuillage. *Revue Suisse de Vitic., Arboric., Hortic.* 29, 239-243.

