

CAPITOLO 7

ASSORBIMENTO, TRASPORTO E PERDITE DI ACQUA NELLA VITE

Maurizio Boselli

- 7.1 • Movimenti dell'acqua attraverso gli organi della vite
- 7.2 • Fattori che influenzano il potenziale idrico della vite
- 7.3 • Movimenti dell'acqua nelle foglie e fuori di esse

- 7.4 • Ruolo degli stomi nel movimento dell'acqua
- 7.5 • Movimenti dell'acqua nelle bacche e fuori di esse
- 7.6 • Stress idrico e regolazioni fisiologiche della vite

MOVIMENTI DELL'ACQUA ATTRAVERSO GLI ORGANI DELLA VITE

Le piante hanno bisogno di una ingente quantità d'acqua per sopravvivere, anche se di tutta l'acqua che esse assorbono dal terreno, la stragrande maggioranza viene rilasciata nell'atmosfera sottoforma di vapore acqueo a causa di un processo noto come traspirazione; di conseguenza le piante devono continuamente rimpiazzare l'acqua che perdono con altra che assorbono dal terreno. Ciò causa la formazione di un continuo flusso di acqua che va dal terreno all'atmosfera noto come *continuum* suolo-pianta-atmosfera.

La traslocazione dell'acqua nel sistema suolo-pianta-atmosfera si basa su differenze di potenziale idrico entro e fra queste tre componenti.

Infatti l'acqua nella pianta si muove passivamente dai punti ad alta energia ai punti a bassa energia (da alto a basso potenziale idrico). Il potenziale idrico (Ψ) è la misura dell'energia libera dell'acqua rispetto ad uno stato standard ed è espresso, come unità di misura, in bars o più modernamente in MPa (1 bar=0,1 MPa). Un punto ad alta energia ha un piccolo valore negativo, per esempio -0,05 MPa; un punto a bassa energia ha un alto valore negativo, per esempio -100 MPa.

Per questo motivo l'acqua si muove, attraverso la pianta, dal terreno all'atmosfera (Figura 7.1).

La teoria della coesione spiega che i movimenti dell'acqua in flusso continuo sono possibili grazie ai legami di idrogeno mediante i quali le molecole d'acqua sono attratte le une dalle altre a formare legami deboli tra di esse. Benchè ogni legame di idrogeno sia considerato debole, la loro intensa rete determina comunque una forte coesione tra le molecole di acqua che vengono tenute insieme nello xilema. Il bassissimo potenziale idrico dell'atmosfera guida il movimento delle molecole d'acqua costituite in rete dal suolo ai siti di traspirazione nelle foglie.

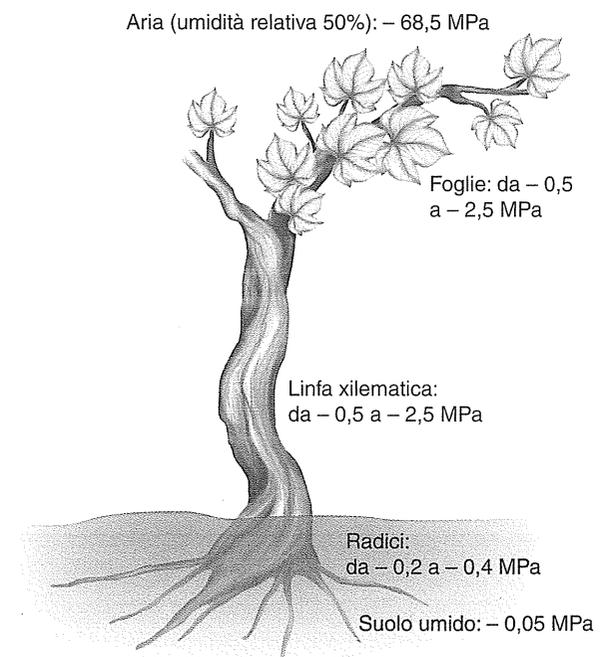


Figura 7.1
Valori indicativi del potenziale idrico. Il movimento dell'acqua si realizza dal suolo (alto Ψ) all'atmosfera (basso Ψ) attraverso la pianta.

L'acqua è trasportata dallo xilema all'interno della foglia mediante l'adesione delle molecole d'acqua alla superficie idrofilica delle pareti cellulari del mesofillo fogliare, che in particolare sono rappresentati dagli spazi d'aria della foglia, dove avviene l'evaporazione dell'acqua. I piccoli pori nelle pareti di queste cellule generano sufficiente tensione per trascinare verso l'alto l'intera colonna d'acqua dalle radici alle foglie.

La vite dispone di vasi xilematici relativamente larghi il cui diametro varia da 10 a 100 μm . Questa loro dimensione elevata non può spiegare l'eventuale azione capillare (= interazione tra le molecole di un liquido e di un solido) esercitabile sulla risalita dell'acqua. Infatti, solo dimensioni più ridotte potrebbero sostenere la colonna d'acqua mediante capillarità.

I movimenti dell'acqua attraverso la vite sono influenzati da diversi fattori:

- la disponibilità di acqua nel suolo in dipendenza di vari fattori come la profondità del suolo, la sua struttura e tessitura, lo sviluppo dell'apparato radicale e la competizione per l'acqua disponibile con le altre piante;
- i fattori atmosferici come il Deficit di Pressione di Vapore (VPD)¹, il vento, la radiazione solare, la temperatura e l'umidità dell'aria influenzano le perdite di acqua dalle foglie e dalle bacche attraverso il processo chiamato traspirazione;
- la capacità delle diverse varietà di vite di regolare il movimento dell'acqua attraverso di esse che le distingue in varietà isoidriche e anisoidriche.

Come precedentemente illustrato, l'acqua si muove passivamente nella pianta dai punti ad alta energia (alto potenziale idrico) verso quelli a bassa energia (basso potenziale idrico) per unità di volume. La differenza di potenziale consente all'acqua di muoversi dal suolo alle radici, nel tronco, nelle branche e nei capi a frutto, dentro i germogli, fino alle foglie e alle bacche e da queste nell'atmosfera. Il movimento dell'acqua attraverso tutta la pianta si chiama "corrente traspiratoria". La misura del potenziale idrico consente di determinare lo stato idrico della vite e di quantificare il livello di stress idrico. Se viene presa la misura del potenziale idrico in due punti della pianta, i valori misurati indicano la direzione verso la quale il flusso dell'acqua avviene. Un bassissimo valore di potenziale idrico nell'atmosfera (valore molto negativo come -100 MPa) favorisce la traspirazione. Nella vite la traspirazione avviene dalle foglie attraverso gli stomi, che rappresentano la via principale, e attraverso la cuticola. Anche le bacche traspirano.

Con la traspirazione, la pianta perde tra il 95 e il 99% dell'acqua assorbita dal suolo con le radici. Una piccola percentuale (circa l'1%) è impiegata per la fotosintesi e la rimanente quantità non traspirata è impiegata per lo sviluppo dei diversi organi, considerando che le cellule sono per l'80-90% costituite di acqua.

I diversi organi vegetali della vite contengono dal 70 al 95% di acqua, mentre gli organi legnosi, come il tronco e le branche, e le radici ne contengono circa il 60%. La maggior parte di questa acqua serve da solvente per gli ioni e per le molecole organiche all'interno delle cellule della vite.

Le molecole d'acqua attraversano la membrana cellulare mediante delle proteine canale denominate acquaporine, che variano in numero e che possono aumentare la permeabilità delle membrane cellulari (conduttività idraulica) anche di 50 volte.

La concentrazione di soluti in cui sono dissolti gli ioni e le piccole molecole organiche all'interno delle cellule è sempre superiore che all'esterno.

Infatti la presenza di soluti all'interno della cellula esercita una trazione sulle molecole d'acqua che circondano la cellula e questa tensione si definisce "potenziale osmotico". Tanto più alta è la concentrazione dei soluti, quanto più acqua entra nelle cellule.

La pressione idrostatica che si genera all'interno delle cellule vive si chiama "turgore". Nella vite in condizioni di stress idrico la pressione all'interno delle cellule diminuisce e di conseguenza il turgore, con sintomi di avvizzimento e riduzione della crescita.

La pressione di turgore è mantenuta regolando il potenziale osmotico interno mediante l'accumulo di soluti osmoticamente attivi. Alcuni di questi che la pianta impiega per regolare il suo potenziale osmotico sono la prolina e gli aminoacidi in generale, gli zuccheri, cationi e anioni, come il potassio, i cloruri e il malato. La regolazione del potenziale osmotico è considerato un meccanismo di tolleranza allo stress idrico.

1. VPD: è un fattore ambientale molto importante perché regola il funzionamento stomatico delle piante. L'aumento di VPD, legato all'aumento di temperatura dell'aria e alla radiazione solare, provoca un aumento della traspirazione fogliare, con conseguente abbassamento del potenziale idrico fogliare e la chiusura stomatica.

FATTORI CHE INFLUENZANO IL POTENZIALE IDRICO DELLA VITE

7.2.1 Potenziale idrico del suolo

Nella misura in cui la vite estrae acqua dal suolo, il potenziale idrico del suolo diminuisce e, come risposta, la vite abbassa il suo potenziale idrico per creare un gradiente di flusso fra il terreno e la pianta. La pioggia o l'irrigazione che ripristinano le dotazioni idriche del suolo provocano l'aumento del potenziale idrico sia nel suolo, sia nella pianta. Fattori come la struttura fisico-meccanica del suolo, la profondità o la salinità influenzano il suo potenziale idrico e quindi anche quello della vite (si veda anche il Capitolo 8, pag. 167-168).

7.2.2 Distribuzione e attività delle radici

Oltre alla funzione di ancoraggio, la maggior funzione del sistema radicale è l'assorbimento dell'acqua. Il trasporto dell'acqua dall'apparato radicale alla parte aerea avviene in modo efficiente se c'è abbondanza d'acqua nel terreno (potenziale idrico del suolo maggiore di -0,1 MPa), quindi diminuisce progressivamente con la carenza idrica. Questo è aggravato dal fatto che solo una piccola quantità di radici può essere in contatto con l'acqua all'interno del suolo.

La perdita d'acqua dalle foglie per traspirazione è la forza motrice per l'assorbimento dell'acqua dal suolo. Altri organi della pianta possono perdere acqua, ma in quantità minore rispetto alle foglie. La diminuzione del potenziale idrico delle foglie determina una diminuzione del gradiente di potenziale fra foglie e radici così che l'acqua può fluire liberamente. Le piante possono continuare ad assorbire solo fino a quando il loro potenziale idrico è minore di quello della sorgente d'acqua.

La forma dell'apparato radicale è influenzata dalla modalità di propagazione. Le piante derivate da seme tendono ad avere radici fittonanti di grandi dimensioni, dalle quali si sviluppano le secondarie. Nel caso di propagazione per talea e per innesto il sistema radicale è molto ripartito e sono presenti diverse classi di radici. La maggiore struttura radicale (6-10 mm di diametro) si trova ad una profondità di 30-35 cm dalla superficie del suolo (corrispondente alla base del portinnesto) e si spinge anche a oltre 1 m di profondità; il loro numero rimane costante dopo il terzo anno dall'impianto. Le radici permanenti più piccole (3-6 mm) si sviluppano dalla struttura precedente e sono denominate *spreaders* (a sviluppo orizzontale) e *sinkers* (a sviluppo verticale); queste si ramificano e producono radici fibrose dette "assorbenti", effimere e rimpiazzate in continuazione da nuove radici laterali. Benchè i *sinkers* penetrino nel suolo a profondità considerevoli, le radici fibrose, che rappresentano la maggior parte della massa radicale, si ritrovano principalmente ad una profondità di 20-50 cm in dipendenza del portinnesto, del tipo di suolo e dall'età della pianta (Figura 7.2).

L'acqua penetra radialmente attraverso l'epidermide, l'esoderma, la corteccia, l'endoderma, il periciclo, il parenchima fino ad arrivare allo xilema.

Stedle (2000, 2001) ha illustrato le variazioni possibili nella conducibilità idrica delle radici (L_p = conduttanza idraulica normalizzata della superficie della radice) in termini di modelli di trasporto assai variabili in funzione della struttura anatomica delle stesse nelle quali l'acqua può muoversi radialmente fino agli xilemi seguendo tre vie: attraverso l'apoplasto, il simplasto o attraversando le cellule.

La strada di ingresso dell'acqua è determinata dall'anatomia delle radici e da alcuni siti strategici della parete cellulare chiamati *acquaporine*² che ne regolano l'assorbimento.

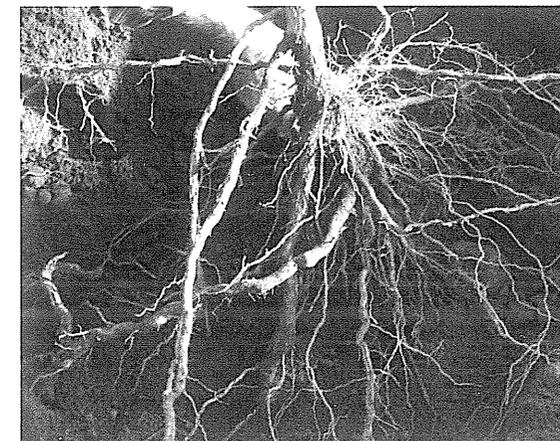


Figura 7.2
Apparato radicale del portinnesto 1103P.

2. Le acquaporine appartengono alla famiglia delle maggiori proteine di membrana (MIP). Le acquaporine sono dei canali d'acqua trovati in molti degli organismi viventi coinvolti in differenti processi fisiologici (Vandeleur *et al.*, 2009). Esse mantengono il trasporto dell'acqua dalle radici alle foglie e possono modificare in modo rapido e reversibile la conduttanza idraulica modulando la permeabilità delle membrane (Hayes *et al.*, 2007; Surbanovski e Grant, 2014). Nella vite giocano un ruolo essenziale nell'adattamento allo stress idrico mantenendo l'omeostasi dell'acqua e degli ioni nei continui cambiamenti ambientali (Vandeleur *et al.*, 2009).

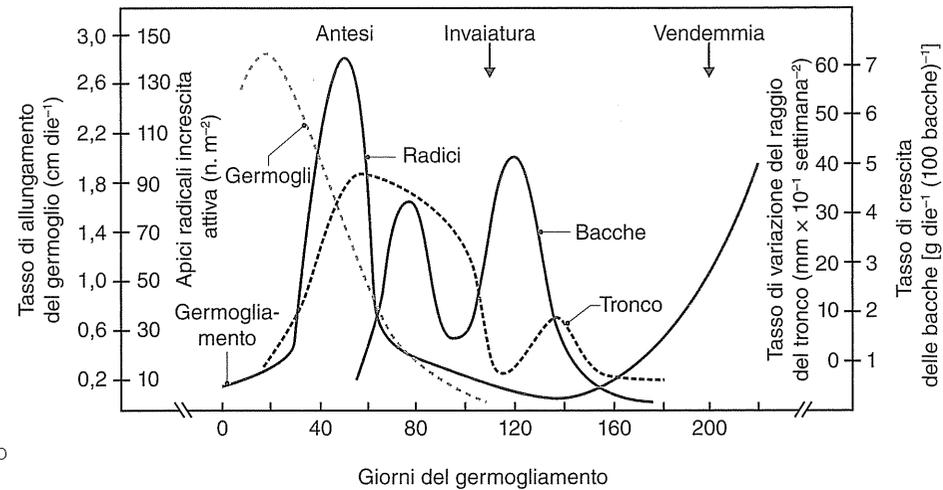


Figura 7.3
Tasso di crescita dei germogli, del tronco e delle radici in relazione allo sviluppo delle bacche della varietà Colombard in Sud Africa (da Van Zyl, 1984, riportato da Williams e Matthews, 1990).

Lo stress idrico modifica anatomicamente le radici che suberificano soprattutto nella parte centrale dell'estate quando aumenta la temperatura del suolo e diminuisce l'acqua. La conduttanza idraulica, che esprime la permeabilità all'acqua delle pareti cellulari, diminuisce con l'età delle radici nelle quali la suberificazione e la conseguente perdita di superficie della corteccia riducono le zone disponibili per l'assorbimento dell'acqua.

In realtà le radici suberificate non sono totalmente impermeabili all'acqua: infatti possiedono ancora dal 40 al 70% della conduttanza idraulica di quelle non suberificate.

Alla fine della stagione di crescita molte radici sono morte. Altre invece sono coperte dal periderma che aumenta la possibilità di sopravvivenza anche in suoli aridi. Quando le condizioni di suolo ritornano favorevoli, le radici suberificate riprendono a sviluppare dall'apice meristematico o creando nuove ramificazioni.

Nei climi temperati e mediterranei l'apparato radicale della vite cresce soprattutto tra fioritura e invaiatura, mentre durante l'estate la crescita avviene solo se il contenuto di acqua del suolo è sufficiente (Figura 7.3). Inoltre, può verificarsi una piccola crescita post-raccolta ancora in climi temperati.

Escalona *et al.*, (2012) hanno scoperto che in regime irriguo le perdite stimate di carbonio dalle radici dovute alla respirazione sono pari a 47-65 grammi per pianta. Questa perdita equivale al 30-50% del totale assorbito con la fotosintesi. Inoltre, la respirazione dall'apparato radicale rappresenta il 70-80% delle perdite totali di carbonio. La percentuale rimanente è costituita dalle perdite per respirazione che si hanno dalle foglie e dai germogli.

La distribuzione delle radici lungo il profilo del terreno è determinata dalle caratteristiche edafiche e dalle pratiche colturali, dalla compattezza del suolo, naturale o determinata dall'uomo, e dalla presenza di strati impermeabili. Le pratiche colturali che influenzano la distribuzione radicale includono la modalità di irrigazione (subirrigazione, a goccia, soprachioma, scorrimento), la densità d'impianto e le caratteristiche genetiche della combinazione vitigno-portinnesto (Figura 7.4).

La maggior parte delle radici si trova nel primo metro di profondità, ma se ne possono trovare anche a 6 m. Con l'irrigazione a goccia le radici si concentrano nel primo metro di profondità (50% nei primi 0-20 cm), mentre con l'irrigazione a solchi esse si distribuiscono lungo tutto il profilo del terreno. Con l'irrigazione a goccia l'umidità è bassa fra i filari e la maggior parte delle radici si ritrova fra le piante sul filare, ravvicinate al punto di bagnatura.

Il metodo di irrigazione ha un effetto significativo sulla distribuzione dell'apparato radicale. Per esempio, con l'irrigazione a goccia le radici sono ampiamente concentrate nella zona bagnata dal gocciolatore. Solo con una sufficiente pioggia naturale le radici hanno la possibilità di espandersi e esplorare gli strati più profondi del suolo.

Interessante rilevare che nel suolo c'è un trasferimento interno di acqua dalle zone ben idratate a quelle sicche. Questa redistribuzione consente la sopravvivenza delle radici nella porzione di suolo secco e avviene durante i periodi a bassa domanda traspirativa da parte della pianta e soprattutto la notte quando gli stomi sono chiusi. Nei vigneti irrigati, le radici che si sono sviluppate al centro dell'interfilare sopravvivono proprio per questo trasferimento di acqua dalle aree bagnate del sottilare.

La distribuzione delle radici è anche influenzata dal vitigno e dal portinnesto.

La distribuzione spaziale delle radici tende prioritariamente ad essere condizionata dal tipo di suolo, ma la densità delle radici all'interno del profilo è anche in funzione del portinnesto. Infatti, in condizioni di terreno simili, i portinnesti che

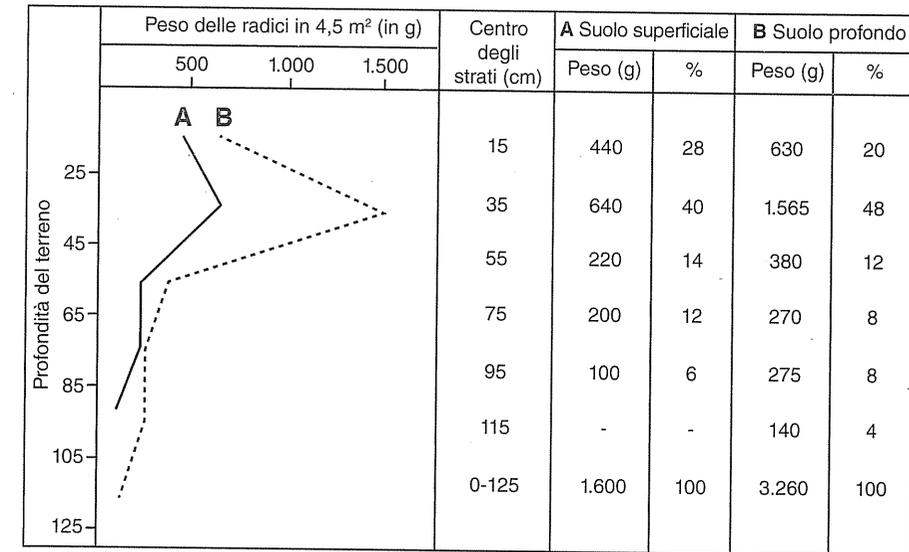


Figura 7.4
Influenza della profondità del suolo sul peso delle radici e profilo radicale corrispondente. Aramon su Rupestris du Lot (da Branas e Vergnes, 1957).

differiscono nella loro capacità di conferire vigore e tolleranza alla siccità alla marza hanno differenze di sviluppo delle radici, che possono essere correlate a diverse strategie per superare un deficit idrico.

In periodi di carenza d'acqua, i portinnesti che tendono a indurre più vigore e maggiore tolleranza alla siccità mostrano una crescita delle radici più rapida, se durante la stagione si presentano condizioni di terreno umido (Bauerle *et al.*, 2008).

I portinnesti con apparati radicali profondi sopportano meglio i periodi di siccità, in particolare durante la seconda parte della stagione; è stato riscontrato che le radici che si trovano più in profondità nel terreno hanno una durata più lunga rispetto a quelle poco profonde (Anderson *et al.*, 2003).

Inoltre, i portinnesti di vite resistenti alla siccità formano un maggior numero di radici giovani lungo il profilo del suolo nel corso di una stagione calda e siccitosa, aumentando così l'assorbimento di acqua rispetto ai portinnesti sensibili alla siccità (Alsina *et al.*, 2011). Poiché sono gli apici radicali molto attivi nell'assorbire l'acqua (Zwieniecki *et al.*, 2003), la formazione di nuove radici migliora l'approvvigionamento idrico della pianta (Alsina *et al.*, 2011).

L'alta densità di impianto generalmente determina una riduzione della massa radicale per pianta, ma incrementa altresì la densità radicale per unità di volume di suolo e favorisce lo sviluppo delle radici in profondità. La maggiore densità radicale determina una più rapida estrazione dell'acqua in primavera.

Forme d'allevamento a sviluppo elevato favoriscono l'aumento della densità radicale poiché esiste un bilanciamento fra dimensioni dell'apparato epigeo e ipogeo.

Le lavorazioni meccaniche del suolo diminuiscono la densità radicale nei primi strati del terreno, mentre l'inerbimento ha l'effetto opposto.

Le radici sono anche il luogo di sintesi di ormoni endogeni: gli apici sono produttori di citochinine, soprattutto di zeatina e di gibberelline. In presenza di stress idrico c'è una riduzione di traslocazione di citochinine verso la parte aerea con ridotta produzione di femmine, poiché le gemme pronte non schiudono.

Le citochinine, che sono sintetizzate principalmente nelle radici, sono state descritte come antagoniste dell'ABA nella chiusura stomatica (Dodd, 2005).

Inoltre, in condizioni di deficit idrico del suolo, la concentrazione di citochinine nelle radici è ridotta, determinando un minor contenuto dell'ormone nei germogli, con conseguente riduzione della crescita vegetativa (Stoll *et al.*, 2000).

La tolleranza alla siccità relativamente più elevata delle radici rispetto ai germogli coinvolge probabilmente la regolazione osmotica e i cambiamenti nella parete cellulare.

Tali adattamenti differiscono tra la parte apicale e basale della radice, coinvolgendo meccanismi quali: un aumento delle proteine di parete (espansine), cambiamenti nella composizione polisaccaridica della stessa e variazione dell'espressione genica; meccanismi, in grado di proteggere l'apice della radice e permetterne la crescita anche con basso contenuto idrico del suolo (Wu e Cosgrove, 2000).

Inoltre, la produzione di ABA nelle radici quando la pianta è soggetta a stress idrico, è una modalità attraverso la quale le radici segnalano alle foglie di chiudere gli stomi (*root to shoot signaling*). Lovisolo *et al.*, (2002) hanno confermato che l'ABA viene sintetizzato dalle radici in risposta allo stress idrico.

A seguito di questo, l'ABA viene trasportato attraverso lo xilema alle parti aeree della pianta, dove regola il funzionamento degli stomi e l'attività dei meristemi apicali dei germogli (Jiang e Hartung, 2008).

Oltre al segnale di tipo chimico, nel meccanismo di regolazione stomatica è coinvolto anche un segnale di tipo idraulico che lavorano in sinergia.

Nella *V. vinifera* ci sono due geni, *VvNCED* e *VvZEP*, che sono coinvolti nella via biosintetica dell'ABA (Soar *et al.*, 2004) in risposta al deficit idrico in cui si possono trovare le radici (Seo e Koshiba, 2002).

Soar *et al.*, (2006) hanno ipotizzato che la differenza nella concentrazione di ABA nello xilema dei diversi portinnesti non sia dovuta alla loro capacità di sintetizzare tale ormone, ma sia legata alla loro differente potenzialità di assorbire acqua in condizioni di stress idrico.

L'intensità del segnale mediato dall'ABA fra le radici e i germogli è regolato dallo sviluppo dell'apparato radicale, dalla presenza della corteccia nelle radici, dai germogli e dalle foglie (Jiang e Hartung, 2008).

Le radici riforniscono l'acqua richiesta dai germogli, ma se la dimensione dell'apparato radicale è piccola in relazione a quella dell'apparato aereo, la richiesta può essere superiore al rifornimento e in queste condizioni il potenziale idrico dei germogli diminuisce.

Normalmente la dimensione dell'apparato radicale è legata a quella dei germogli grazie ai segnali ormonali che provengono dagli stessi e in tal senso esiste uno specifico rapporto radici/germogli per ogni particolare condizione e genotipo. In generale, la carenza idrica nel suolo aumenta tale rapporto. La comunicazione fra parte epigea e ipogea è responsabile dello sviluppo radicale insieme ad alcune tecniche colturali applicate al vigneto, come la cimatura e la sfogliatura. La sfogliatura parziale, per esempio, incrementa la quantità di radici più fini e causa la diminuzione di quelle di più grosso diametro.

Le radici sono anche un importante organo di stoccaggio degli zuccheri non strutturali.

MOVIMENTI DELL'ACQUA NELLE FOGLIE E FUORI DI ESSE

La vite, nel suo ciclo giornaliero, continua ad assorbire e a perdere contemporaneamente l'acqua. Sia le foglie, sia le bacche traspirano, anche se la maggior parte dell'acqua è persa attraverso il flusso traspiratorio che si realizza nelle foglie, le quali sono il sito principale nel quale la vite controlla le perdite di acqua.

Durante la notte, a stomi chiusi, la traspirazione diminuisce progressivamente fino ad annullarsi e il potenziale idrico aumenta raggiungendo valori meno negativi; in questo modo la vite progressivamente si reidrata e il potenziale idrico delle foglie si riequilibra con quello del suolo, situazione raggiunta alla fine della notte. Il più elevato valore di potenziale idrico si ha nella fase di predawn. Dopo il sorgere del sole, gli stomi si aprono, si ripristina la traspirazione e il potenziale idrico delle foglie inizia a diminuire (valore negativo più elevato). Durante la giornata, in genere a mezzogiorno, si raggiunge il punto più basso del potenziale idrico delle foglie (alto valore negativo) dopo di che tale valore tende ad alzarsi (Figura 7.5). Quando la disponibilità idrica del suolo è bassa, il potenziale idrico delle foglie diminuisce gradualmente, raggiungendo alti valori negativi.

Nella misura in cui il suolo diventa via via più secco, aumenta la difficoltà da parte della pianta ad estrarre acqua dal terreno.

Aumentando progressivamente la carenza idrica la vite non è più in grado di abbassare il proprio potenziale e quindi non può più estrarre acqua dal suolo. Questo stadio viene chiamato punto di appassimento permanente il quale varia in funzione della varietà, del portinnesto, delle condizioni climatiche e del tipo di suolo. Questa situazione si realizza quando il potenziale idrico delle foglie supera i -1,5 MPa. In queste condizioni lo sviluppo della pianta intera è compromesso; se queste perdurano si può arrivare anche alla morte della pianta. A questo punto si rende necessaria, se disponibile, l'irrigazione del vigneto.

Per quanto riguarda l'uso dell'acqua e il controllo delle relazioni idriche della pianta, attualmente si conoscono maggiormente i meccanismi di segnalazione root to shoot a causa del ruolo importante dei segnali che provengono dalle radici per informare i germogli delle variazioni del contenuto idrico del suolo piuttosto che delle relazioni shoot to root.

Tuttavia, appare evidente l'esistenza di un meccanismo che funziona al contrario, cioè una segnalazione che parte dai germogli e giunge alle radici per "sollecitare" l'assorbimento di acqua da parte delle stesse utile a soddisfare le necessità dei germogli.

Inoltre, uno stress che può interessare i germogli, come per esempio la cimatura, attiva le difese chimiche, i cambiamenti chimici e/o il deposito di zuccheri nelle radici.

I segnali shoot to root finora osservati includono meccanismi di tipo idraulico, elettrico e segnali di difesa chimica che coinvolgono composti precursori dell'etilene, salicilato di metile, acido jasmonico e auxina.

Beveridge *et al.*, (2009) hanno proposto che, oltre all'auxina, vi sia un segnale in rapido movimento basipeto che può essere di pressione o elettrochimico.

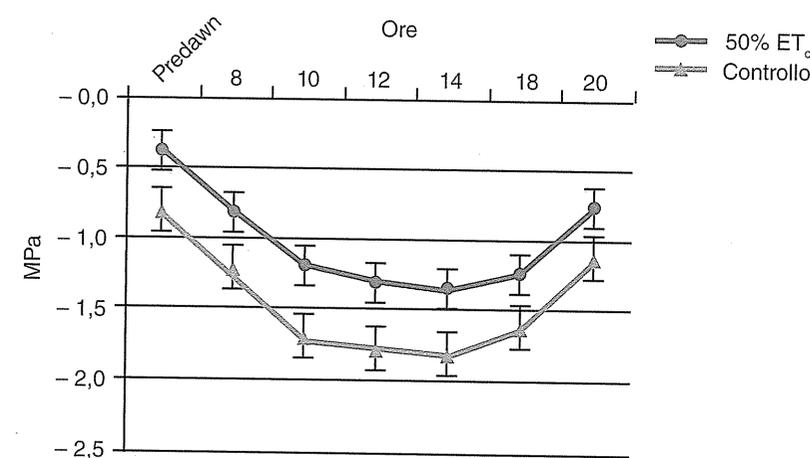


Figura 7.5
Variazioni del potenziale idrico fogliare in viti sottoposte a stress idrico (controllo) e irrigate al 50% dell' ET_c .

Esistono evidenze scientifiche che i segnali shoot to root possono avere un impatto sulla conducibilità idraulica della radice attraverso la regolazione delle acquaporine (Kudoyarova *et al.*, 2011; Sakurai-Ishikawa *et al.*, 2011).

Infatti, i risultati riportati da Vandeleur *et al.*, (2014), che hanno eseguito la cimatura dei germogli su piantine di un anno di Chardonnay allevato in vaso, indicano che i segnali rapidi shoot to root contribuiscono alla regolazione della conduttanza idraulica delle radici (normalizzata in base al loro peso secco L_0) attraverso le acquaporine e che questo può avvenire senza collegamento floematico.

La cimatura del germoglio ha dimostrato che il segnale emesso verso le radici sembra essere indipendente dalla traspirazione (Vandeleur *et al.*, 2014).

Gli autori concludono che gli interventi di potatura verde come le cimature eseguite in estate, che causano la riduzione della conduttanza idraulica delle radici, potrebbero non essere l'ideale durante i periodi di forte domanda traspirativa.

RUOLO DEGLI STOMI NEL MOVIMENTO DELL'ACQUA

Gli stomi possono modificare l'entità della traspirazione con piccole modificazioni della dimensione delle aperture stomatiche attraverso le quali diffonde il vapore acqueo. Quando gli stomi sono aperti, la foglia assorbe la CO_2 per la fotosintesi, ma in tal modo espone se stessa alle perdite d'acqua. Il meccanismo di apertura e chiusura delle aperture stomatiche è regolato dalle cellule di guardia, che si allargano e si restringono, ed è in relazione alla pressione di turgore delle cellule dipendente dall'assorbimento o dalla perdita di soluti da parte delle stesse. Quando le cellule accumulano soluti si allargano perché assorbono acqua per un potenziale osmotico più negativo. Le cellule perdono soluti, si restringono per l'uscita dell'acqua quando il potenziale osmotico diventa meno negativo.

Gli stomi si aprono per l'ingresso di ioni potassio e anioni attraverso la membrana cellulare e vacuolare di entrambe le cellule di guardia; l'apertura stomatica può essere anche legata all'aumento della concentrazione degli zuccheri e dell'acido malico.

Il processo inverso e cioè l'uscita di potassio e anioni dalle cellule provoca la chiusura degli stomi.

L'apertura e chiusura degli stomi sono molto efficienti e rapide nella misura in cui i soluti sono mobilizzati in ingresso o in uscita dalle cellule in risposta a diversi segnali. Il potassio e il malato sono largamente responsabili dell'apertura e della chiusura.

Interessante rilevare che la densità degli stomi e la loro dimensione, cioè il loro numero per unità di superficie, è condizionato dall'acqua e dalla luce. La stessa marza innestata su diversi portinnesti può avere differenti densità e dimensione degli stomi. Il deficit idrico del suolo influenza lo sviluppo degli stomi riducendo il diametro dei pori.

Rilevanti variazioni nella densità e nella dimensione degli stomi sono state osservate sul vitigno Pinotage che se innestato su 140Ru presentava una bassa densità, ma pori di grandi dimensioni, rispetto alla stessa varietà innestata su 110R e 1103P (Serra *et al.*, 2014). Scienza e Boselli (1981) hanno osservato che i portinnesti resistenti alla siccità possedevano una bassa densità stomatica rispetto a quelli sensibili allo stress idrico (Figura 7.6).

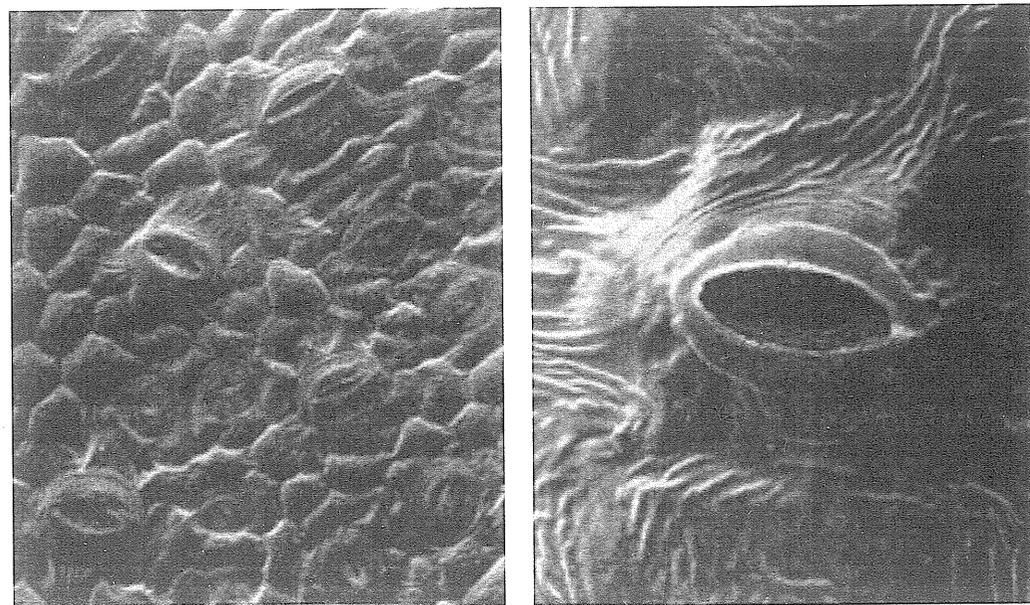
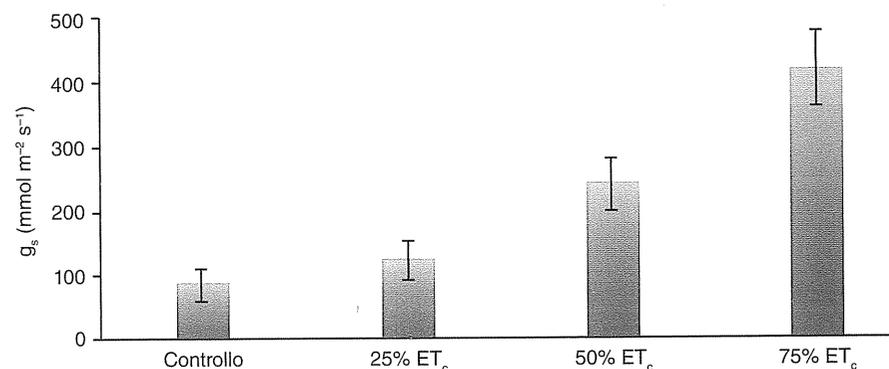


Figura 7.6 Caratteristiche degli stomi di foglie apicali del portinnesto 1103P (sx) e stoma aperto di Schwarzmann (dx) (da Scienza e Boselli, 1981).

Figura 7.7 Valori di conduttanza stomatica delle foglie di Sangiovese misurati alle ore 12 e sottoposte a differenti regimi idrici (controllo = senza irrigazione). $ET_c = ET_o \times K_c$, dove ET_o : evapotraspirazione massima della coltura; ET_o : evapotraspirazione potenziale di riferimento; K_c : coefficiente colturale riferito alla superficie fogliare in quella fase fenologica. Per il calcolo del coefficiente colturale è stato applicato il modello proposto da Williams e Ayars (2005).



Proporzionale all'apertura o chiusura stomatica è la conduttanza stomatica. Una bassa conduttanza corrisponde ad una bassa diffusione di vapore acqueo dalle foglie all'atmosfera per un dato gradiente di concentrazione di vapore. Se gli stomi sono aperti la conduttanza aumenta e così il flusso di vapore acqueo che diffonde dagli spazi d'aria e dagli stomi della foglia attraverso lo strato limite di vapore all'atmosfera.

L'incremento della disponibilità idrica mantiene più a lungo nel corso della giornata l'apertura degli stomi e migliora la funzionalità della pianta intera (Figura 7.7).

I fattori che influiscono sulla conduttanza stomatica sono lo stato idrico delle foglie, la disponibilità idrica del suolo, la concentrazione di CO_2 , il deficit di pressione di vapore, la luce e la temperatura dell'aria.

In una tipica foglia di vite solo il 5-10% della traspirazione totale avviene attraverso la cuticola, benchè la porzione di quest'ultima superi il 30% della superficie di una foglia adulta. Il maggior tasso di traspirazione si ha attraverso gli stomi che in realtà coprono solo il 5% di tutta la superficie fogliare.

Questa funzione è estremamente dipendente dalle condizioni ambientali. L'influenza maggiore è determinata dalla luce che induce l'apertura stomatica all'alba e la chiusura al tramonto in risposta all'attività fotosintetica che determina il cambiamento della concentrazione di CO_2 nelle cellule sottostomatiche. Questo meccanismo minimizza le perdite di acqua durante la notte, quando la luce è ovviamente insufficiente per attivare la fotosintesi; in questo periodo la conduttanza

stomatica (g_s) può scendere anche al di sotto di $50 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e il tasso di traspirazione dalle foglie è circa il 10% di quello giornaliero ed è in funzione della VPD.

Caird *et al.*, (2007) riportano invece che la traspirazione notturna, in condizioni di vigneto irrigato, rappresenterebbe una significativa fonte di perdita di acqua da parte della vite con valori di conduttanza stomatica oscillanti da $0,009$ a $0,205 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

In presenza di stress idrico, la conduttanza stomatica notturna varierebbe invece fra $0,004$ a $0,019 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ per Malvasia e Tempranillo, rispettivamente (Escalona *et al.*, 2013; Flexas *et al.*, 2010).

Durante il corso della giornata gli stomi si aprono seguendo la variazione delle condizioni di luminosità, con un picco intorno a mezzogiorno. Gli stomi sono molto aperti sia con sole splendente, sia in condizioni di cielo nuvoloso o addirittura all'interno di una cortina di foglie particolarmente densa. In carenza idrica, gli stomi sono parzialmente chiusi per limitare l'ulteriore perdita di acqua e per evitare la cavitazione e l'embolismo all'interno degli xilemi. L'effetto della luce che favorisce l'apertura stomatica è limitato se il suolo è anche in modesta carenza idrica che comunque deprime a mezzogiorno la conduttanza stomatica. Il temporaneo abbassamento della conduttanza non è osservato se le piante sono ben idratate, eccetto che per le piante coltivate in clima caldo. L'apertura stomatica si riduce anche quando l'umidità ambientale decresce, determinando una diminuzione della traspirazione dell'ordine dell'80% di quella iniziale. Se la temperatura sale gli stomi si riaprono per effetto della fotosintesi, ma un ulteriore aumento della temperatura causa la chiusura stomatica, probabilmente a causa del suo effetto stimolante sulla respirazione.

L'elevato contenuto di azoto delle foglie determina l'apertura stomatica completa stimolando la fotosintesi.

MOVIMENTI DELL'ACQUA NELLE BACCHE E FUORI DI ESSE

Il rapido sviluppo delle bacche durante la maturazione è principalmente dovuto all'ingresso di acqua e alla ritenzione data dai vacuoli del mesocarpo. A metà maturazione i vacuoli occupano il 99% del volume delle cellule del mesocarpo e il succo consiste essenzialmente del contenuto vacuolare delle stesse. A seguito dell'accumulo di zuccheri e di altri soluti il contenuto di acqua della bacca diminuisce dal 90% prima dell'invasatura al 75-80% prima della maturazione.

Anche l'epidermide delle bacche possiede aperture stomatiche benchè in numero assai inferiore per unità di superficie rispetto alle foglie. Infatti una bacca in sviluppo ha circa 1-2 stomi per mm^2 , mentre una foglia ne possiede 100-400 per mm^2 . Nella misura in cui la bacca si espande, la densità stomatica diminuisce perché non vengono prodotti nuovi stomi e inoltre questi sono anche progressivamente occlusi dalle cere epicuticolari, dalla suberina e da altri componenti non più funzionali dopo l'invasatura.

In relazione al basso numero di stomi posseduti dalla bacca, l'entità della sua traspirazione è di 10-50 volte inferiore rispetto a quella delle foglie.

Il tasso di traspirazione è relativamente alto nella fase di pre-invasatura, diminuisce progressivamente con il procedere della maturazione.

In ogni momento il volume della bacca è determinato dal bilancio fra l'acqua che entra e che viene persa. L'acqua che proviene dagli xilemi è la principale fonte di rifornimento della bacca e rappresenta il 75% del flusso totale in ingresso, almeno fino all'invasatura. Infatti il flusso proveniente dagli xilemi diminuisce all'invasatura e in modo concomitante il flusso floematico diventa la principale o esclusiva fonte di acqua della bacca insieme agli zuccheri e agli aminoacidi.

La bacca è costituita in modo da minimizzare le perdite di acqua: è tipicamente rotonda, quindi possiede relativamente meno superficie rispetto al suo volume, con una grande capacità di stoccare riserve idriche in confronto alla superficie evaporante. Inoltre la sua cuticola è impregnata di cere in una quantità 10 volte maggiore rispetto a quella fogliare rappresentando una barriera efficiente contro la perdita di acqua. La quantità di cere presenti sulle bacche è correlata alla genetica del vitigno.

La bassa traspirazione della bacca esercita peraltro un limitato effetto *cooling* che è dimostrato dalla marcata fluttuazione della temperatura durante il giorno e la notte, con valori diurni che possono essere di $10-15^\circ\text{C}$ e più rispetto all'ambiente.

Durante la pre-invasatura, quando il tasso di traspirazione della bacca è elevato, il flusso d'acqua proviene sia dagli xilemi, sia dai floemi, anche se prevale quello xilematico. In questa fase di sviluppo, oltre alla traspirazione dalla superficie della bacca, l'acqua può anche uscire attraverso gli xilemi e essere riallocata nei germogli. L'acqua rifluisce verso i germogli anche attraverso i fasci floematici specialmente al pomeriggio, quando il potenziale idrico delle foglie è più basso di quello delle bacche. Uno stress idrico intenso determina un riflusso rilevante dalle bacche ai germogli, a giustificazione del fatto che la pianta, essendo una liana perenne, predilige la conservazione della crescita che non la produzione. Questo riflusso, se intenso, causa il *berry shrinkage* (perdita di turgore).

Nella fase di stasi di sviluppo della bacca (*lag phase*) l'acqua che entra nella bacca è uguale a quella persa.

Dall'invaiaitura in poi aumenta la quantità di acqua trasportata dai floemi e diminuisce quella dagli xilemi e l'acqua in ingresso eccede quella persa per traspirazione e riflusso, determinando un aumento del volume e del peso della bacca.

In condizioni di buona idratazione, la bacca continua a espandersi e a contrarsi in modo particolare prima dell'invaiaitura quando è particolarmente sensibile alle variazioni dello stato idrico della pianta e del suolo. Dopo l'invaiaitura lo è molto meno e il ciclo giornaliero di espansione notturna e contrazione diurna diventa meno pronunciato.

STRESS IDRICO E REGOLAZIONI FISILOGICHE DELLA VITE

La siccità, la salinità, le temperature estreme e i suoli acidi limitano in modo significativo la distribuzione della vite in tutto il mondo.

La vite, come tutte le altre piante, richiede per crescere e produrre tre categorie di prodotti: il carbonio, l'acqua e i nutrienti minerali. Se nell'ambiente uno di questi elementi è carente, la vite va incontro ad uno stress ambientale definito anche stress abiotico, dovuto non alla presenza di parassiti, ma di temperature troppo calde o troppo fredde, radiazione solare troppo intensa o troppo deficitaria, deficit o *surplus* di acqua, carenze o eccessi nutritivi, suoli salini. Le condizioni descritte limitano la disponibilità di una o più risorse utili alla pianta o la sua capacità di utilizzarle.

L'ambiente di per sé non costituisce uno stress abiotico; infatti le condizioni esterne sono neutrali verso la pianta. Sono i meccanismi di funzionamento della pianta in un particolare contesto ambientale che stabiliscono quali condizioni possono risultare stressanti. Un particolare stress, in dipendenza della sua severità e della sua durata o in funzione del momento del suo inizio e della sua fine, può attivare i processi di adattamento della pianta intera (Figura 7.8).

Il grado di plasticità rende la vite efficiente dal punto di vista fotosintetico, favorisce una lunga vitalità e mantiene la potenzialità produttiva.

In particolare, le piante che si sono sviluppate in ambiente mediterraneo possiedono caratteri distintivi e abilità adattative che possono aiutarle a far fronte agli stress ambientali e, presumibilmente, anche ai cambiamenti climatici.

Di fronte al cambiamento climatico, le piante coltivate possono presentare due principali risposte che non si escludono a vicenda. In primo luogo, possono adattarsi alle nuove condizioni ambientali attraverso la plasticità fenotipica e, in secondo luogo, possono evolvere attraverso la selezione naturale.

La tolleranza alle molteplici sollecitazioni imposte dal clima mediterraneo si esprime sotto forma di un complesso di regolazioni e di adattamenti fisiologici, anatomici e morfologici. Per esempio, se confrontate con specie vegetali di altri biomi, le piante mediterranee generalmente mostrano maggiore efficienza nell'uso dell'acqua (WUE) in condizioni di siccità (Matesanz e Valladares, 2014).

La migliorata efficienza nell'uso dell'acqua (WUE) è raggiunta attraverso una complessa interazione dei meccanismi che riducono la perdita di acqua per unità di carbonio assorbito. Nella misura in cui il potenziale idrico del suolo diminuisce, gli stomi si chiudono per ridurre al minimo la perdita di acqua.

Le piante mediterranee presentano anche altre strategie per contrastare la siccità estiva, come ad esempio le regolazioni osmotiche per mantenere il turgore cellulare positivo attraverso l'accumulo di soluti, complessi antiossidanti e sistemi di difesa fotoprotettivi che minimizzano i danni cellulari indotti dalla siccità e che aumentano la capacità di far crescere radici profonde.

Tutto questo complesso di aggiustamenti e regolazioni è definito "plasticità fenotipica" e cioè la capacità di un genotipo di esprimere differenti fenotipi in differenti ambienti.

Le piante perenni, come la vite, sono esposte alla grande variabilità stagionale e interannuale delle condizioni ambientali in tutto il loro ciclo di vita rispetto alle specie annuali. Pertanto, la plasticità può essere di maggiore beneficio alle piante arboree rispetto ai *taxa* di ciclo breve in condizioni di cambiamento globale. Tuttavia, le particolari caratteristiche del clima mediterraneo possono imporre restrizioni sull'espressione della plasticità adattativa. In primo luogo, il clima mediterraneo può essere altamente imprevedibile, che può limitare la plasticità se gli stimoli ambientali che provocano la risposta adattativa non sono stabili. In secondo luogo, gli ambienti mediterranei sono caratterizzati dalla presenza di sollecitazioni simultanee che possono imporre pressioni selettive contrastanti.

Infatti, diversi studi hanno dimostrato che alcune piante mediterranee che crescono in condizioni avverse mostrano una strategia conservativa, con bassa plasticità, ma con alta modificazione dei caratteri fisiologici e morfologici.

Un ulteriore aspetto della plasticità fenotipica, non sufficientemente esplorato nella vite, è la plasticità transgenerazionale, l'abilità di genotipi parentali di modificare caratteri specifici di sviluppo nella progenie.



Figura 7.8

Stress idrico su Sangiovese. Il vitigno abbassa il tasso di traspirazione "eliminando" le foglie basali dimostrando un'abilità adattativa. L'uva non mostra alcuna perdita di turgore.

Questi caratteri di adattamento ambientale non ereditati geneticamente possono migliorare le capacità adattative della prole quando soggetta a sollecitazioni simili a quelli dell'ambiente dei genitori, e quindi possono migliorare le *performance* delle piante sotto gli effetti del cambiamento globale.

I processi epigenetici, cambiamenti cioè ereditabili nell'espressione e funzione del gene che non discendono da variazioni nella sequenza del DNA, si pensa possano essere collegati non solo alla plasticità fenotipica, ma anche alla regolazione della funzione genica indotta dall'ambiente all'interno del ciclo di vita di un genotipo.

È importante sottolineare che la variazione epigenetica può rapidamente regolare le risposte delle piante a stress ambientali attuali e nuovi e che può essere particolarmente importante per le piante perenni, come la vite.

7.6.1 Stress idrico e i suoi effetti sulla vite

Lo stress idrico riduce in generale la produttività e solo il deficit idrico controllato è stato utilizzato in modo positivo per migliorare le caratteristiche qualitative dell'uva. In parte, questo effetto è determinato dalla ridotta vigoria dei germogli e dalla competizione per le risorse di carbonio (cambiamento del rapporto *sink/source*).

A livello globale la scarsità d'acqua è il principale limite alla produzione agricola e questo potrebbe essere accentuato dai cambiamenti climatici (IPCC, 2014).

L'acqua è un fattore importante che incide sulla produzione quali-quantitativa della vite. Un eccesso d'acqua determina una maggiore crescita vegetativa e produttività, mentre i parametri qualitativi, come il contenuto di zuccheri, la formazione di pigmenti, l'acidità, la maturazione del legno e il vino finale peggiorano.

Come risposta allo stress idrico si ha un maggiore accumulo nella bacca di metaboliti secondari di difesa contro i danni che possono subire le cellule, composti che peraltro sono coinvolti nel miglioramento della qualità del mosto e del vino soprattutto nella sua componente fenolica e aromatica e nell'aumento del valore nutraceutico dell'uva (Ferrandino e Lovisolo, 2014).

Uno stress idrico severo provoca la chiusura stomatica, causando la diminuzione o l'annullamento pressoché totale dell'attività di assimilazione con effetti negativi sulla crescita, sulla maturazione del legno e delle bacche.

Le piante di vite tendono ad adeguare il loro equilibrio idrico mediante la regolazione del flusso di acqua verso le foglie e dalle foglie verso l'atmosfera.

La regolazione idraulica della pianta è mediata dalle acquaporine (Vandeleur *et al.*, 2009) e dalle caratteristiche anatomiche dei vasi conduttori (Lovisolo *et al.*, 2010) e la perdita di acqua dagli stomi delle foglie è controllata dalla conduttanza stomatica, modulata dal bilancio ormonale, e dalla superficie fogliare (Schultz, 2003).

Gli stress e generalmente le alterazioni del sistema radicale possono dare inizio a una serie programmata di regolazioni che non si limita al suolo.

Il deficit idrico determina un innalzamento dell'osmolarità e un abbassamento del rapporto C/N con un aumento degli aminoacidi prolina, valina, leucina, tirosina e triptofano, la riduzione degli acidi organici e cambiamenti della via biosintetica dei fenilpropanoidi (Hochberg *et al.*, 2013). Nel floema la linfa contiene alte quantità di acido abscissico (ABA) e la modifica dei livelli dei derivati dall'idrossibenzoato coincide con l'abbassamento della conduttanza stomatica e la suberificazione dei fasci conduttori nel picciolo della foglia (Hochberg *et al.*, 2013).

Lo stress idrico induce la chiusura degli stomi, grazie alla quale possono essere conservate preziose riserve idriche. Questa azione concertata richiede un segnale radice-parte aerea che induce meccanismi di difesa e aggiustamenti fisiologici precisi e coordinati. Le molecole segnale devono avere particolari proprietà: devono essere reattive e trasportabili. Il coinvolgimento di ormoni nella chiusura degli stomi è stato studiato approfonditamente.

In particolare, l'acido abscissico (ABA) trasportato dalle radici dal flusso xilematico è un elemento chiave del segnale di chiusura degli stomi indotto da stress. È stato anche dimostrato che l'ABA può interagire con altri ormoni segnale, per esempio etilene (ET), acido salicilico (SA), metil-jasmonato (MeJA) o con metaboliti indotti da stress (NO, H₂O₂) in una capillare rete di composti messengeri-segnale.

L'ABA sembra anche indurre la chiusura delle acquaporine nella membrana delle cellule che rivestono gli xilemi della foglia riducendo in tal modo il flusso di acqua dalle cellule del mesofillo.

Una delle potenziali reazioni delle piante a stress ambientali è un aumento della sintesi di peptidi e proteine specifiche. Enzimi di difesa includono proteine PR (*pathogenesis-related protein*), enzimi connessi alla difesa indotti da infezioni causate da agenti patogeni (virus, batteri, viroidi e funghi), come la β -1,3-glucanasi e la chitinasi. Recentemente, alcune evidenze supportano l'ipotesi che le proteine PR, hanno un ruolo nella tolleranza a stress abiotici ed è stato messo in evidenza il ruolo protettivo dei composti organici volatili (VOC), principalmente monoterpeni nel lavoro citato, nei confronti dei raggi UV-B da parte delle bacche (Gil *et al.*, 2013). Inoltre, anche l'ABA gioca un ruolo chiave nei processi fisiologici che aumentano la resistenza alla siccità e agli *shock* termici (Baron *et al.*, 2012).

Le molecole volatili sono ottimi composti segnale, poiché possono muoversi indisturbate su grandi distanze dai siti di biosintesi. In particolare, i composti organici volatili sintetizzati dalle foglie sembrano essere indotti in condizioni di stress biotici e abiotici e sono studiati per le loro molteplici proprietà nella protezione e comunicazione delle piante. I VOC infatti spesso mediano il sistema segnale all'interno della pianta. Questo *signaling* interno, spesso definito "risposta sistemica", è responsabile della "resistenza indotta", con la quale l'intera pianta attiva meccanismi di difesa (ad es. la biosintesi di antiossidanti) in risposta ad attacchi di fitofagi, anche quando l'attacco coinvolge solo una parte della pianta.

La possibile relazione tra ABA e VOC è stata recentemente indagata. L'ABA è formato biochimicamente da un intermedio instabile (la xantoxina) delle xantofille. Ma le xantofille sono formate attraverso la stessa via biochimica che produce i VOC nel cloroplasto. Alcuni autori hanno dimostrato che esiste un *pool* fogliare labile di ABA, direttamente correlato all'emissione di isoprene, che controlla l'apertura stomatica. Quindi è stato ipotizzato che i VOC possano essere dei "delegati" dell'ABA nelle foglie, e della conseguente regolazione stomatica che controlla l'assorbimento di acqua radicale e il suo trasporto, specialmente in condizioni di stress.

A seguito di una pioggia o di un'irrigazione le radici interrompono la produzione di ABA e quello che è contenuto negli xilemi decresce rapidamente. L'ABA presente nelle foglie è rapidamente degradato, principalmente in acido faseico, e gli stomi possono riaprirsi.

In queste condizioni la traspirazione viene ripristinata e la pressione negativa che questa crea negli xilemi aiuta la pianta ad assorbire acqua dal terreno. Più importante ancora è che l'evaporazione dell'acqua dalle foglie rappresenta il loro metodo di raffreddamento per prevenire l'eccessivo aumento di temperatura causato dall'irraggiamento solare diretto. La temperatura delle foglie che traspirano attivamente non è più elevata che di 2-3°C rispetto alla temperatura ambientale.

Contrariamente a quanto si pensa, il trasporto degli ioni non è legato al flusso traspiratorio perché questo avviene anche durante la notte quando la traspirazione è fortemente ridotta.

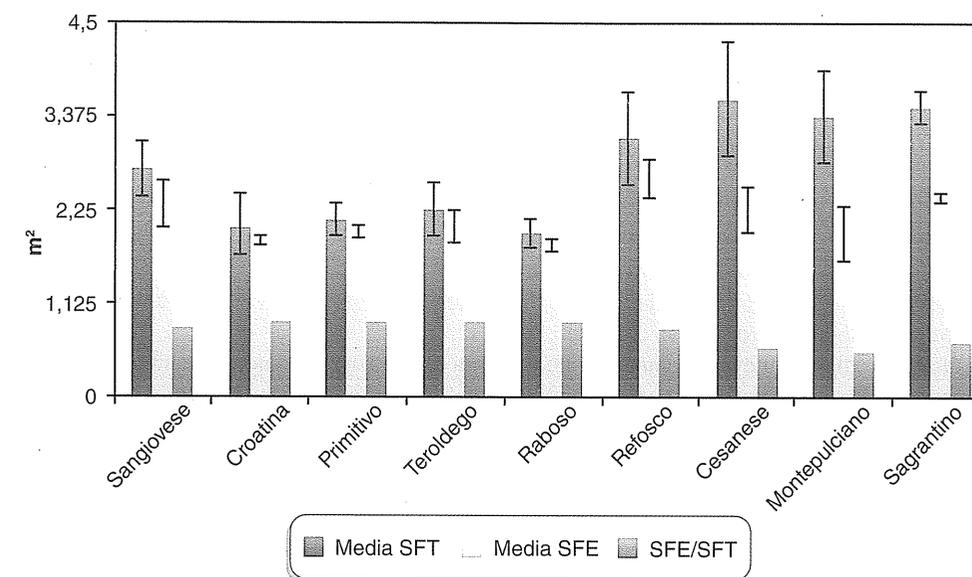


Figura 7.9

Superficie fogliare totale (SFT), esposta (SFE) e loro rapporto in diverse varietà di vite. In condizioni di stress idrico le varietà a bassa superficie fogliare traspirano meno, controllando meglio le perdite di acqua.

7.6.2 Livelli di disponibilità idrica e composizione della bacca

La composizione della bacca dipende largamente dalla sua possibilità di rifornirsi di acqua dal suolo e dall'atmosfera. In particolare, per un dato sito, l'umidità del suolo dipende dalla sua origine geologica, dalla quantità di pioggia che cade annualmente e dalla sua distribuzione lungo tutto l'anno e dal tasso di evaporazione influenzato dalla temperatura dell'aria. Le variazioni locali dell'umidità del suolo sono dovute alla sua capacità di trattenere l'acqua e all'entità del drenaggio, la cui combinazione può modulare la risposta della vite alle condizioni climatiche e ha un impatto rilevante sulle variazioni di sviluppo e di composizione delle singole viti all'interno del vigneto. Le differenze di vigoria e di produttività delle piante all'interno del medesimo vigneto sono spesso dovute alla disponibilità di acqua nelle varie zone del vigneto, sia in climi caldi, sia temperato-freschi. Tuttavia, la variazione spaziale della qualità dei frutti non è necessariamente correlata alla variazione spaziale della produttività.

La disponibilità di acqua influenza positivamente il vigore dei germogli e quindi il microclima della cortina di foglie. L'aumento dell'umidità del suolo stimola il vigore che determina cortine dense e ombreggiamento dei grappoli. In queste condizioni l'abbondante disponibilità idrica è associata alla riduzione del contenuto zuccherino delle bacche, all'alta acidità e ad una composizione fenolica scarsa.

Inoltre un'ampia superficie fogliare richiede una quantità di acqua rilevante dovuta alla traspirazione, che a sua volta aumenta la suscettibilità della pianta allo stress idrico (Figura 7.9). Per contro, un severo stress idrico può causare una precoce senescenza delle foglie con la loro conseguente abscissione, che aumenta l'esposizione dei grappoli al sole diretto. Il deficit idrico riduce la produttività e può aumentare o diminuire il contenuto di zuccheri delle bacche, l'acidità, il pH e il colore in dipendenza dell'intensità e della durata del deficit. Un grado non troppo elevato di deficit idrico è favorevole ad una buona composizione delle bacche e conseguentemente aumenta la qualità del vino. Le uve da vino sono state tradizionalmente coltivate in suoli dotati di bassa fertilità, spesso marginali nell'ambito dell'azienda agricola, suoli dotati di una bassa capacità idrica. Modernamente, anche l'applicazione di uno stress controllato mediante la *Deficit Irrigation* è apparsa in più situazioni una tecnica promettente.

L'applicazione di un moderato stress idrico appare più efficace se si realizza durante la prima fase di rapido sviluppo della bacca. Il notevole miglioramento della composizione della bacca può essere attribuito all'effetto indiretto di riduzione della cortina di foglie, che appare inoltre più aperta e nella quale, penetrando meglio la luce, si realizza un aumento di temperatura. L'effetto diretto del moderato stress idrico limita lo sviluppo della bacca senza per questo diminuire il contenuto zuccherino. Lo stesso avviene per K⁺ e Ca⁺ il cui afflusso nelle bacche diminuisce a seguito di stress idrico, ma la loro quantità totale nella bacca non è influenzata perché contemporaneamente la sua dimensione si riduce. Infatti, la concentrazione di K⁺ nel succo aumenta in condizioni di stress idrico, portando ad un aumento del pH.

La riduzione delle dimensioni della bacca dovuta ad un mesocarpo più piccolo aumenta lo spessore della buccia e il peso dei vinaccioli con il risultato di avere rapporti più favorevoli buccia/succo e vinaccioli/succo aumentando il contributo dei loro composti nella vinificazione.

L'aumento del colore nelle varietà rosse che si osserva con un moderato stress idrico, che si verifica prima dell'invaiaatura, è semplicemente dovuto alla riduzione delle dimensioni della bacca. L'aumento degli antociani, invece, è dovuto ad un effetto combinato fra minore densità della cortina di foglie, effetto di stimolazione dell'ABA proveniente dalle radici sui geni legati alla biosintesi dei flavonoidi, soprattutto antociani, e attività dei corrispondenti enzimi. Il deficit idrico, inoltre, modifica il profilo antocianico dell'uva, favorendo la produzione di pigmenti con un alto grado di idrossilazione e metossilazione, come la malvidina e la petunidina (Castellarin *et al.*, 2007).

Un severo stress idrico, soprattutto se avviene prima dell'invaiaatura, determina una maturazione irregolare delle bacche, con molte di esse che rimangono verdi o poco colorate.

L'accumulo di tannini, flavonoli e acidi cinnamici non sembra essere condizionato dai cambiamenti nello stato idrico della pianta sia prima, sia dopo l'invaiaatura, se le condizioni di esposizione del grappolo alla luce diretta del sole non cambiano fortemente.

Il contenuto idrico del suolo ha un effetto ridotto sul contenuto di acido tartarico delle bacche. Solo se lo stress idrico avviene nei primi stadi di sviluppo della bacca può esserci una limitazione nell'accumulo di acido tartarico. L'acido malico, invece, tende a diminuire proporzionalmente alla diminuzione dell'umidità del suolo, determinando un basso livello di acidità titolabile nelle bacche alla vendemmia soprattutto se le condizioni di stress si verificano prima dell'invaiaatura.

7.6.3 Ruolo del genotipo

Il contributo alla resistenza allo stress idrico non deriva solo dalle caratteristiche genetiche del portinnesto, ma anche da quelle delle varietà di vite (*V. vinifera*). Infatti, esse possono mettere in atto molte strategie per contrastare la siccità e per acclimatarsi a diversi gradi di stress idrico.

Durante un periodo di stress idrico, il bilancio del carbonio della pianta e il suo ripristino dipendono non solo dalla velocità e dal grado di recupero dell'attività fotosintetica, ma anche dal grado e dalla velocità della diminuzione della fotosintesi nel periodo di mancanza d'acqua.

In generale, le piante di vite sottoposte ad uno stress idrico severo recuperano solo il 40-60% della loro massima capacità fotosintetica durante il primo giorno di reidratazione e il ripristino dello stato di benessere continua per diversi giorni, anche se i livelli massimi di fotosintesi non saranno sempre raggiunti.

Le piante descritte come isoidriche o anisoidriche sono classificate in base alla risposta del loro potenziale idrico in condizioni di stress idrico del suolo.

Le varietà di vite isoidriche mantengono relativamente elevato il loro potenziale idrico anche sotto stress idrico e la loro conduttanza stomatica è finemente regolata per evitare la caduta del potenziale idrico xilematico a livelli che potrebbero provocare eccessiva perdita di conduttività (Pou *et al.*, 2012).

Esse differiscono nelle loro risposte al deficit idrico per una diversa sensibilità degli stomi quando avviene lo stress, molto maggiore nelle varietà isoidriche, influenzando rapidamente la fotosintesi, la traspirazione e l'efficienza di utilizzo dell'acqua. Così, Grenache, una varietà di origine mediterranea, è semi-isoidrica, mentre Syrah, di origine mesica, e Chardonnay, di ambienti umidi, mostrano caratteristiche anisoidriche (Schultz, 2003; Soar *et al.*, 2006). Le foglie di Grenache sono più sensibili che non quelle di Syrah al cambiamento delle condizioni idriche. Una delle maggiori differenze fra le due varietà risiede nel fatto che il flusso xilematico delle foglie di Grenache contiene una quantità più elevata di ABA e per questo il vitigno risponde più rapidamente al cambiamento dello stato idrico.

La suddivisione fra varietà isoidriche e anisoidriche non appare tuttavia così assoluta, poiché per esempio alcune varietà, come Tempranillo e Cabernet Sauvignon, possono essere isoidriche o anisoidriche in dipendenza del livello di stress idrico subito (Chaves *et al.*, 2010).

Collins e Loveys (2010) classificano come semi-isoidriche le varietà Grenache, Riesling, Syrah, Cabernet Sauvignon e Sangiovese e come semi-anisoidriche Merlot, Semillon, Chardonnay e Verdelho. Bahouaoui *et al.* (2010) avevano ipotizzato il comportamento isoidrico della varietà Corvinone e anisoidrico, maggiormente sensibile alla siccità, della varietà Corvina in condizioni di forte stress idrico in Valpolicella (Tabella 7.1).

Queste caratteristiche hanno portato a considerare le varietà isoidriche come più adatte ad ambienti siccitosi rispetto a quelle anisoidriche.

Tuttavia, Collins *et al.*, (2009, 2010) affermano che alcune strategie di irrigazione come la *Deficit Irrigation* (DI) cambiano il comportamento di Syrah, stimolando nella varietà un modo più conservativo dell'uso dell'acqua, cambiando il suo comportamento da semi-anisoidrico a semi-isoidrico.

Tabella 7.1 Varietà classificate come semi-isoidriche e semi-anisoidriche (da Chaves *et al.*, 2010; Lovisolo *et al.*, 2010; Rogiers *et al.*, 2012).

Semi-isoidriche	Semi-anisoidriche
Grenache	Cabernet Franc
Tempranillo	Carignan
Trincadeira	Chardonnay
	Merlot
	Muscat
	Nebbiolo
	Riesling
	Sangiovese
	Sémillon
	Syrah
	Thompson Seedless
	Touriga Nacional

Nota: L'appartenenza del Sangiovese al gruppo delle varietà semi-anisoidriche appare controversa. Infatti secondo Collins e Loveys (2010) il Sangiovese è considerato semi-isoidrico.

Per i portinnesti sono state proposte diverse classificazioni basate sulla tolleranza allo stress idrico, ma i metodi impiegati per stilare delle graduatorie di resistenza spesso divergono fra gli autori che talvolta pervengono a conclusioni non univoche. È evidente che per i portinnesti diventa cruciale la loro capacità di adattarsi alle diverse situazioni culturali.

Il diverso grado di resistenza attribuito anche ad un singolo portinnesto può essere dovuto alle caratteristiche del suolo e del clima del luogo dove sono state condotte le prove, come anche all'intensità e alla durata del deficit idrico cui le piante sono sottoposte e anche alle modalità di determinazione dei parametri legati allo stress idrico.

Gli studi più recenti prendono sempre più in considerazione i parametri fisiologici, come la conduttanza stomatica, il potenziale idrico delle foglie, il contenuto di ABA negli xilemi.

Nella Tabella 7.2 si riporta la classificazione dei portinnesti nei riguardi della suscettibilità o della tolleranza allo stress idrico ricavata da diversi autori.

Tabella 7.2 Classificazione dei portinnesti in base alla loro suscettibilità-tolleranza allo stress idrico secondo diversi autori.

Sensibili	Mediamente tolleranti	Tolleranti	Molto tolleranti
3309C	K5BB	1103P	140R
101-14	SO4 ¹	110R	44-53M
Schwarzmann	Teleki 5C	99R	
		420A ¹	
		161-49	
		41B ¹	

¹Per questi portinnesti la classificazione rispetto al loro grado di resistenza alla siccità è controversa fra gli autori. Infatti l'SO4 è considerato da sensibile a mediamente tollerante, il 420A da mediamente tollerante a tollerante, il 41B da sensibile a tollerante.

CONCLUSIONI

La vite è una delle più importanti colture dell'agricoltura mediterranea e la conoscenza dei comportamenti che la pianta mette in atto per aumentare le sue capacità adattative al cambiamento climatico e allo stress idrico che si verifica durante la sua stagione di crescita annuale risultano fondamentali.

Infatti, per tollerare lo stress idrico, la vite attiva una serie di adattamenti fisiologici, biochimici e genetici.

Il sistema radicale per aumentare la capacità di sopportare lo stress idrico rende più efficiente l'assorbimento e il trasporto dell'acqua e invia segnali alla parte aerea della pianta che regola il funzionamento degli stomi. Analogamente la parte aerea invia segnali di diverso tipo alle radici in rapporto al proprio stato idrico.

Come risposta allo stress idrico la bacca accumula metaboliti secondari (aromi e polifenoli).

Infine, il concetto della tolleranza allo stress idrico deve essere inteso come un compromesso fra la sopravvivenza e la crescita e la produttività della pianta.

BIBLIOGRAFIA

- Alsina M.M., Smart D.R., Bauerle T., de Herralde F., Biel C., Stockert C., Negron C., Save R., 2011. Seasonal changes of whole root system conductance by a drought-tolerant grape root system. *Journal of Experimental Botany* 62: 99–109.
- Anderson L.J., Comas L.H., Lakso A.N., Eissenstat D.M., 2003. Multiple risk factors in root survivorship: a 4-year study in Concord grape. *New Phytologist* 158: 489–501.
- Bahouaoui M.A., Sartor E., Rovetta E., Tornielli G.B., Boselli M., Ferrara G., 2010. Adjustment of water use efficiency by stomatal regulation during drought and recovery of Verona province grape varieties grafted on two different *Vitis* hybrid rootstocks. *Proc. VIII Intern. Terroir Congress Soave, Vol. II-7: 88-95.*
- Baron K.N., Schroeder D.F., Stasolla C., 2012. Transcriptional response of abscisic acid (ABA) metabolism and transport to cold and heat stress applied at the reproductive stage of development in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Science* 188-189: 48-59.
- Bauerle T.L., Smart D.R., Bauerle W.L., Stockert C., Eissenstat D.M., 2008. Root foraging in response to heterogeneous soil moisture in two grapevines that differ in potential growth rate. *New Phytologist* 179: 857–866.
- Beveridge C.A., Dun E.A., Rameau C., 2009. Pea has its tendrils in branching. Discoveries spanning a century from auxin to strigolactones. *Plant Physiology* 151: 985–990.
- Branas J., Vergnes A., 1957. Morphologie du système racinaire. *Le Progrès agricole et viticole* 3-4: 92-104.
- Caird M.A., Richards J.H., Donovan L.A., 2007. Nighttime stomatal conductance and transpiration in C3 and C4 plants. *Plant Physiology* 143: 4–10.
- Castellarin S.D., Matthews M.A., Di Gasparo G., Gambetta G.A., 2007. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta* 227 (1): 101–112.
- Chaves M.M., Zarrouk O., Francisco R., Costa J.M., Santos T., Regalado A.P., Rodrigues M.L., Lopes C.M., 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany* 105: 661–676.
- Collins R., Kristensen P., Thyssen N., 2009. Water Resources Across Europe—Confronting Water Scarcity and Drought. European Environment Agency, Copenhagen, 57 pp.
- Collins M.J., Loveys B.R., 2010. Characterising water-use strategies of major winegrape varieties grown in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16S1, p. A14.
- Dodd I.C., 2005. Root-to-shoot signalling: assessing the roles of 'up' in the up and down world of long-distance signalling in plants. *Plant and Soil* 274: 251–270.

- Escalona J.M., Fuentes S., Tomás M., Martorell S., Flexas J., Medrano H., 2013. Responses of leaf night transpiration to water stress in *Vitis vinifera* L. *Agric. Water Manage* 118: 50–58.
- Escalona J.M., Tomás M., Martorell S., Medrano H., Ribas-Carbo M., Flexas J., 2012. Carbon balance in grapevines under different soil water supply: importance of whole plant respiration. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 18: 308–318.
- Ferrandino A., Lovisolo C., 2014. Abiotic stress effects on grapevine (*Vitis vinifera* L.): Focus on abscisic acid-mediated consequences on secondary metabolism and berry quality. *Environmental and Experimental Botany* 103: 138–147.
- Flexas J., Galmés J., Gallé A., Gulias J., Pou A., Ribas-Carbo M., Tomás M., Medrano H., 2010. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16: 106–121.
- Gil M., Bottini R., Berli F., Pontin M., Silva M.F., Piccoli P., 2013. Volatile organic compounds characterized from grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Malbec) berries increase at pre-harvest and in response to UV-B radiation. *Phytochemistry* 96: 148–57.
- Hayes M.A., Davies C., Dry I.B., 2007. Isolation, functional characterization, and expression analysis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) hexose transporters: differential roles in sink and source tissues. *Journal Experimental Botany* 58: 1985–1997.
- Hochberg U., Degu A., Toubiana D., Tanya Gendler T., Nikoloski Z., Rachmilevitch S., Fait A., 2013. Metabolite profiling and network analysis reveal coordinated changes in grapevine water stress response. *BMC Plant Biology* 13: 184.
- IPCC, 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Jiang F., Hartung W., 2008. Long-distance signalling of abscisic acid (ABA): the factors regulating the intensity of the ABA signal. *Journal Experimental Botany* 59: 37–43.
- Kudoyarova G., Veselova S., Hartung W., Farhutdinov R., Veselov D., Sharipova G., 2011. Involvement of root ABA and hydraulic conductivity in the control of water relations in wheat plants exposed to increased evaporative demand. *Planta* 233: 87–94.
- Lovisolo C., Hartung W., Schubert, A., 2002. Whole-plant hydraulic conductance and root-to-shoot flow of abscisic acid are independently affected by water stress in grapevines. *Functional Plant Biology* 29: 1349–1356.
- Lovisolo C., Perrone I., Carra A., Ferrandino A., Flexas J., Medrano H., Schubert A., 2010. Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and nonhydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular update. *Functional Plant Biology* 37: 98–116.
- Matesanz S., Valladares F., 2014. Ecological and evolutionary responses of Mediterranean plants to global change. *Environmental and Experimental Botany* 103: 53–67.
- Pou A., Medrano H., Tomás M., Martorell S., Ribas-Carbo M., Flexas J., 2012. Anisohydric behaviour in grapevines results in better performance under moderate water stress and recovery than isohydric behavior. *Plant Soil* 359: 335–349.
- Rogiers S.Y., Greer D.H., Hatfield J.M., Hutton R.J., Simon J., Clarke S.J., Hutchinson P.A., Somers A., 2012. Stomatal response of an anisohydric grapevine cultivar to evaporative demand, available soil moisture and abscisic acid. *Tree Physiology* 32 (3): 245–248.
- Sakurai-Ishikawa J., Murai-Hatano M., Hayashi H., Ahamed A., Fukushi K., Matsumoto T., Kitagawa Y., 2011. Transpiration from shoots triggers diurnal changes in root aquaporin expression. *Plant, Cell & Environment* 34: 1150–1163.
- Scienza A., Boselli M., 1981. Fréquence et caractéristiques biométriques des stomates de certains porte-greffes de vigne. *Vitis* 20: 281–292.
- Schultz H.R., 2003. Differences in hydraulic architecture account for near isohydric and anisohydric behaviours of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell & Environment* 26: 1393–1405.
- Serra I., Strever A., Myburgh P.A., Deloire A., 2014. Review: the interaction between rootstocks and cultivars (*Vitis vinifera* L.) to enhance drought tolerance in grapevine. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 20: 1–14.
- Seo M., Koshiba T., 2002. Complex regulation of ABA biosynthesis in plants. *Trends in Plant Science* 7: 41–48.
- Soar C.J., Dry P.R., Loveys B.R., 2006. Scion photosynthesis and leaf gas exchange in *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz: mediation of rootstock effects via xylem sap ABA. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 12: 82–96.

Soar C.J., Speirs J., Maffei S.M., Loveys B.R., 2004. Gradients in stomatal conductance, xylem sap ABA and bulk leaf ABA along canes of *Vitis vinifera* cv. Shiraz: molecular and physiological studies investigating their sources. *Functional Plant Biology* 31: 659-669.

Stoll M., Loveys B., Dry P., 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal Experimental Botany* 51: 1627-1634.

Stuedle E., 2000. Water uptake by roots: effect of water deficit. *Journal Experimental Botany* 51: 1531-1542.

Stuedle E., 2001. The cohesion-tension mechanism and the acquisition of water by plant roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 847-875.

Surbanovski N., Grant O.M., 2014. The emerging role of aquaporins in plants' tolerance of abiotic stress. In: Paraviz Ahmad, P., Rasool, S. (Eds.), *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance, Volume 2- A Sustainable Approach*. Elsevier Inc.: 431-444.

Vandeleur R.K., Mayo G., Shelden M.C., Gilliam M., Kaiser B.N., Tyerman S.D., 2009. The role of plasma membrane intrinsic protein aquaporins in water transport through roots: diurnal and drought stress responses reveal different strategies between isohydric and anisohydric cultivars of grapevine. *Plant Physiology* 149 (1): 445-460.

Vandeleur R.K., Sullivan W., Athman A., Jordans C., Gilliam M., Kaiser B.N., Tyerman S.D., 2014. Rapid shoot-to-root signalling regulates root hydraulic conductance via aquaporins. *Plant, Cell and Environment* 37: 520-538.

Williams L.E., Ayars J.E., 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 132: 201-211.

Williams L.E., Matthews M.A., 1990. Grapevine. In: *Irrigation of agricultural crops*. Steward B.A. and Nielsen D.R. (Eds.). American Society of Agronomy. Monograph No. 30.

Wu Y., Cosgrove D.J., 2000. Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Journal of Experimental Botany* 51: 1543-1553.

Zwieniecki M., Thompson M., Holbrook N.M., 2003. Understanding the hydraulics of porous pipes: trade-offs between water uptake and root length utilization. *Journal of Plant Growth Regulation* 21: 315-323.

CAPITOLO 8

MODALITÀ, STRATEGIE E LIMITAZIONI DELLA POSSIBILE RIDUZIONE DELL'USO DELL'ACQUA NEI VIGNETI

Maunzio Boselli

8.1 • Effetti dello stress idrico sulla vite

8.2 • Piogge ed evaporazione

8.3 • Evaporazione dal suolo

8.4 • Traspirazione dalla coltura

8.5 • Evapotraspirazione

8.6 • Disponibilità di acqua nel suolo

8.7 • Come dare l'acqua al vigneto

8.8 • Risparmio di acqua

8.9 • Aumento dell'efficienza dell'uso dell'acqua (WUE)

8.10 • Trattamento con induttori di resistenza per ridurre lo stress idrico della vite

Introduzione

Il concetto di "sviluppo sostenibile", formalizzato nel 1987 dal rapporto Brundtland per opera del WCED (Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo), fu definito come "lo sviluppo che soddisfa i bisogni della generazione corrente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri". Le pratiche sostenibili devono essere sensibili all'ambiente (*Environmentally Sound*), rispondenti ai bisogni e agli interessi della società nel suo complesso (*Socially Equitable*) ed economicamente in grado di essere attuate e mantenute nel tempo (*Economically Feasible*), tre concetti che vanno spesso sotto il nome delle "3E" della sostenibilità (CSWA, 2009).

Tra tutte le attività umane, appare evidente il ruolo centrale dell'agricoltura, che da sempre è stata portatrice inconsapevole dei principi della sostenibilità. L'agricoltura moderna ha di fronte la sfida della sostenibilità, che vuol dire sopravvivenza non solo economica ma, nello stesso tempo, armonia con le risorse naturali. Le economie agricole rappresentano dunque il punto d'incontro fra i bisogni essenziali dell'uomo e la produzione primaria.

Per la viticoltura, la sostenibilità è diventata cruciale con la tendenza a ridurre per quanto possibile l'impronta del carbonio e dell'acqua (*carbon and water footprint*) a livello aziendale.

Riguardo a quest'ultima, per la produzione di uva e vino, emerge l'importanza di economizzare l'acqua. Per determinare il *water footprint* devono essere considerate tre categorie di acqua: *green water*, acqua che viene dalle piogge e dalla neve o da altre risorse naturali; *blue water*, acqua impiegata per l'irrigazione; *gray water*, acqua relativa alle pratiche di cantina.

Quindi due sono gli obiettivi della moderna viticoltura: ridurre l'uso dell'acqua per irrigazione e ridurre l'impiego dei *chemicals*, siano essi antiparassitari o erbicidi, in considerazione del fatto che proprio questi ultimi, alcuni dei quali considerati assolutamente innocui per l'ambiente, si ritrovano in dosi rilevabili nelle acque profonde e superficiali.

Il consumo totale annuo di un vigneto ad uva da vino si colloca fra i 300 e i 700 mm di acqua all'anno che è generalmente superiore alla media delle precipitazioni in molte aree viticole che sono collocate per il 60% in zone considerate semi-aride.

Risulta quindi necessario concepire nuovi sistemi di produzione, verso una gestione sostenibile delle risorse naturali, oltre a valutare gli impatti positivi e negativi della viticoltura sull'ambiente. Questo comporta la necessità di sviluppare strategie integrate di gestione degli agroecosistemi mediante la valutazione delle conseguenze economiche e sociali di queste nuove pratiche in aziende agricole e della loro catena di valore.

Nelle zone temperato-calde, peraltro, l'impiego dell'acqua per l'irrigazione dei vigneti può compromettere la sostenibilità della coltura, entrando in competizione con altri usi, come i consumi urbani. È recente (2015) la restrizione del consumo d'acqua nelle città californiane, che devono ridurre i propri consumi del 15% con la probabile limitazione del consumo *pro capite* a 100 galloni al mese (circa 378 litri), e la nuova e restrittiva regolamentazione sull'uso dell'acqua dei pozzi delle aziende vitivinicole, il cui impiego privato viene fortemente limitato, a causa della ristrettezza delle risorse idriche, della subsidenza dei suoli, della degradazione della qualità dell'acqua, dell'intrusione dell'acqua di mare e dell'accumulo di nitrati.