Veltha, attività effettuata dal DiSPAA

DESCRIZIONE DELLE CAMPAGNE SPERIMENTALI

Le campagne sperimentali delle annate 2017 e 2018 si sono svolte presso la Tenuta Ornellaia e la Tenuta Masseto nel Bolgherese. Le due tenute sono entrambe di proprietà dei marchesi Frescobaldi e sono situate a pochi chilometri del borgo medievale di Bolgheri, località del comune di Castagneto Carducci (LI). Le tenute si posizionano ai piedi delle colline di Bolgheri, in direzione est, mentre di fronte, ad ovest, a circa sei chilometri di distanza, si stende la Costa degli Etruschi.

La Tenuta Ornellaia conta più di 100 ettari ripartiti in due zone: circa 48 si trovano a sud del viale dei cipressi di Bolgheri, lungo la statale bolgherese, e 58 ettari nella zona più a nord, in prossimità del mare.

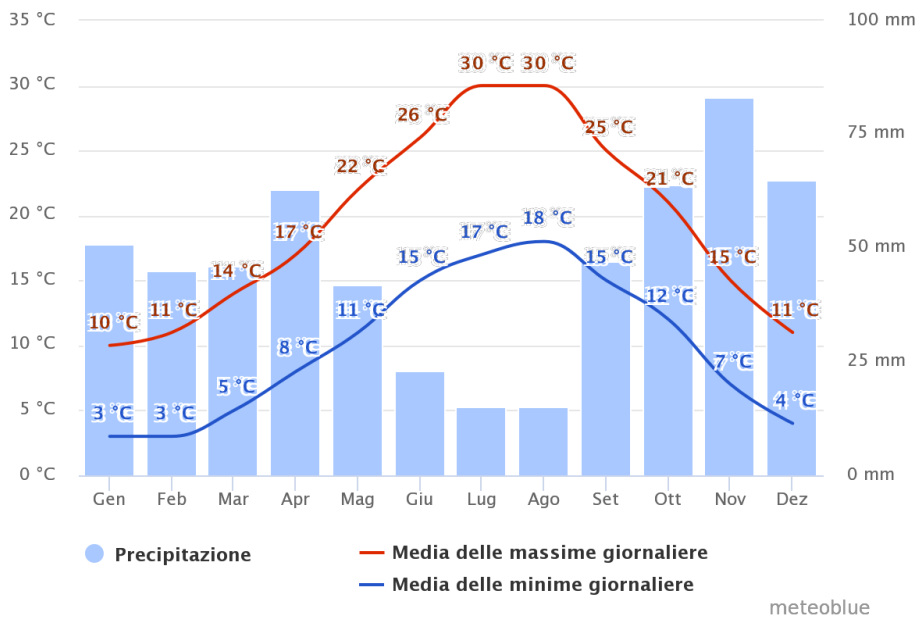


Figura 1: Pluviometria e temperature del comune di Castagneto Carducci (Meteoblue.com) riferiti a valori medi mensili registrati nell'arco di trent'anni

Il clima della zona di Castagneto Carducci è tipicamente mediterraneo, con inverni piovosi e miti dove le temperature raramente scendono sotto lo zero, e con estati calde e secche, non torride, con piogge scarse e di brevissima durata; la zona è stata classificata Csa nel sistema di Köppen, cioè con un clima temperato caldo-piovoso, con temperature estive maggiori di 22°C; la temperatura media è di 14,9°, la minima si aggira attorno ai 4° e la massima ai 30°. La piovosità media annuale è di 750 mm; le piogge sono distribuite soprattutto nel periodo primaverile ed autunnale.

Le caratteristiche pedologiche della zona di Bolgheri, e conseguentemente delle zone delle analisi sono estremamente varie in quanto si ha l'incontro di terreni autoctoni con terreni alluvionali di riporto. In generale, nella zona di Bolgheri, si hanno unità di paesaggio caratterizzate da diversi terreni che possono avere origini marine, alluvionali e vulcaniche, e tessitura argillosa, argillo-sabbiosa o sabbiosa-argillosa, argillo-limosa, o completamente sabbiosa; i suoli si classificano da debolmente alcalini ad alcalini (pH da 6.93 a 8.55). Il paesaggio è costituito da aree con quote massime attorno ai 200 m s.l.m. La Tenuta Ornellaia e la Tenuta Masseto si trovano in una zona compresa tra i 130 e i 35 m s.l.m; questa zona è costituita da conglomerati di Bolgheri (ciottoli eterometrici) di tipo fluviale e dalle sabbie della Val di Gori, sedimenti continentali e rossastri che si sovrappongono ai conglomerati. In particolare nella Tenuta Ornellaia, e soprattutto nella Tenuta Masseto, si possono osservare suoli costituiti da argille plioceniche, sovrastate da conglomerati di Bolgheri che a loro volta sono coperti da sedimenti fluviali sabbiosi, cioè si ha la presenza di argille sciolte e sabbie ricche di sassi.

Vigneti oggetto di studio

La campagna sperimentale del 2017 è stata svolta su tre vigneti: Bellaria e Pero situati all'interno Tenuta Ornellaia e Masseto facente parte della Tenuta Masseto; nell'annata 2018 i rilievi e le analisi sono proseguite sul vigneto Pero:

- Bellaria: è un vigneto a nord del viale dei cipressi di Bolgheri e a circa 3,5 chilometri in linea d'aria dalla sede principale della Tenuta Ornellaia.

Figura 2: Vigneto Bellaria con evidenziata in rosso la zona della ricerca

È costituito da circa 30 ettari caratterizzati da un elevata variabilità pedologica e varietale. La sperimentazione è stata effettuata in due ettari di Merlot, posti nella zona mediana del vigneto; la forma di allevamento è una controspalliera potata a cordone speronato e con una densità di circa 7.000 piante/ha orientate est/ovest;

- Pero: situato all'interno della Tenuta, presenta una superficie totale di circa 10 ettari ed è caratterizzato da un suolo argillo-sabbioso. Il vigneto è stato impiantato con Cabernet Sauvignon allevato controspalliera e potato a cordone speronato con orientamento nord/sud;
- Masseto: la superficie si estende per un totale di 6,63 ettari, è caratterizzato da un suolo argillo-limoso e da una pendenza del 10%. È suddiviso in tre zone: Masseto Junior, la zona più bassa del vigneto, Masseto Centrale e Masseto Alto situato nella parte superiore. La superficie è totalmente indirizzata alla coltivazione del Merlot che viene allevato con il sistema controspalliera potato a cordone speronato semplice e doppio; la densità d'impianto è di 4.000 piante/ha con orientamento nord/sud. La sperimentazione si è svolta nella zona di Masseto centrale, l'area del vigneto con una maggiore concentrazione di argille plioceniche.

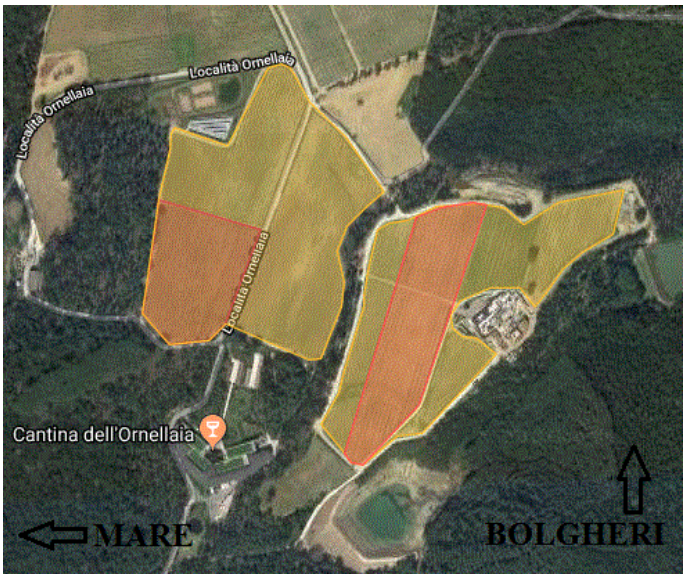


Figura 2: Vigneti di Pero (sinistra) e Masseto (destra) con evidenziate in rosso le zone della ricerca

Disegno sperimentale

La sperimentazione ha posto a confronto tre differenti tecniche di gestione del suolo al fine di valutare le risposte allo stress idrico: i sistemi di gestione dell'interfilare utilizzati sono stati la lavorazione, la pacciamatura e l'inerbimento.

- Pacciamatura (PT): è stato attuato facendo crescere le essenze erbacee, spontanee nel caso del vigneto Bellaria e seminate nei casi di Masseto e Pero, sul terreno fino a che non hanno raggiunto i 50 cm di altezza, successivamente sono state stese tramite l'utilizzo di un rullo, procedendo così all'allettamento;

- Inerbimento (IT): ha previsto il mantenimento nel filare, sia nell'interfilare che nel sotto fila, di essenze erbacee, spontanee nel caso di Bellaria e seminate nei casi di Pero e Masseto, sottoposte periodicamente a trinciature cosi ché l'altezza delle erbe non superasse i 30 cm.
- Lavorazione (L): ha previsto l'attuazione di ripetute lavorazioni volte a rompere lo strato superficiale del terreno, tali lavorazioni sono andate ad interessare i primi venti centimetri del suolo e sono state effettuate nello stesso periodo della prima trinciatura degli inerbimenti;

L'inerbimento presente a Bellaria era di tipo spontaneo; nel caso di Masseto e di Pero era invece composto da Trifoglio Incarnato (40%), Avena (25%) e Orzo (35%). In seguito ad una valutazione visiva è stato determinato che l'inerbimento spontaneo di Bellaria era formato dalle seguenti specie selvatiche: *Calendula arvensis*, *Euphorbia helioscopia*, *Lamium amplexicaule*, *Crepis sancta*, *Senecio vulgaris* (piante annuali con sviluppo primaverile), *Ornithogalum divergens*, *Malva pusilla*, e *Phalaris bulbosa* (piante biennali e poliennali).

Per la più corretta applicazione delle diverse tesi, le aree sperimentali di ogni vigneto sono state suddivise in tre blocchi randomizzati: ogni blocco era costituito da una ripetizione di ciascuna delle tesi applicate; ogni ripetizione era composta da tre interfilari consecutivi; come illustrato schematicamente nelle Figure 4, 5, e 6.

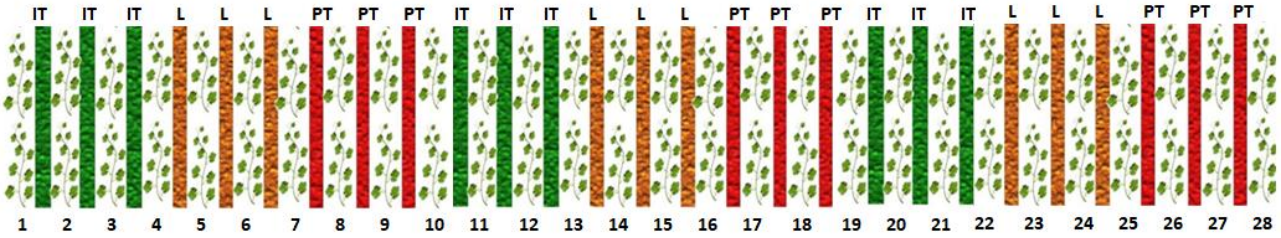


Figura 4.: Disegno Sperimentale Pero, in verde i filari gestiti con inerbimento, in arancione i filari gestiti con lavorazione ed in rosso quelli gestiti con pacciamatura

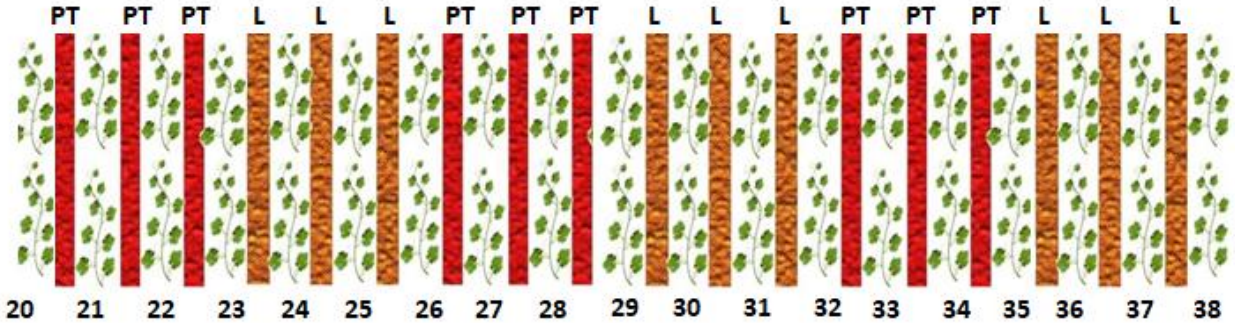


Figura 5.: Disegno Sperimentale Masseto, in rosso i filari gestiti con pacciamatura e in arancione quelli con lavorazioni

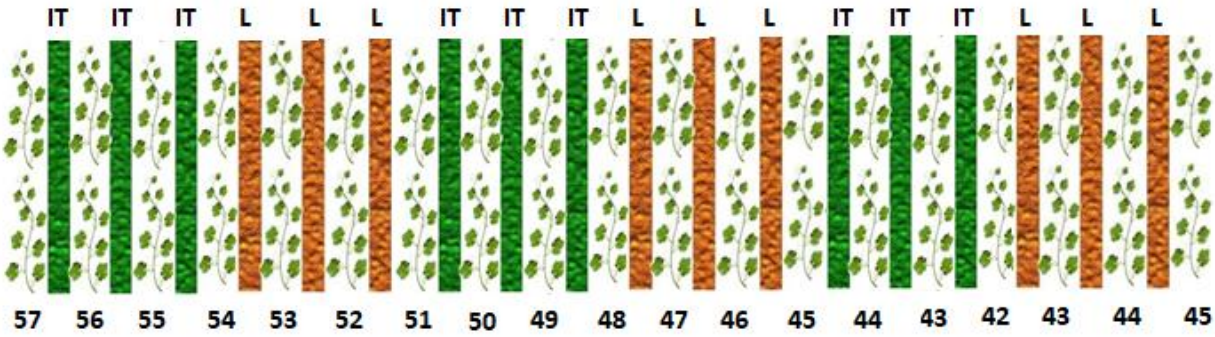


Figura 6.: Disegno Sperimentale Bellaria, in verde i filari gestiti a inerbimento ed in arancione quelli gestiti con lavorazioni

Nel vigneto Bellaria, che presenta un terreno di medio impasto e viti con vigoria superiore a quella degli altri vigneti, è stato scelta l'applicazione dei sistemi di gestione inerbimento e lavorazione, mente la pacciamatura è stata esclusa. La pacciamatura non è stata applicata in quanto tale sistema di gestione tende a ridurre le perdite di acqua dal terreno per evaporazione, comportando il mantenimento di una risorsa idrica più elevata rispetto alle lavorazioni e all'inerbimento (Pinamonti 1998, Varga e Májer 2004); questo in un vigneto con piante vigorose come Bellaria, potrebbe portare ad eccessi di accrescimento vegetativo comportando chiome più dense, che riducono l'esposizione al sole dei grappoli, comportando un rallentamento nella maturazione e, più in generale, fenomeni di competizione tra apparato vegetativo e riproduttivo con conseguente abbassamento della qualità. Nel vigneto Masseto, che, al contrario di Bellaria, presenta piante con un vigore ridotto, sono stati applicati i sistemi di gestione lavorato e pacciamato, evitando l'uso dell'inerbimento in quanto la presenza di erbe nell'interfilare comporta fenomeni di competizione per acqua e nutrienti; ciò potrebbe portare ad un ulteriore abbassamento della vigoria delle piante, rendendole più suscettibili stress abiotici e biotici (Fregoni, 2005; Palliotti et al., 2015). Il vigneto Pero presenta piante con una vigoria intermedia e un terreno sabbioso; ciò ha permesso l'impiego di tutte e tre i sistemi di gestione, inerbimento, pacciamatura e lavorazione, senza che queste comportino problematiche a carico del vigore, dell'equilibrio vegeto-produttivo o della salute delle piante.

RILIEVI EFFETTUATI

Le condizioni climatiche sono tra i principali elementi che determinano la condizione di stress idrico per una pianta. Lo studio dell'andamento meteorologico risulta quindi essenziale per poter comprendere e contestualizzare i dati relativi allo stress idrico delle piante. Le principali variabili di

interesse sono temperatura e precipitazioni, espresse come temperatura (C°) massima giornaliera e precipitazioni totali giornaliere (mm), così come rivestono particolare importanza anche la radiazione solare, l'umidità e il vento

I dati meteorologici sono stati ottenuti da due stazioni meteo, una posta in prossimità del vigneto Bellaria e del vigneto Pero. I dati meteorologici sono stati rilevati dal 01/05 al 08/09 nell'annata 2017 e dal 01/05 al 26/09 nell'annata 2018.

Misurazioni effettuate

Nelle rilevazioni effettuate a Bolgheri sono state impiegate, nella misurazione del potenziale idrico, tre foglie da ciascuna ripetizione di ogni tesi in ciascun vigneto, per un totale di nove foglie per tesi; le foglie sono state selezionate in maniera casuale, scegliendo però foglie mature, verdi, sane e prive di ferite, preferibilmente della zona basale della chioma, prelevandole dalla parte illuminata del filare. Le rilevazioni del potenziale sono state svolte, nel 2017, dal 26/05 al 28/08 nei vigneti Bellaria, Pero e Masseto, per un totale di otto misurazioni effettuate a cadenza circa bisettimanale; per l'annata 2018 le misurazioni nel vigneto Pero sono state effettuare a cadenza quasi settimanale, iniziando in data 21/06/18 e terminando prima della vendemmia in data 20/09/18 per un totale di dodici misurazioni durante la stagione. Tutte misurazioni sono state svolte circa a mezzogiorno (midday). Nella sperimentazione svolta a INIA, per la misurazione del potenziale idrico, è stata utilizzata una foglia per ciascuna pianta di ogni vaso, la scelta è stata attuata seguendo i medesimi accorgimenti che sono stati descritti nel caso della sperimentazione svolta a Bolgheri; le rilevazioni sono state effettuate circa ogni settimana dal 4/01/19 al 24/03/19, per un totale di otto misurazioni. Le misurazioni sono sempre state effettuate al mezzogiorno.

Nelle annate 2017 e 2018, per i rilievi effettuati con l'uso dello strumento Ciras-3 sono state impiegate nove foglie, tre per ogni ripetizione di ciascuna tesi presente nei tre vigneti; le foglie sono state scelte in maniera casuale, sebbene dovessero essere, come nel caso della misurazione del potenziale idrico, mature, intere, sane, verdi, posizionate nella parte basale della chioma e ben esposte al sole. Le analisi degli scambi gassosi nel vigneto Bellaria si sono svolte dal 8/06 al 31/08, per un totale di sette misurazioni; nel caso di Masseto sono state effettuate dal 19/05 al 21/08, per un totale di otto rilevazioni, mentre per Pero le misurazioni sono state svolte in nove date, con inizio il 19/05 e conclusione il 31/08; nell'annata 2018, sul vigneto Pero, sono state effettuate tredici misurazioni dal 14/06 al 17/09. Nel caso delle analisi svolte presso INIA sono state misurate, con l'uso del porometro SC-1 e del Ciras-3, due foglie per ciascuna pianta di ogni vaso, prediligendo le foglie mature, sane, e ben esposte al sole; le misurazioni sono state effettuate i medesimi giorni di quelle del potenziale idrico a cadenza settimanale dal 4/01/19 al 24/03/19.

Potenziale idrico

. I valori utilizzati nella stima dello stress idrico sono quelli di due momenti specifici della giornata: nell'istante immediatamente precedente all'alba, predawn, e a mezzogiorno (midday). Nelle

Figura 13: Camera di Sholander

rilevazioni effettuate presso le Tenute Ornellaia e Masseto è stata utilizzata una camera di Scholander Modello 600 della PMS Instrument Company (Albany, NY, U.S.A

Scambi Gassosi Su Singola Foglia

Al fine di misurare gli scambi gassosi nel presente studio è stato usato il Ciras-3, sviluppato dalla PP System (Herts, UK).

I dati analizzati dal Ciras risultano essere:

- CO_2r: anidride carbonica di riferimento (µmol/mol);
- CO_2a: anidride carbonica di analisi;
- CO_2d: anidride carbonica differenziale;
- H_2Or: vapore acqueo di riferimento (mb);
- H_2Oa: vapore acqueo di analisi;
- H_2Od: vapore acqueo differenziale;
- *PARi*: radiazione fotosinteticamente attiva interna (µmol/m^{2}s);
- *PARe*: radiazione fotosinteticamente attiva esterna;
- *RH%*: umidità relativa all'interno della foglia;
- $T°_{amb}$: temperatura ambiente (C°);
- $T°_{cuv}$: temperatura cuvette;

- $T°_{leaf}$: foglia

I dati relativi agli scambi gassosi forniti dal Ciras sono i seguenti:

- C_i: concentrazione di CO_2 substomatica (µmol/mol);
- *A*: assimilazione/Respirazione (µmol CO_2/m^2s) o *Pn*: Fotosintesi netta (µmol/m^2s);
- g_s: conduttanza stomatica (mmol H_2O/m^2s);
- *VPD*: deficit di vapore acqueo della foglia (KPa);
- *WUE*: efficienza nell'uso dell'acqua (mmol CO_2/mol H_2O).

ANALISI IN LABORATORIO

Campionamento

Durante le campagne sperimentali svoltesi alle Tenute Ornellaia e Masseto, dal 31/07/17 al 8/09/17 e dal 1/08/18 al 25/09/18 sono stati effettuati campionamenti degli acini al fine di analizzare la maturazione tecnologica e fenolica.

Al fine di effettuare le analisi della maturazione tecnologica (°Brix, pH e acidità) i campioni raccolti dall'invaiatura alla vendemmia come sono stati pressati per procedere all'estrazione del succo il quale, dopo essere stato filtrato, è stato sottoposto alle differenti analisi: in primo luogo è stato valutato il contenuto zuccherino mediante l'impiego del rifrattometro da campo ATAGO N1 2110-W06 (ATAGO Co., JP).

Il pH esprime l'acidità reale del mosto e misura la forza dell'insieme degli acidi presenti. Nella sperimentazione è stato determinato applicando il metodo potensiometrico, cioè usando un pHmetro (HI9124, HANNA Instrument, IT); questo strumento misura la forza elettromotrice che si genera tra un elettrodo di riferimento e un elettrodo immerso nel mosto.

Infine è stata misurata l'acidità totale la quale esprime la quantità di acidi liberi presenti all'interno del mosto (espressa in g/l di acido tartarico) e corrisponde all'analisi degli acidi titolabili quando si neutralizza il mosto mediante l'aggiunta di una soluzione alcalina titolata.

Analisi Maturazione Fenolica

Successivamente all'analisi della maturazione tecnologica, si è proceduto all'analisi del contenuto di composti fenolici nel mosto, composti, questi, essenziali alla determinazione della futura qualità del vino per varietà ad uva rossa.

Sono stati analizzati i campioni raccolti dalla completa invaiatura alla vendemmia per analizzare l'accumulo di polifenoli ne tempo, ponendo a confronto le varie tesi; alla vendemmia sono state analizzate le cinque ripetizioni di ogni tesi prelevate da ciascun vigneto.

Il metodo utilizzato per l'analisi della maturazione fenolica è stato quello di Glories (1985) che permette di ottenere il contenuto di polifenoli e di antociani, totali ed estraibili, presenti all'interno della bacca mediante un'estrazione in condizioni a pH simil-vino ed un'estrazione in condizioni di elevata acidità.

RISULTATI E DISCUSSIONE

DATI METEO

Le stazioni meteo poste ad Ornellaia nelle zone adiacenti al vigneto Bellaria e al vigneto Pero (includendo dunque anche Masseto), hanno registrato un andamento concorde delle precipitazioni e delle temperature nelle due annate, come riportato nel Figura 1.1 e nel Figura 1.2..

Da come si evince dalle figure, quella del 2017 è stata un'annata fortemente anomala: infatti la

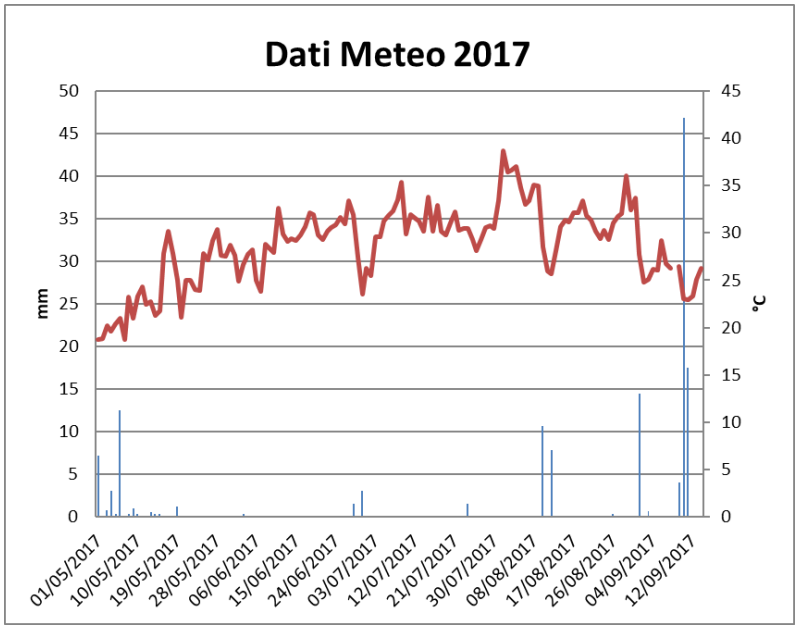


Figura 1.1: Andamento delle temperature massime e delle precipitazioni durante l'annata 2017

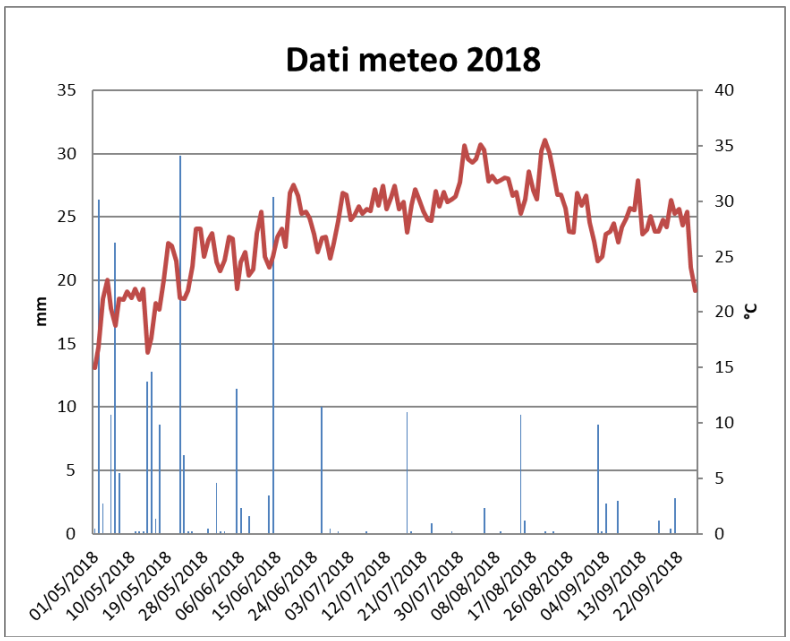


Figura 1.2: Andamento delle temperature massime e delle precipitazioni durante l'annata 2018

media delle temperature massime misurate dal 1/05 al 8/09 è stata pari a 28,8°, ed è stata registrata, in data primo agosto, la temperatura massima di 38,7°. Contestualmente, sono state registrate precipitazioni di scarsa intensità durante tutta la stagione estiva, con un accumulo totale, dal primo maggio alla vendemmia, di 68 mm di pioggia, con limitati eventi piovosi in agosto (10,7 e 7,8 mm) ed un evento leggermente maggiore (14,3 mm) attorno al periodo della vendemmia.

Al contrario nell'annata 2018, sebbene con valori comunque superiori alla media stagionale della zona (nella zona, nel periodo compreso tra 01/05 e 31/08, si registra una media delle temperature massime paria 25,8°, Cimate-data.org) si sono registrate temperature inferiori rispetto al 2017: infatti le temperature medie nella stagione estiva si sono aggirate attorno ai 27,5° con la massima temperatura registrata il 20/08 di 35,5°. Gli eventi piovosi sono stati maggiori rispetto al 2017, distribuiti soprattutto nella prima parte della stagione, per un totale di 239,8 mm dal 1/05 alla vendemmia, cioè il 26/09.

Questa differenza nelle temperature e nell'apporto idrico nelle prime parti della stagione, tra maggio e giugno, ha comportato un andamento differente nelle fasi fenologiche della vite durante le due annate. Infatti, facendo riferimento ai dati dell'analisi degli stadi fenologici effettuata dal Servizio Fitosanitario Regionale, si riscontra una differenza sostanziale: mentre le prime fasi della fioritura sono cadute all'incirca nella medesima settimana con un lieve ritardo nell'annata 2017 rispetto al 2018, la fase del grappolo in pre-chiusura è stata fortemente anticipata nel 2017, poiché è avvenuta due settimane prima del 2018; ciò ha comportato, nel 2017, un anticipo di tutti i restanti stadi fenologici fino alla vendemmia che è iniziata, per il vigneto Pero, in data 08/09 mentre, nel 2018, in data 26/09 (AgroAmbiente).

POTENZIALE IDRICO

ANNATA 2017

Bellaria

Per entrambe le tesi effettuate a Bellaria, inerbimento (IT) e lavorazione (L), sono stati registrati valori di potenziale idrico sempre più negativi con il protrarsi della stagione estiva, raggiungendo, per entrambe le tesi, valori di stress idrico prossimi alla soglia di stress (-11 Bar, Fregoni, 2005; van Leeuwen et al, 2009), successivamente all'invaiatura (31/07) fino alla vendemmia (4/09); da fine luglio i valori dei potenziali si sono mantenuti sempre inferiori a -13 bar. Tale elevata condizione di stress è stata causata dall'andamento stagionale, con elevate temperature e scarsi eventi piovosi (10/08 con 10,7 mm e 12/08 con 7,8 mm) i quali pare non abbiano avuto alcun effetto sullo stato idrico delle piante in quanto non è stato registrato nessun aumento del potenziale dopo queste due date (Figura 3), ma al contrario una progressiva diminuzione.

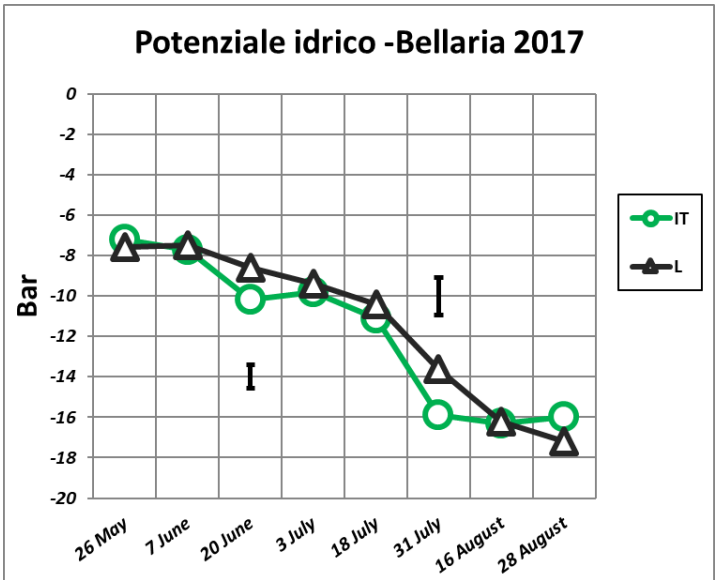


Figura 2.1: Andamento stagionale dei Potenziali Idrici vigneto Bellaria, anno 2017

Tra le tesi, le rilevazioni che presentano differenze statistiche ($p<0,05$) sono state due (20/06 e 31/07) sulle otto totali: in entrambi i casi è stato registrato un valore più basso e, conseguentemente, si sono viste piante con un maggiore stress idrico, nella tesi gestita con gli inerbimenti (IT).

Entrambe le tesi, però, raggiungono livelli di potenziale idrico estremamente bassi, cioè al di sotto della soglia di stress idrico, ovverosia minore di -11 Bar: soprattutto nell'ultima rilevazione, quella del 28/08, dove per la tesi gestita con inerbimenti si misurano -16 bar e, per

quella gestita con il sistema lavorato-trinciato, -17,2 bar, valori al di sotto della soglia di stress idrico severo (<-14 Bar) (Fregoni, 2005; van Leeuwen et al., 2009).

Masseto

Durante tutta la stagione i potenziali idrici delle tesi di Masseto hanno mostrato un andamento decrescente regolare raggiungendo livelli di stress idrico oltre la soglia di stress (-11 Bar). Dal 20/06, infatti, hanno continuato a diminuire fino a raggiungere livelli severi di stress dalla metà di agosto in poi, dove si sono registrati valori pari a -19 bar per la tesi PT e -21 bar per L, con una leggera risalita della tesi PT in due occasioni (3/07 e 18/07) e della tesi L in un solo caso (28/08), nonostante non siano stati registrati eventi piovosi capaci di giustificare questo aumento.

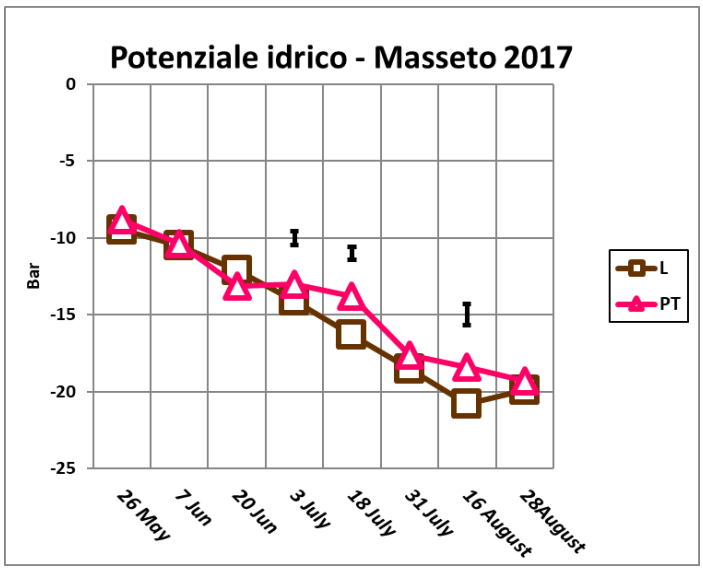


Figura 2.2: Andamento stagionale dei Potenziali Idrici vigneto Masseto, 2017

Le due differenti tesi mostrano un comportamento quasi identico, sebbene in tre occasioni (3/07, 18/07 e 16/08), sulle otto rilevazioni effettuate in totale, si siano avute delle differenze statistiche significative le quali indicano PT come il sistema con maggiore efficienza, in quanto, per questa tesi, sono stati registrati valori di potenziale idrico meno negativi.

Pero

Il vigneto Pero ha presentato, rispetto agli altri due vigneti, un livello di stress idrico più moderato, registrando una sola volta valori pari a -16 bar. Così come nel caso di Bellaria e Masseto, anche per le tesi di Pero si è avuto un andamento decrescente, con valori sempre più negativi di stress idrico; si sono registrati, infatti, livelli di potenziale vicini alla soglia di stress (minori di -11 bar) dal 3/07 in poi. Rispetto ai due vigneti precedentemente analizzati, si hanno

differenze più accentuate tra le tesi. Il sistema inerbito ha mantenuto un andamento più uniforme durante la stagione presentando livelli di potenziale idrico decrescenti ma senza picchi, di aumento o diminuzione, di particolare rilevanza. Al contrario i sistemi di conduzione lavorato e pacciamato hanno presentato un andamento meno rettilineo: per L si è avuto una rapida diminuzione del potenziale tra il 7 e il 20 di giugno e tra il 18 e il 31 luglio, per poi raggiungere livelli di potenziale più alti il 16 agosto in conseguenza alle piogge già citate, mentre per PT, dopo la diminuzione del livello di potenziale registrata in data 20/06, questo si è mantenuto più o meno costante fino ad un aumento dei valori in data 16/08 e una successiva nuova diminuzione, congiunta a L, il 28/08.

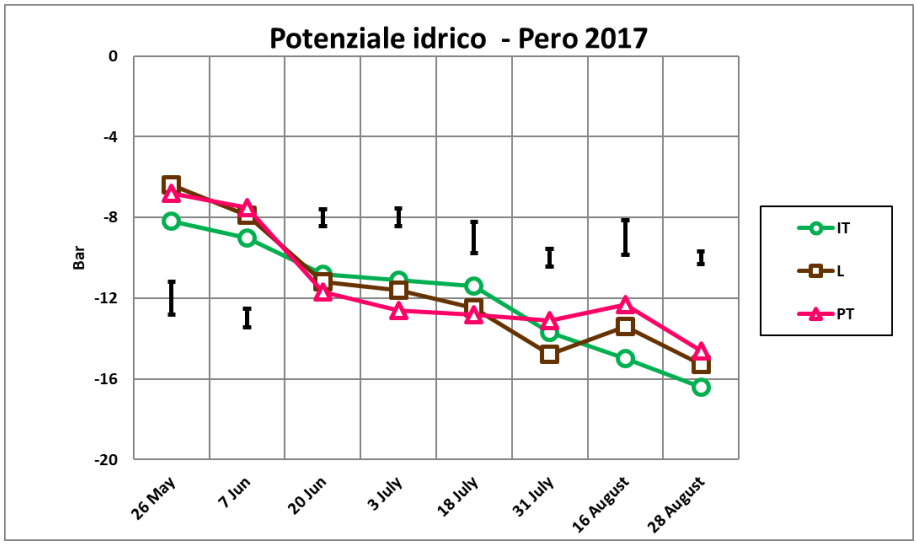


Figura 2.3: Andamento stagionale dei Potenziali Idrici vigneto Pero, 2017

Sono state rilevate differenze statistiche significative entro le tesi in tutti i rilievi effettuati: inizialmente le analisi hanno indicato un miglior comportamento rispetto allo stress idrico delle tesi PT e L, successivamente, per quattro misurazioni, la tesi IT ha registrato valori maggiori alla tesi PT, mentre per L e soprattutto per PT sono stati rilevati livelli di stress più elevati, per poi tornare ad essere di nuovo significativamente maggiori di IT per le analisi del 16 e del 28 agosto. PT ha registrato dati significativamente maggiori della tesi IT in quattro occasioni (26/05, 7/06, 16/08, 28/08) su otto e significativamente superiori alla tesi L in una sola (31/07) mentre per quest'ultima si sono registrati valori maggiori rispetto a IT quattro volte (26/05, 7/06, 16/08, 28/08) e di PT una volta (3/07). IT ha misurato valori superiori rispetto a PT in tre occasioni (20/06, 3/07, e 18/07) e mai rispetto a L. Da un'attenta analisi dei dati rilevati si evince, comunque, che nessuna delle tre tesi mostra in maniera marcata una minore restrizione idrica rispetto alle altre.

ANNATA 2018

Come nell'anno precedente, le elevate temperature hanno portato ad un regolare abbassamento del potenziale idrico durante tutta la stagione estiva, raggiungendo però valori meno negativi rispetto al 2017. Per tutte e tre le tesi si sono dunque registrati valori sempre più negativi con il progredire della stagione, notando solo in due occasioni un leggero aumento del potenziale: in data 17/07, in seguito a un evento piovoso notturno di circa 9,2 mm, e in data 31/08, in quest'ultima data sebbene non siano stati registrati eventi piovosi, il giorno dell'analisi è stato nuvoloso, e ciò, probabilmente, ha comportato un minore consumo idrico. Dal 2 Agosto in poi, inoltre, si è notata una continua oscillazione dei valori delle tre diverse tesi tra i -11 Bar e i -14 Bar.

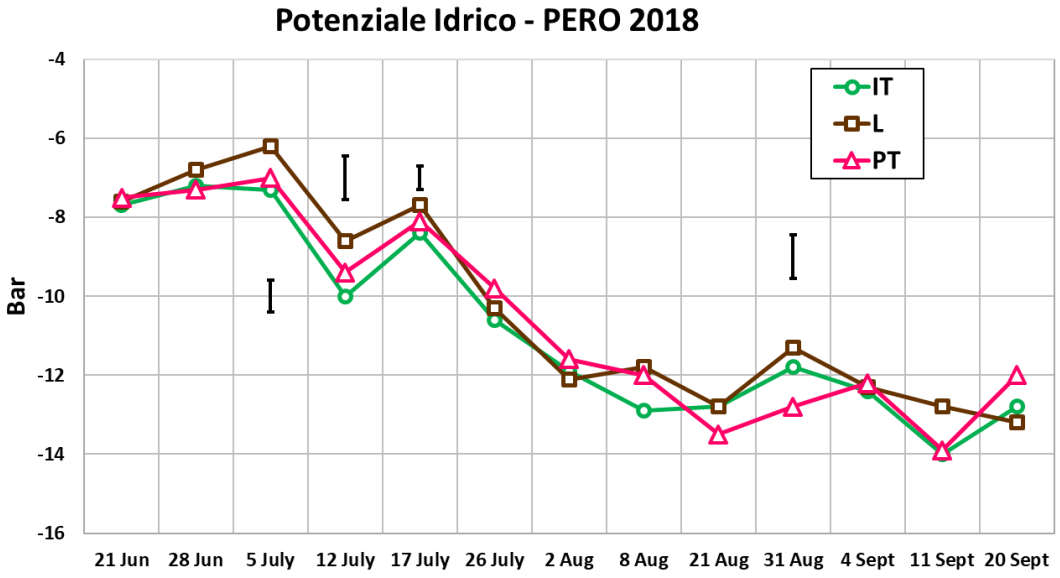


Figura 2.4: Andamento stagionale del Potenziale Idrico vigneto Pero, 2018

Le differenze statistiche significative ($p<0,05$) riscontrate tra le tesi sono state quattro in totale: il 5/07, 12/07 e 17/07 è stata registrata una differenza entro la tesi IT e la tesi L, dove la seconda ha misurato valori significativamente maggiori della prima, mentre in data 31/08 la differenza statistica si è avuta tra le tesi PT e L dove la seconda ha ugualmente registrato valori maggiori di potenziale idrico. Si può notare infatti, nella figura, che la tesi L si è dimostrata, per diverse misurazioni, la tesi con maggiore capacità di mantenere livelli di potenziale più elevati, mentre le tesi IT e PT si sono dimostrate meno efficienti in quanto entrambe hanno registrato valori negativi attorno ai -14 Bar, condizione che nella tesi L non si è mai registrata.

DISCUSSIONE

L'andamento del potenziale idrico, per entrambi gli anni nei quali sono state svolte le misurazioni, è stato fortemente influenzato dall'andamento climatico, il quale, come abbiamo già analizzato, è stato caratterizzato nel periodo vegetativo della vite da elevate temperature e scarse piogge sia per il 2018 che, in particolar modo, per il 2017; nel 2017 le temperature estremamente elevate giustificano le soglie di stress registrati per i vigneti Bellaria, dove si è riscontrato un minimo di -17 Bar, e Masseto, con -21 Bar; inoltre è stato riscontrato un livello di potenziale idrico oltre la soglia di stress fin dal principio dell'estate, mentre nel 2018 tali livelli si sono raggiunti solo ad inizio agosto.

Nei vigneti Bellaria e Masseto non sono state registrate numerose differenze statistiche nei valori di potenziale tra le tesi (due volte su otto rilevazioni nel caso di Bellaria e tre su otto nel caso di Masseto), ciononostante si possono evidenziare delle tendenze dell'andamento di questo parametro in tali vigneti: nel caso di Bellaria primo vigneto la tesi IT ha dato maggiori livelli di stress idrico e ciò potrebbe essere dovuto alla presenza del cotico erboso il quale, competendo per l'uso della risorsa idrica del terreno, rende meno disponibile l'acqua alla vite (Lopez et al, 2008; Palliotti et al., 2015; Lakso and Pool, 2006). Nel caso di Masseto si vede come la tesi GA manifesti livelli di potenziale più negativi rispetto a PT: questo concorda con la letteratura (Pinamonti 1998, Varga e Májer 2004) in quanto la pratica della pacciamatura permette di ridurre la perdita d'acqua dovuta all'evaporazione dal terreno e conseguentemente comporta il mantenimento di una riserva idrica superiore per le viti.

Al contrario nel vigneto Pero, in entrambi gli anni, non è stato possibile individuare una tesi che comporti un maggior controllo della riserva idrica rispetto alle altre, sebbene, nel 2017 si possa vedere come le tesi GA e PT abbiano registrato, in diversi casi, valori di stress idrico più moderati rispetto alla tesi IT la quale non sono stati mai misurati valori significativamente maggiori rispetto ad una delle altre due tesi, fatto, questo, da ricondurre a quanto detto sopra per Bellaria; inoltre si può notare come i valori di PT tendano a registrare livelli di stress meno severi o simili a quelli di GA, seguendo la logica riportata nel caso di Masseto. Si può notare, nelle rilevazioni effettuate nel 2018, come la tesi PT e la tesi IT abbiano andamenti identici nella prima parte della stagione, ciò è in disaccordo rispetto a quanto osservato nell'anno precedente; questo potrebbe essere dovuto ad un ritardo nell'allettamento della copertura erbacea per la formazione della pacciamatura, così che questa abbia dato risultati conformi a quelli di un inerbimento. Questo ritardo potrebbe altresì giustificare l'andamento di PT più negativo rispetto alle altre tesi nel resto della stagione, facendo ipotizzare il possibile instaurarsi

di una competizione tra essenze erbacee e vite (Lopez et al, 2008; Palliotti et al., 2015; Lakso and Pool, 2006).

Il vigneto Pero, inoltre, nell'annata 2017 ha registrato valori, sebbene molto negativi, più alti rispetto a quelli evidenziati nei vigneti Masseto: questo potrebbe essere spiegato da un'eventuale differente tessitura del terreno di questo vigneto rispetto agli altri, che potrebbe comportare il miglior mantenimento della riserva idrica; potrebbe essere altresì spiegato dalla presenza di due cultivar differenti, cioè Cabernet Sauvignon nel vigneto Pero e Merlot nel vigneto Masseto. Tra Pero e Bellaria, nella medesima annata, sono stati registrati valori simili tra i potenziali, ciò potrebbe essere dovuto, come visto precedentemente, dalla tessitura del terreno.

SCAMBI GASSOSI SU SINGOLA FOGLIA

ANNATA 2017

Bellaria

Traspirazione e conduttanza mostrano un andamento simile durante tutte le misurazioni effettuate, ed in entrambi i casi si evidenzia, tra le rilevazioni del 8/06 e del 21/06, un innalzamento dei valori. Successivamente i valori si riabbassano attorno al livello misurato nell'analisi del 8/06 e si mantengono a tali livelli per il resto delle misurazioni.

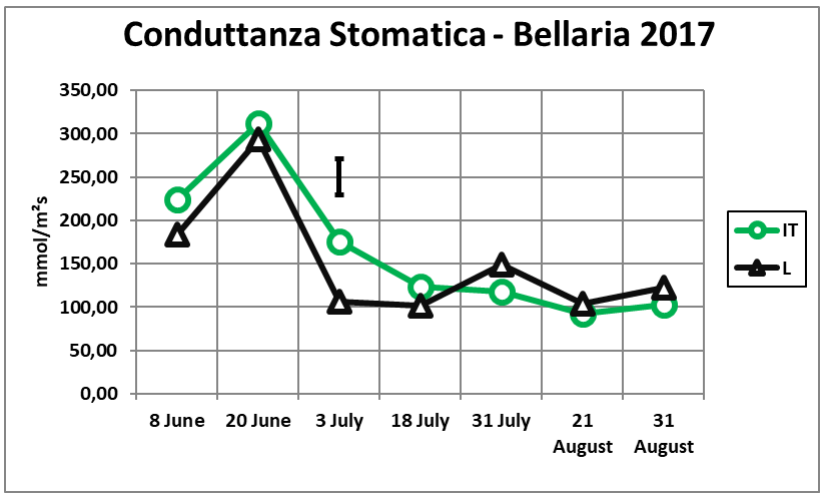


Figura 3.1: Andamento stagionale della Conduttanza Stomatica vigneto Bellaria, 2017

Sia per la conduttanza stomatica che per la traspirazione, sui sette rilievi effettuati, si è riscontrata solo una volta una differenza statistica significativa ($p<0,05$) il 3/07 dove, per entrambe le analisi, la tesi IT ha registrato valori più alti e conseguentemente un maggior

livello di traspirazione e conduttanza stomatica; nei campionamenti restanti non si riscontrano grandi differenze, ma è quasi sempre evidente una maggiore traspirazione e conduttanza stomatica della tesi IT rispetto alla tesi L.

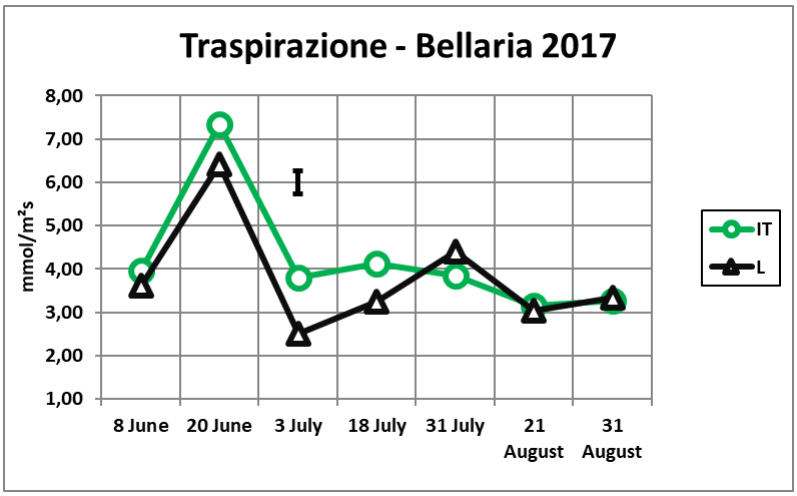


Figura 3.5: Andamento stagionale della Traspirazione vigneto Bellaria, 2017

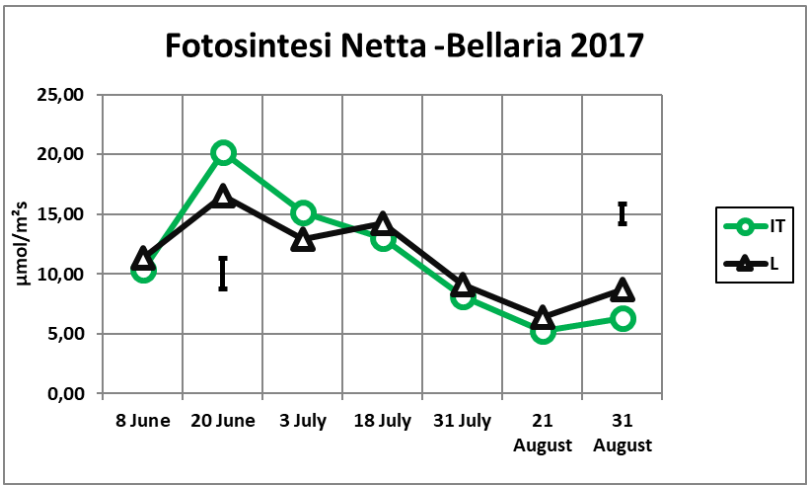


Figura 3.3: Andamento stagionale della Fotosintesi vigneto Bellaria, 2017

La fotosintesi netta del vigneto Bellaria ha riportato, come nel caso dei due parametri precedenti, un andamento decrescente dei suoi valori, anche se, come si evidenzia anche per traspirazione e conduttanza stomatica, si rileva un innalzamento dei valori della fotosintesi tra le rilevazioni del 8/06 e del 21/06.

Si riscontrano solo due momenti nei quali le differenze tra le tesi si dimostrano significative: la prima in data 20/06, dove la tesi IT registra valori di fotosintesi maggiori rispetto a L, e la seconda in data 31/08, nella quale si riscontra L con valori più elevati rispetto a IT, cosa che impedisce di definire una delle due tesi come più efficiente.

Nella misurazione della WUE-e si riscontrano valori iniziali piuttosto bassi (e dunque indice di una minore efficienza), al quale segue un aumento (più marcato per la tesi IT), e un successivo

ritorno a valori minori. Le date nelle quali si è registrato l'aumento di WUE, e dunque i momenti nei quali le piante si sono dimostrate più efficienti nell'uso dell'acqua, coincidono con le date dove sono state rilevate delle differenze significative tra le tesi, cioè il 3/07 e il 18/07.

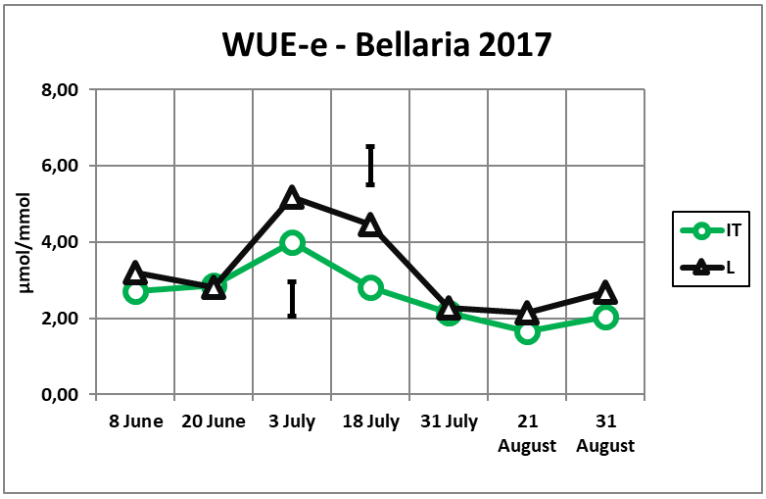


Figura 3.4: Andamento stagionale della WUE-e vigneto Bellaria, 2017

Masseto

Come nel caso di Bellaria, anche per Masseto si vedono andamenti abbastanza simili tra le analisi di traspirazione, conduttanza stomatica e fotosintesi.

La traspirazione ha registrato, dal 19/05 al 18/07, valori compresi tra le 5 e le 3 mmol/m^{2}s, mentre successivamente sono stati misurati valori inferiori alle 3 mmol/m^{2}s e prossimi allo zero.

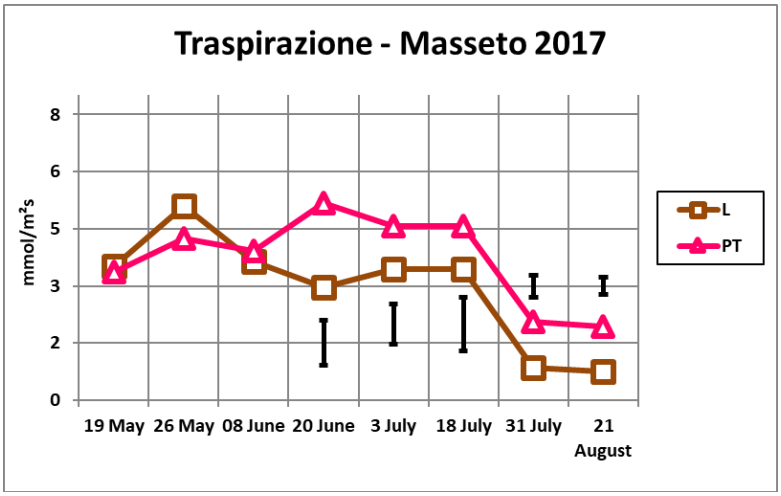


Figura 3.2: Andamento stagionale della Traspirazione vigneto Masseto, 2017

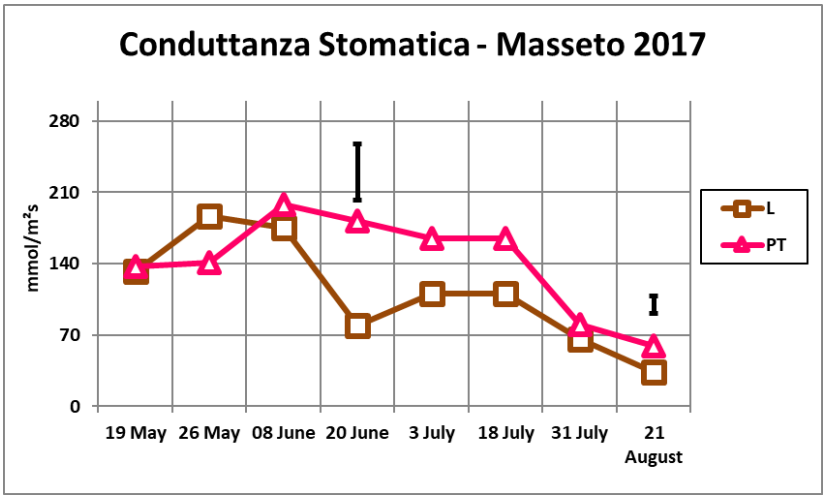


Figura 3.6: Andamento stagionale della Conduttanza Stomatica vigneto Masseto, 2017

Differenze statistiche significative sono state registrate in cinque date: 20/06, 3/07, 18/07, 31/07 e 21/08; per ciascuna di queste misurazioni la tesi che ha registrato valori maggiori traspirazione è risultata essere PT. Andamento simile si riscontra anche nella conduttanza stomatica, la quale si discosta dalla traspirazione per un picco presentato dalla tesi L in data 20/06. Per la conduttanza si riscontrano due differenze statisticamente significative (20/06 e 21/08), dove, come nel caso della traspirazione, la tesi condotta con il sistema PT ha registrato valori significativamente superiori rispetto a L.

Anche nel caso della fotosintesi si riscontra un andamento delle curve analogo alla traspirazione, con tre rilievi che hanno registrato dati statisticamente differenti in data 20/06, 3/07 e 31/08, occasioni nelle quali la capacità fotosintetica della tesi PT risulta superiore a quella di L, che, congiuntamente alle analisi su traspirazione e conduttanza stomatica, confermano la maggiore efficienza della tesi PT.

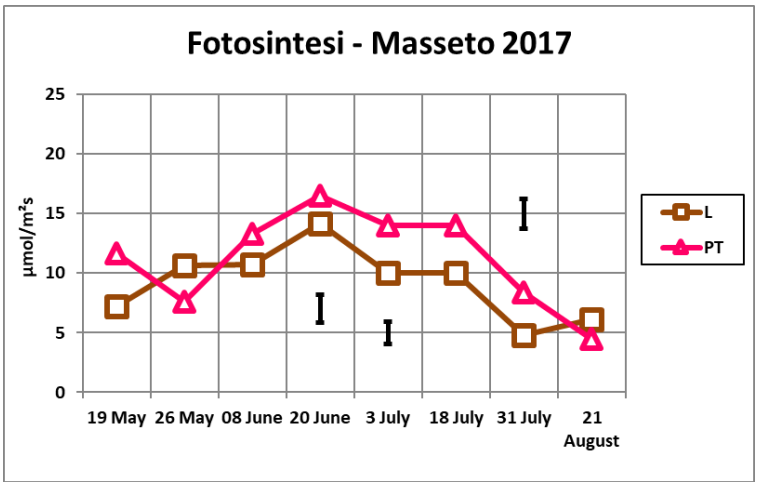


Figura 3.7: Andamento stagionale della Fotosintesi vigneto Masseto, 2017

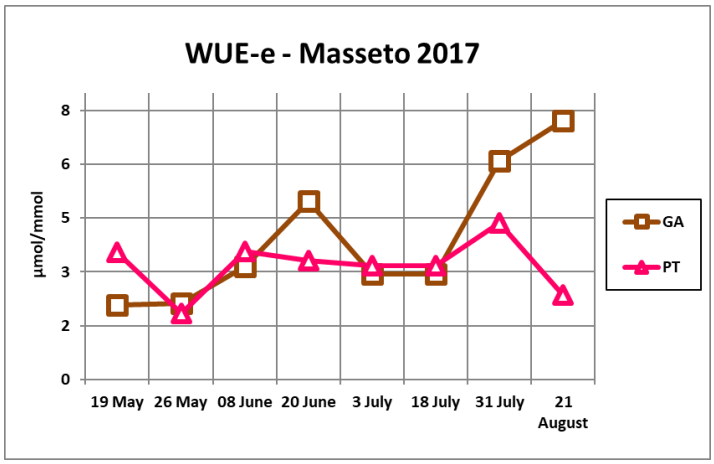


Figura 3.8: Andamento stagionale WUE-e vigneto Masseto, 2017

Gli andamenti di WUE-i evidenziano, per la tesi PT, un andamento regolare per tutta la stagione, mentre nel caso della tesi GA si rilevano degli aumenti repentini dei valori in data 20/06, 31/07 e 21/08.

Pero

Come già visto per i vigneti precedentemente analizzati, la traspirazione, la conduttanza stomatica e la fotosintesi presentano andamenti tendenzialmente simili, con alcune minime differenze.

Fotosintesi, traspirazione e conduttanza stomatica presentano un andamento crescente nella

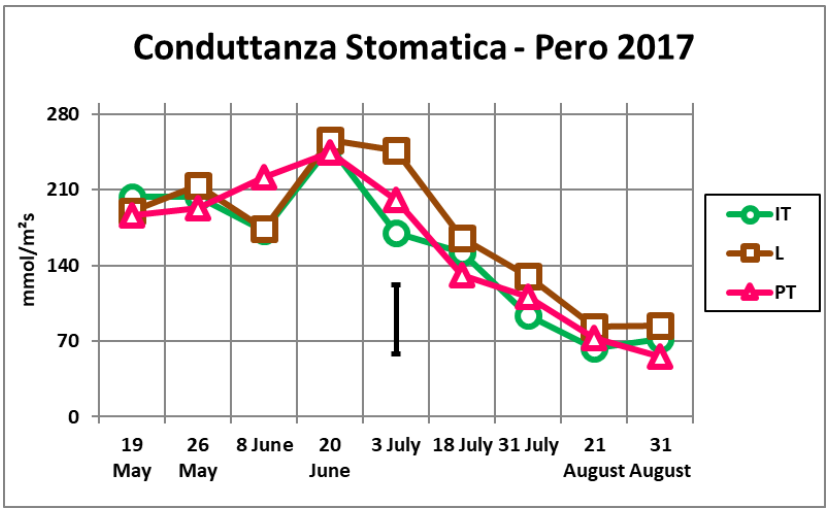
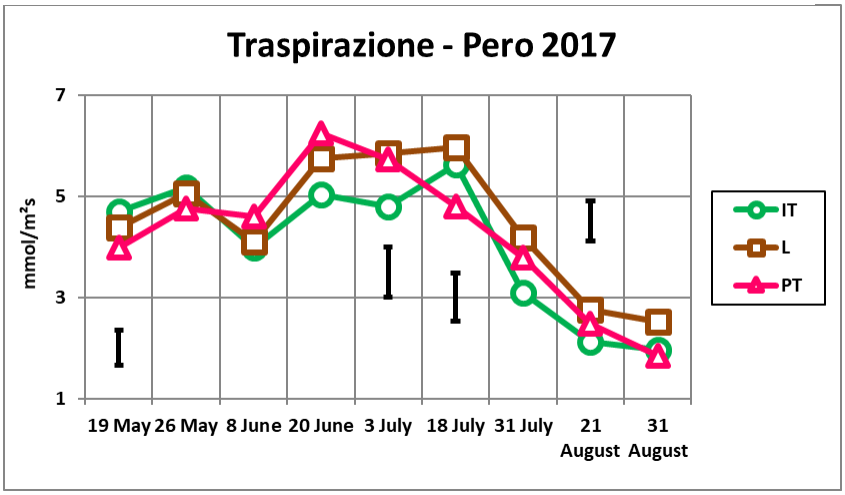


Figura 3.9: Andamento stagionale della Conduttanza Stomatica vigneto Pero, 2017

prima parte della stagione per poi decrescere nella seconda parte della stessa, soprattutto nei casi di conduttanza stomatica e traspirazione; quest'ultima presenta un andamento delle tre

diverse tesi abbastanza regolare dove però non si identifica una tesi univocamente superiore o inferiore alla altre, infatti le differenze statistiche significative, quattro in totale (19/05, 3/07, 18/07 e 21/08) hanno indicato con minor traspirazione per due volte la tesi PT e le rimanti due

Figura 3.10: Andamento stagionale della Traspirazione vigneto Pero, 2017



hanno evidenziato, al contrario, la tesi IT. Dal punto di vista di valori prettamente numerici, la

tesi IT è altresì quella che in più date ha registrato valori inferiori rispetto alle altre tesi, mentre la tesi L ha mostrato per sei volte, tre a livello di differenza statistica e tre a livello numerico, una maggior traspirazione.

Il medesimo andamento si riscontra anche nella conduttanza stomatica dove in sette casi su dodici la tesi L ha registrato valori superiori rispetto alle altre tesi. Una differenza statistica significativa registrata in data 3/07 evidenzia come la tesi L, come affermato in precedenza, presenti una conduttanza stomatica superiore alle altre tesi, mentre IT si dimostra meno efficiente nel mantenimento dell'apertura stomatica.

La fotosintesi presenta invece un andamento meno regolare nella stagione avendo oscillazioni tra valori alti e bassi durante la prima parte della stessa (dal 19/05 al 18/07). Si riscontrano quattro differenze statistiche significative (26/05, 20/06, 3/07 e 21/08) due delle quali indicano la migliore efficienza fotosintetica della tesi IT e due della tesi L mentre la tesi PT si pone sempre tra i valori più bassi di fotosintesi durante la stagione; ciò concorda, almeno in parte, con l'andamento della conduttanza stomatica, per la quale PT ha registrato valori bassi indicando la maggiore condizione di stress idrico.

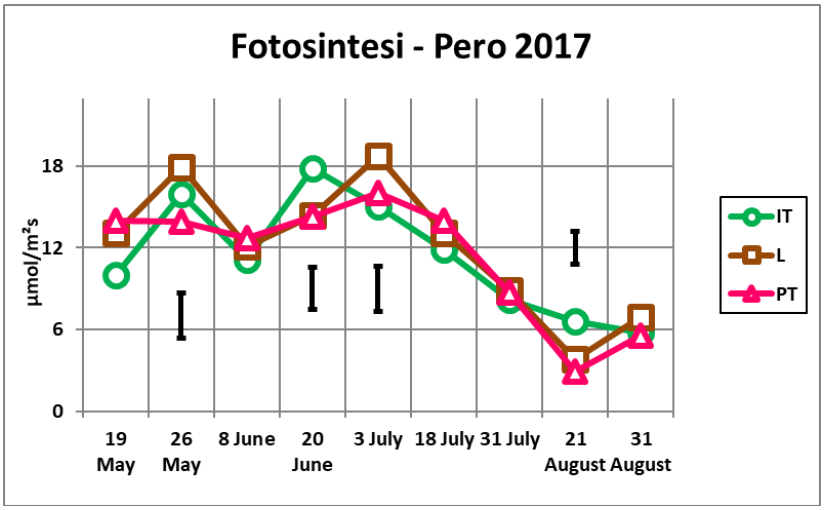


Figura 3.12: Andamento stagionale della Fotosintesi vigneto Pero, 2017

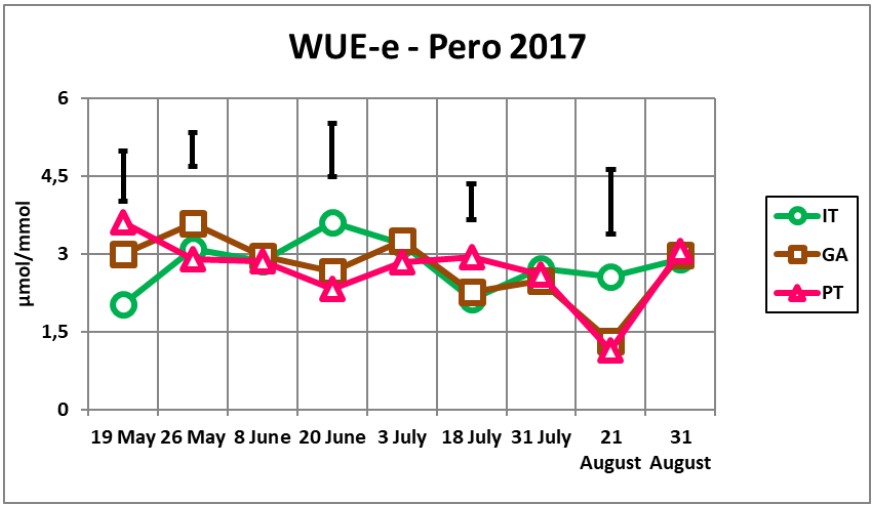
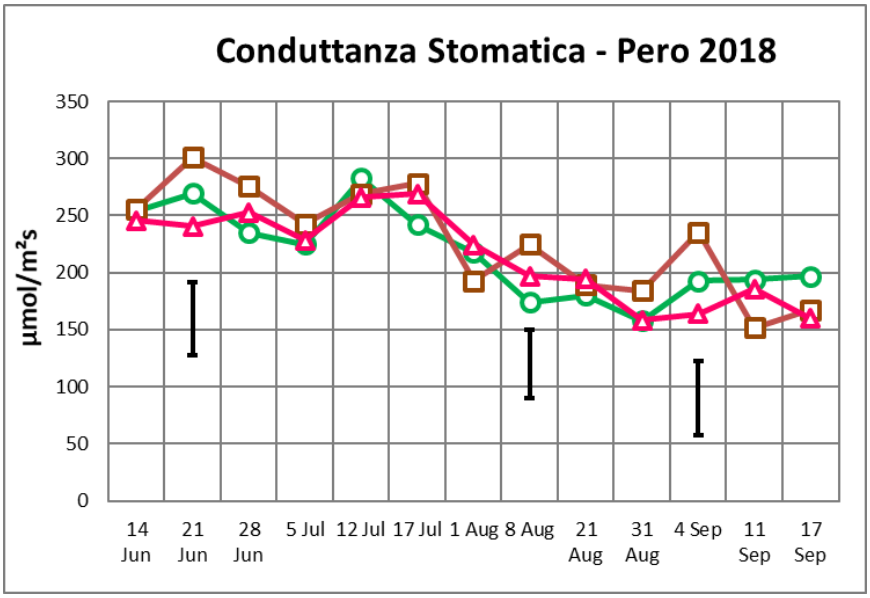


Figura 3.11: Andamento stagionale WUE-e vigneto Pero, 2017

Dalle misurazioni della WUE-e si evidenzia come i valori delle tesi si mantengano all'interno di un intervallo compreso tra 1,5 e 3,5 µmol/mmol, con solo in data 21/08 una misurazione al di sotto di 1,5 µmol/mmol per le tesi L e PT. Le cinque differenze statistiche significative ottenute indicano per tre volte (26/05, 20/06 3 21/08) la minore efficienza della tesi PT, che viene riscontrata un'ulteriore volta solo a livello numerico. In due casi (20/06 e 21/08) la tesi IT si è dimostrata quella con maggiore efficienza ed in un solo caso (26/05) la tesi L.

Come nei casi dell'anno precedente si riscontra un andamento in parte simile tra la traspirazione e la conduttanza stomatica.

Dalle misurazioni si evidenzia come i valori della traspirazione si mantengano tra le 7 e le 5 mmol/m^{2}s per circa due mesi tra giugno e agosto, per poi decrescere nell'ultima parte della stagione, mentre per la conduttanza, successivamente all'innalzarsi dei suoi valori, si ha una decrescita pressoché costante fino alla vendemmia. La conduttanza stomatica presenta delle differenze statistiche entro le tesi in data 21/06, 8/08 e 4/09 le quali indicano tutte la tesi L



come la tesi a maggiore conduttanza, cosa che si può anche vedere a livello puramente

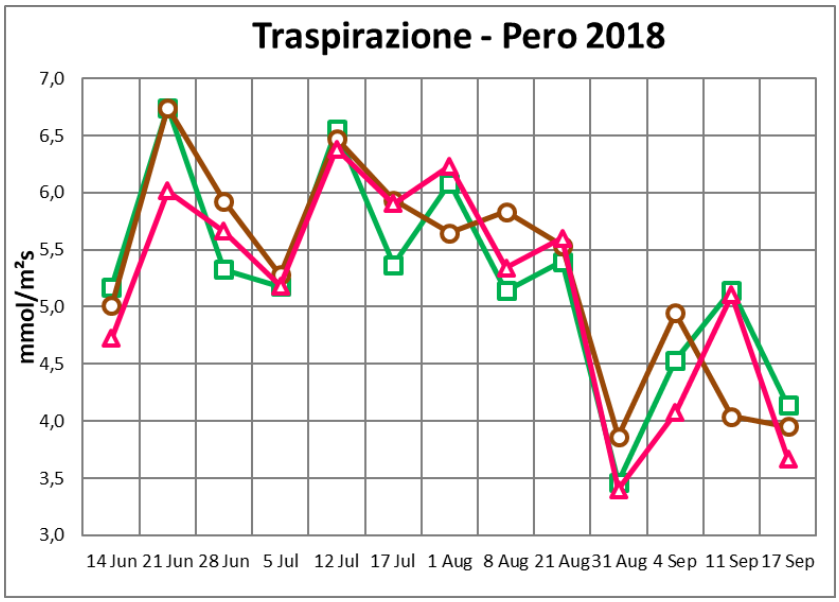


Figura 3.15: Andamento stagionale della Traspirazione vigneto Pero, 2018

Figura 3.14: Andamento stagionale della Conduttanza Stomatica vigneto Pero, 2018

numerico nella maggior parte delle date di analisi. Andamento che si riscontra anche nella traspirazione dove, anche se non si hanno differenze significative, la tesi L tende a registrare valori più alti.

L'andamento della fotosintesi risulta essere decrescente, come si è visto anche nel caso della conduttanza stomatica e della traspirazione, abbassandosi costantemente fino alla vendemmia. Nel caso della fotosintesi, si registrano due differenze statisticamente significative, la prima il 12/06 e la seconda il 11/09, per le quali si osserva nella tesi IT valori più elevati di fotosintesi rispetto alle altre due tesi, condizione che si riscontra in altre tre occasioni (1/08, 31/08 e 17/09); si rileva, dunque, un trend differente rispetto a ciò che si è osservato nella conduttanza stomatica. Le tesi L e PT tendono a registrare valori analoghi sebbene in due casi (17/07 e 8/08) L registri valori superiori a PT.

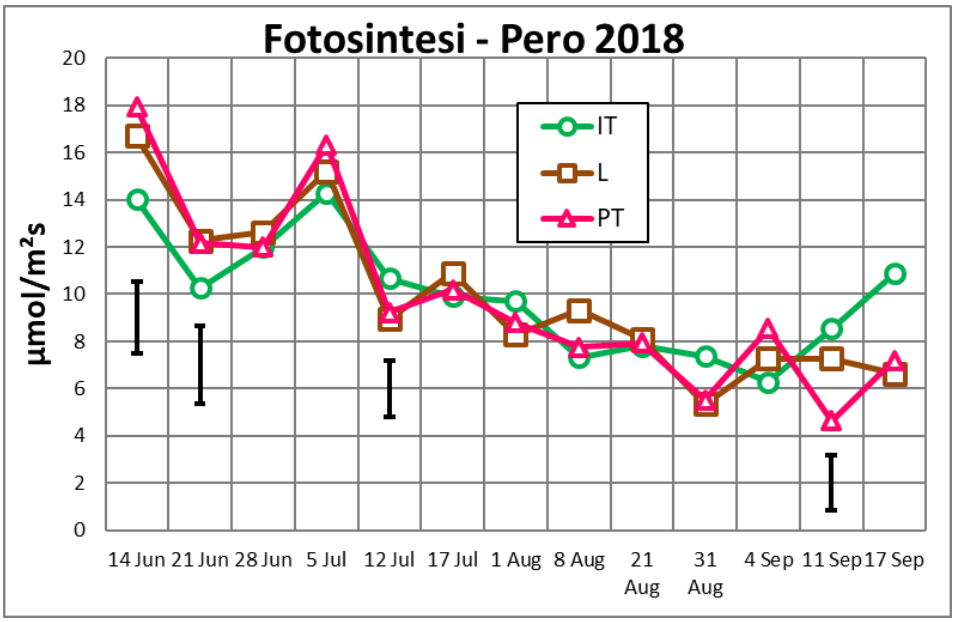


Figura 3.16: Andamento stagionale della Fotosintesi vigneto Pero, 2018

I valori di WUE-e che si registrano nelle misurazioni effettuate sono analoghi tra le tesi, con delle differenze evidenti solo nella ultima parte della stagione. I risultati sono tendenzialmente identici dal 12/07 al 31/08, infatti, dopo un andamento irregolare dei valori tra il 14/06 e il 5/07, i valori della WUE-e si mantengono entro un intervallo compreso tra 1,3 e 2.

Dai risultati non si rileva una tesi con maggiore o minore efficienza rispetto ad un'altra, in quanto tutte tendono a registrare valori simili; solo nelle ultime tre misurazioni i valori si discostano, in particolar modo per la tesi PT, la quale in data 4/09 registra un valore di 2 µmol/m^{2}s, mentre le altre due di 1,5 µmol/m^{2}s; nella rilevazione successiva avviene il contrario: L e IT misurano valori superiori rispetto a PT (circa 1,7 µmol/m^{2}s e 0,9 µmol/m^{2}s).

Alla vendemmia si evidenzia IT con valori maggiori rispetto a PT e L (rispettivamente 2,7 µmol/m^{2}s, 2 µmol/m^{2}s e1,6 µmol/m^{2}s)

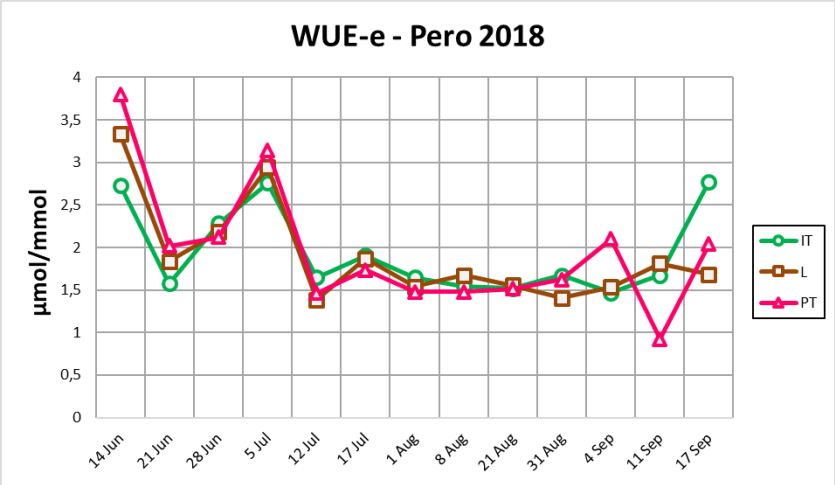


Figura 3.13: Andamento della WUE-e vigneto Pero, 2018

DISCUSSIONE

Come già affermato in precedenza, l'andamento simile dei grafici della conduttanza stomatica, della traspirazione e della fotosintesi che si riscontra in entrambi gli anni per ciascuna tesi di ogni vigneto, viene spiegato dalla natura di questi tre parametri i quali sono l'uno connesso all'altro: la conduttanza stomatica, cioè il tasso di apertura degli stomi, incide sulla quantità di vapore acqueo disperso dalla foglia e sulla quantità di anidride carbonica in entrata nella stessa, conseguentemente agisce su traspirazione e fotosintesi. Questi tre parametri sono necessari, assieme all'analisi del potenziale idrico, per capire lo stato idrico della pianta e se questa è o meno in condizioni di stress: infatti in condizioni di deficit idrico, come già accennato, una delle reazioni della pianta è quella di diminuire l'apertura stomatica fino alla completa chiusura alterando, però, di conseguenza i livelli di traspirazione e fotosintesi (Ball et al., 1987, Flexas et al., 2002a). I livelli al di sotto della soglia di stress (minori di 150 mmol/m^{2}s per la conduttanza stomatica), che si registrano per conduttanza stomatica, traspirazione e fotosintesi all'approssimarsi della vendemmia, possono essere esplicati dalla limitata disponibilità idrica in quel momento della stagione, che quindi agisce sulla minore o maggiore tendenza della pianta a traspirare; un'altra ragione è da ricercare nella senescenza delle foglie nelle quali, le elevate concentrazioni di acido abscissico (ormone stimolante la chiusura degli stomi), comportano la maggiore chiusura degli stomi; l'accumulazione dell'ormone ABA nelle foglie è altresì favorita dalle condizioni di stress idrico (Chaves et al., 2010; Lovisolo et al., 2010, Ferrandino et al., 2009).

Nella sperimentazione si riscontra che, durante le due stagioni considerate, l'elevata restrizione idrica e le temperature massime superiori alla media stagionale della zona hanno comportato la diminuzione della capacità fotosintetica e l'aumento della chiusura stomatica. In particolare, nell'annata 2017, sono stati raggiunti livelli elevati di stress idrico, cioè valori di conduttanza stomatica compresi in un intervallo tra 100 e 50 mmol/m^2s, mentre nel caso di Pero nell'anno 2018, data la stagione con un andamento climatico leggermente migliore rispetto al 2017, non si rilevano livelli di conduttanza stomatica al di sotto della soglia suddetta registrando sempre un moderato livello di stress (tra i 150-100 mmol/m^2s) (Cifre et al, 2005).

Nel caso di Bellaria si vede come i risultati, nella ultima parte della stagione, soprattutto per la fotosintesi, si assomiglino molto tra le tesi, sebbene si possa vedere una maggiore capacità fotosintetica nella tesi IT rispetto alla L nella prima parte della stagione; questo perché la tesi inerbita, come visto, ha livelli di conduttanza stomatica maggiori rispetto alla tesi lavorata-trinciata, comportando, per ciò che è stato precedentemente affermato, una maggiore fotosintesi netta, come si deduce dal Figura 3.3. Resta comunque il fatto che, tra le tesi, non si evidenziano differenze notevoli, ed è dunque probabile che l'applicazione dell'una o dell'altra gestione non comporti alcun effetto sulla fotosintesi.

Nelle tesi di Masseto si riscontrano, in quasi tutte le rilevazioni, livelli di fotosintesi, traspirazione e conduttanza maggiori per PT rispetto a L; questo può venir spiegato dal miglior andamento della tesi anche a livello di potenziale idrico: con maggiore disponibilità di acqua la pianta ha la possibilità di mantenere un'apertura stomatica più elevata, e quindi effettuare più fotosintesi. Dunque, sembrerebbe che l'impiego della pacciamatura permetta il mantenimento di un livello fotosintetico superiore rispetto alla lavorazione del terreno, conseguentemente, la tesi PT si rivela più efficiente rispetto a L.

Riguardo a Pero, nel 2017, le analisi non hanno permesso di identificare una tesi come più efficiente dal punto di vista fotosintetico e di scambi gassosi. I risultati della tesi PT evidenziano valori non coerenti tra gli scambi gassosi e il potenziale idrico: infatti si sono registrati, per più volte, livelli di minor conduttanza stomatica e fotosintesi correlati a valori alti di potenziale idrico. Questo contrasta con quanto affermato in precedenza, nel caso di Masseto, poiché una maggiore disponibilità idrica dovrebbe comportare una più elevata apertura stomatica.

I livelli di traspirazione più bassi tra le tesi si sono registrati per IT: ciò può essere giustificato dal fatto che la tesi, come mostrato dal potenziale idrico, avesse meno acqua a disposizione e, conseguentemente, tendesse a disperdere vapore acqueo in misura minore. I livelli di fotosintesi

registrati nel 2018, parimenti a quelli misurati l'anno precedente, non evidenziano risultati che permettano di indicare una tesi come più efficace. L'andamento altalenante che si riscontra nei valori della fotosintesi può essere giustificato in alcuni casi dal trend del potenziale idrico, ed in altri da un PAR (radiazione fotosinteticamente attiva) inferiore all'ottimale (2000 μmol/m^2s).

Nell'analisi della WUE-e si riscontra un aumento dei valori al diminuire della traspirazione, cioè all'aumentare dello stress idrico; ciò è dovuto ad una reazione fisiologica: il rapporto tra traspirazione e fotosintesi è curvilineo e questo comporta che, quando gli stomi si chiudono, la fotosintesi viene inibita proporzionalmente meno rispetto alla traspirazione; ciò significa che una pianta continua a produrre sostanza secca con un proporzionale minor consumo di acqua, cioè si riscontrano valori alti di WUE a livelli moderati di stress; a livelli di stress più intensi la chiusura degli stomi è tale da impedire la fotosintesi e, conseguentemente, anche WUE diminuisce (Alpi et al., 2000).

Nell'analisi di WUE nel vigneto Bellaria le differenze riscontrate tra le tesi evidenziano come L si dimostri più efficiente rispetto a IT, ciò è comprovato, per le ragioni esplicate in precedenza, dall'andamento della conduttanza stomatica delle due tesi: infatti si può vedere come la tesi L sia quella che, nelle date dove registra una maggiore WUE rispetto a IT, abbia anche una minore conduttanza stomatica.

I picchi che si riscontrano a Masseto per l'analisi della WUE fanno scostare la tesi GA dalla tesi PT indicando una maggiore efficienza nell'uso dell'acqua nella prima: ciò potrebbe essere giustificato dal fatto che, per questa tesi, sono stati registrati valori di conduttanza stomatica, traspirazione e fotosintesi più contenuti rispetto alla tesi PT, con una conseguente minor dispersione di acqua ed una maggiore efficienza nell'uso della stessa. L'applicazione di tale ragionamento può venir fatta anche nel caso di Pero (2017) dove, per livelli più alti di WUE di una tesi, si vedono corrispettivi livelli minori di traspirazione o conduttanza; nelle ultime analisi della stagione, soprattutto in quella del 21/08, a livelli di chiusura stomatica elevati (< 70 mmol/m^2s) si vedono valori di WUE molto più bassi, e ciò trova giustificazione nella teoria sovraesposta. Pero, nel 2018, registra per WUE-e valori simili tra le tesi in quanto, come esposto in precedenza, non si hanno differenze significative nei dati relativi alla fotosintesi, alla traspirazione e alla conduttanza.

In conclusione, valutando complessivamente i risultati ottenuti dai vari vigneti nell'arco del biennio, le tesi applicate non hanno evidenziato livelli di efficienza fotosintetica o di uso dell'acqua significativamente migliori l'una rispetto all'altra, non consentendo quindi di individuare, in maniera univoca, una delle tesi come la più efficace.

RELAZIONI ENTRO SCAMBI GASSOSI E STRESS IDRICO

La sperimentazione su viti in vaso sottoposte a diversi regimi di irrigazione effettuata presso INIA Las Brujas, ha avuto come obbiettivo l'ottenimento di piante in condizioni di restrizione idrica in un range compreso tra assenza di restrizione (potenziale idrico > -10 Bar) e restrizione elevata (potenziale idrico < -10 Bar) al fine di valutare la risposta delle diverse cultivar allo stress idrico. A questo scopo sono stati analizzati i livelli di conduttanza stomatica e fotosintesi. Le rilevazioni effettuate hanno permesso di creare una relazione tra i diversi gradi di potenziale idrico e i corrispettivi livelli di scambi gassosi per ciascuna delle cultivar considerate.

La relazione tra il potenziale idrico e i corrispettivi livelli di conduttanza stomatica è stata riportata nella figura 4.1. Al fine di evitare il possibile effetto delle diverse condizioni climatiche (umidità relativa, pressione di vapore, temperatura) dei vari giorni delle rilevazioni, la conduttanza stomatica è stata espressa in valori percentuali relativi: i dati riportati sul figura sono stati quindi ottenuti dividendo ciascuno dei valori di conduttanza registrati durante un giorno di rilevazione per la media dei valori massimi di conduttanza di ciascuna delle due cultivar (Cabernet Sauvignon e Merlot) registrati il medesimo giorno, riportati poi in percentuale, cioè:

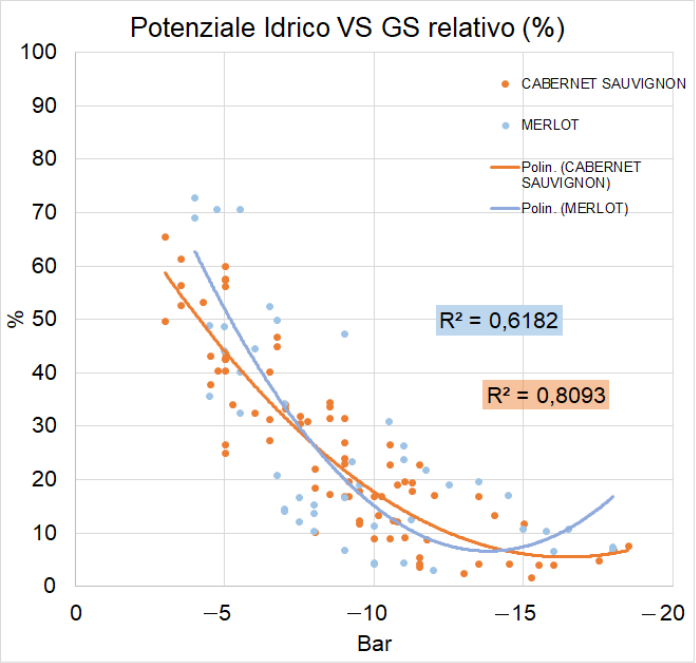
$$[gs_n/(maxCS+maxM)/3]*100$$

È stata successivamente effettuata l'analisi della regressione tra i valori relativi percentuali di conduttanza stomatica e i corrispettivi valori di potenziale idrico delle cultivar Cabernet Sauvignon e Merlot, la quale ha portato a l'ottenimento di un modello non lineare per la descrizione della relazione tra le due variabili e di valori di R^2 significativi; i valori relativi percentuali di conduttanza stomatica e i valori di potenziale sono stati poi posti in relazione in un figura a dispersione, nel quale sono state inserite le linee di regressione.

Dalla figura si deduce come, per entrambe le cultivar, al diminuire del potenziale idrico, diminuisca la percentuale di apertura stomatica, tale correlazione tra percentuale di apertura stomatica e potenziale idrico è ben spiegata dal coefficiente di determinazione, più elevato nel caso del Cabernet Sauvignon (R^2= 0,8093) e minore nel Merlot (R^2=0,6182). Si evidenzia, in

particolare, che a valori di potenziale di circa -7,5 Bar si incominciano a registrare livelli di conduttanza stomatica in un intervallo di valori minori al 30%, mentre a livelli di stress idrico severo (-14 Bar), si misurano livelli di conduttanza inferiori del 10%.

Figura 4.1: Relazione tra Potenziale idrico e conduttanza stomatica per i vitigni Cabernet Sauvignon e Merlot



Tra le due cultivar non si evidenziano differenze elevate nella relazione tra conduttanza stomatica relativa e potenziale idrico, sebbene si possa evidenziare un comportamento più erratico (maggiore dispersione dei punti nella figura) ed un minore coefficiente di correlazione nel caso del Merlot; ciò indica come per il vitigno Merlot il potenziale idrico influenzi, in maniera relativamente ridotta, il comportamento stomatico della pianta. Il Cabernet Sauvignon, al contrario, registra valori più concentrati attorno alla linea di tendenza, ciò, congiuntamente ad un R^2 maggiore rispetto al Merlot, indica una migliore correlazione tra apertura stomatica e potenziale idrico.

Nella figura 4.2 sono stati messi in relazione i valori della fotosintesi (µmol/m^{2}s) e i rispettivi valori di conduttanza stomatica (mmol/m^{2}s), così da evidenziare la risposta fotosintetica delle due cultivar alla chiusura stomatica. A tal fine è stata effettuata un'analisi della regressione tra i valori delle due variabili, ottenendo valori di R^2 elevati e due modelli di regressione differenti, cioè lineare per il Cabernet Sauvignon e non lineare per il Merlot.

L'andamento della figura e i valori dei coefficienti di determinazione (R^2=0,9393 per Cabernet Sauvignon e R^2=0,9314 per Merlot), indicano una correlazione tra i due parametri elevata, conseguentemente all'aumentare della conduttanza stomatica, aumenta la fotosintesi.

Nel confronto tra fotosintesi netta e conduttanza stomatica per la le cultivar Merlot e Cabernet Sauvignon, si può rilevare come per quest'ultima cultivar la relazione sia ben definita da una correlazione lineare mentre, per il Merlot, si ha una correlazione polinomiale di secondo grado, cioè, rispetto al Cabernet Sauvignon, la fotosintesi varia in maniera meno proporzionale al variare dell'apertura stomatica.

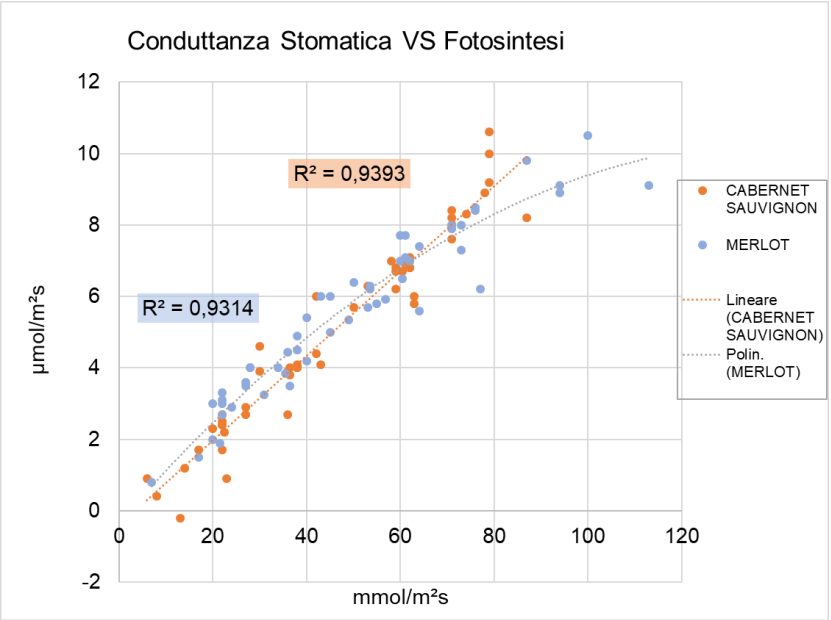


Figura 4.2: Relazione tra Fotosintesi e conduttanza stomatica nelle cultivar Cabernet Sauvignon e Merlot

Dalla figura si evidenzia come al diminuire della conduttanza stomatica, diminuisca la fotosintesi; inoltre, a livelli estremamente bassi di apertura stomatica (20 mmol<gs<40 mmol), e conseguentemente in condizioni di stress idrico elevato, la fotosintesi presenta, in entrambe le cultivar, livelli comunque efficaci, solo a valori minori di 20 mmol/m^2s si evidenzia una fotosintesi quasi assente.

A livelli di apertura stomatica minori di 80 mmol/m^2s, non si riscontrano differenze tra le cultivar, le quali registrano valori simili, al contrario al di sopra di questo valore si riscontra un andamento differente tra le cultivar, infatti, il Merlot, rispetto al Cabernet Sauvignon, a livelli di fotosintesi tra le 8 e le 10 µmol/m^2s fa corrispondere una maggiore apertura stomatica (120 mmol/m^2s a fronte delle 80 mmol/m^2s del Cabernet); questo conferma la minore proporzionalità tra conduttanza stomatica e fotosintesi che si riscontra in questa cultivar.

DISCUSSIONE

La relazione tra la conduttanza stomatica relativa ed il potenziale idrico mostra come le due cultivar si comportino in modo differente in caso di stress idrico. Dal valore del coefficiente di correlazione e dalla minore dispersione dei punti dalla retta si osserva come la cultivar Cabernet Sauvingon, in condizioni di stress idrico, tenda ad attuare un miglior controllo dell'apertura stomatica; mentre, per il Merlot, il più basso coefficiente di correlazione indica come, probabilmente, il comportamento stomatico è meno influenzato dalle condizioni idriche della pianta.

Tale andamento si può riscontrare anche nella sperimentazione svolta presso Ornellaia: nello specifico i vigneti Pero (Cabernet Sauvignon) e Bellaria (Merlot) che hanno registrato, a prescindere dalle tesi, valori simili di potenziale, mostrano invece livelli di apertura stomatica differenti: in generale il vigneto Bellaria ha registrato valori di conduttanza stomatica maggiori rispetto a Pero; ad esempio, nel caso del minore livello di potenziale registrato per Pero (-16 bar) si ha un'apertura stomatica corrispondente di 71,8 mmol/m^{2}s, mentre nel caso di Bellaria, dove il potenziale più negativo registrato è stato di -17 bar, si evidenzia un'apertura stomatica di 105 mmol/m^{2}s, più alta del vigneto precedente, nonostante il potenziale leggermente più negativo.

Da quanto riportato si può dunque suppore che la cultivar Cabernet Sauvignon, in condizioni di stress idrico, sia più capace di regolare i flussi gassosi e quindi di controllare con maggiore efficacia il proprio contenuto di acqua rispetto alla cultivar Merlot.

Nello studio della relazione tra fotosintesi e conduttanza stomatica si evidenzia come le due cultivar, Cabernet Sauvignon e Merlot, per livelli simili di fotosintesi, ma superiori alle 8 μmol/m^{2}s, facciano registrare livelli di conduttanza stomatica differenti: questa differenza indica la cultivar Merlot come quella con valori più elevati di conduttanza. Quindi a parità di fotosintesi il Merlot, tenendo gli stomi più aperti, disperde, rispetto al Cabernet Sauvignon, una maggiore quantità d'acqua. Tale comportamento è stato evidenziato anche nel caso dei vigneti Bellaria e Pero nella sperimentazione svolta a Ornellaia.

Le differenze di fotosintesi e conduttanza stomatica che si riscontrano nei vigneti Pero e Bellaria possono essere dunque dovute ad una componente genetica, che potrebbe agire sulla capacità di regolazione dell'apertura degli stomi. Tale componente genetica giustificherebbe inoltre il comportamento del Cabernet Sauvignon, che risulta essere quello con la maggiore capacità di adattarsi alle diverse condizioni di stress idrico, essendo in grado di controllare più

efficacemente l'apertura stomatica e conseguentemente le perdite di acqua dovute alla traspirazione, mentre il vitigno Merlot, con una minore regolazione stomatica, tende a consumare più acqua.

PESI DELLA BACCA

L'evoluzione dei pesi della bacca è stata riportati in grafici a linee, mentre i valori alla vendemmia sono stati riportati, per favorirne il confronto, in grafici a istogramma.

ANNATA 2017

Le analisi effettuate nel 2017 hanno dato risultati differenti tra i vari vigneti: per Bellaria è stato registrato un iniziale innalzamento del peso della bacca seguito, con l'approssimarsi della vendemmia, da una diminuzione notevole dei pesi nella tesi IT; per la tesi L si registra ugualmente una riduzione del peso, sebbene in questo caso sia meno notevole. Sebbene non

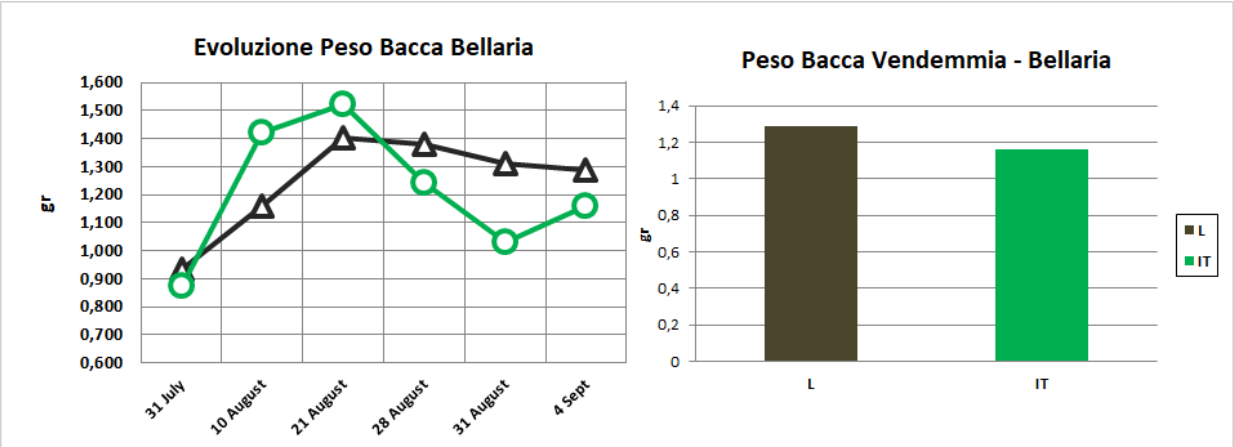


Figura 5.1: Evoluzione dei pesi delle bacche nelle due tesi e pesi alla vendemmia del vigneto Bellaria, 2017

siano state ottenute delle evidenti differenze statistiche dalle analisi del software, si nota la tendenza della tesi L a registrare pesi maggiori rispetto a IT; anche alla vendemmia non si registrano differenze, in quanto sono stati misurati valori di L (1,28 gr) solo leggermente superiore rispetto a IT (1,15 gr).

Nel caso di Masseto, al contrario del vigneto precedente, si vede nella figura (4.2) come il peso della bacca sia crescente dall'invaiatura alla vendemmia; si riscontra, inoltre, la tendenza della tesi PT a registrare pesi maggiori rispetto alla tesi L. Sia nel vigneto Bellaria che nel vigneto Masseto, il primo campionamento, in data 31/07, ha dato risultati analoghi tra le due tesi, con uno scarto di pochi decimali (0,81 per GA e 0,92 per PT).

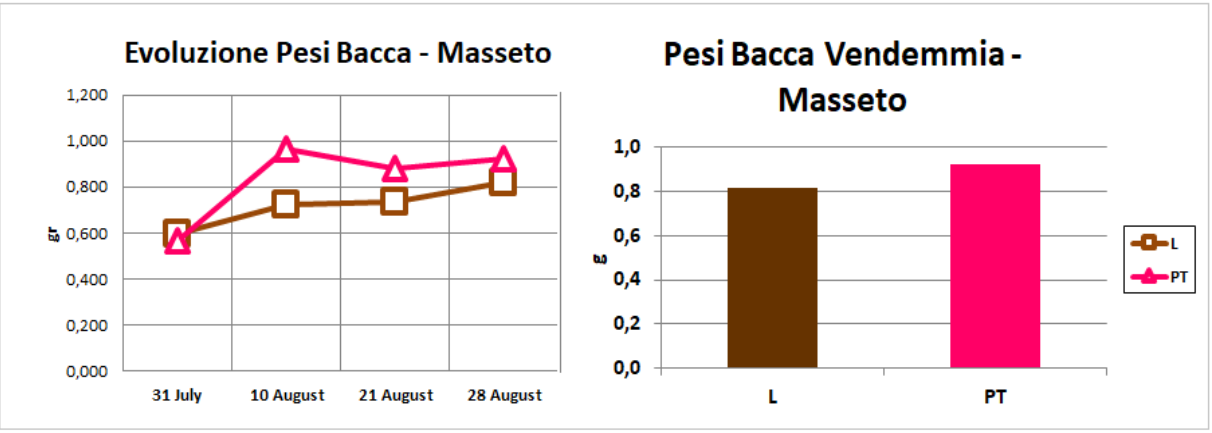


Figura 5.2: Evoluzione dei pesi delle bacche nelle due tesi e pesi alla vendemmia del vigneto Masseto, 2017

Per il vigneto Pero, a differenza di quanto registrato negli altri due vigneti, si nota un andamento oscillante tra i pesi delle bacche delle varie tesi, sebbene i valori dei pesi, per ciascuna tesi, non varino in modo evidente dall'invaiatura alla vendemmia, come si evidenzia soprattutto nel caso della tesi L la quale ha registrato valori compresi tra 0,7 e 0,9 grammi. Per la tesi PT si registra con un solo abbassamento di peso piuttosto evidente in data 31/08, passando da un peso di 0,7 gr grammi a 0,5 gr. Le analisi effettuate hanno indicato per le tesi IT e L pesi delle bacche più alti rispetto alla tesi PT: tale differenza tra le tesi si è verificata in

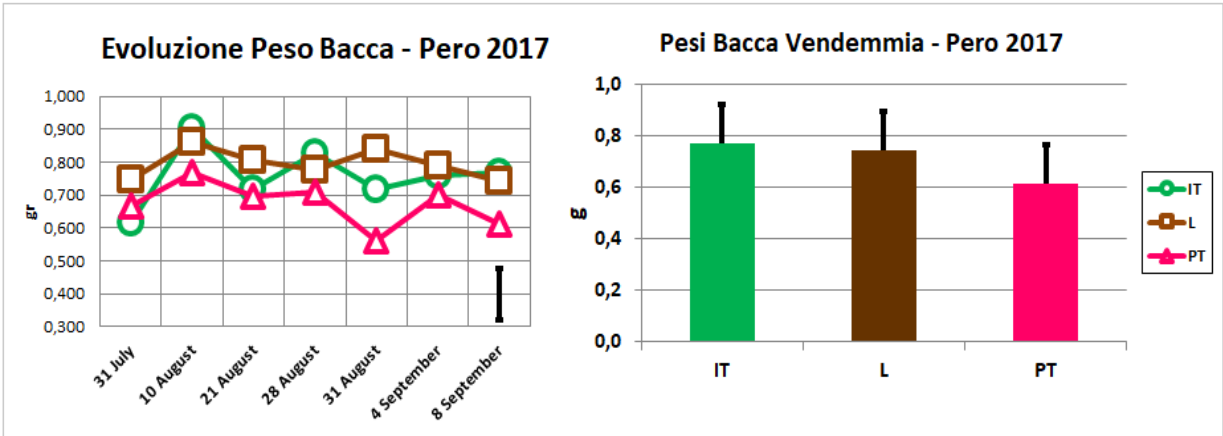


Figura 5.3: Evoluzione dei pesi delle bacche nelle due tesi e pesi alla vendemmia del vigneto Pero, 2017

diversi campionamenti, ed è evidente alla vendemmia dove si registrano per IT e L pesi

analoghi (0,77 e 0,74 grammi), mentre per PT si riscontrano pesi inferiori alle altre due tesi (0,66 grammi).

ANNATA 2018

I risultati ottenuti hanno mostrato un andamento simile tra le tesi PT e IT; dalla figura 5.4 si evidenzia in un primo momento valori crescenti del peso della bacca per ogni tesi, successivamente, dal 17/09 si osserva, per ogni tesi, la diminuzione di peso della bacca. Nella tesi L, in particolare, dopo il 31/08 si ha un innalzamento del peso della bacca (1,6 gr circa), seguito da un notevole calo che riporta i pesi a valori più simili alle altre tesi (1,3 gr).

Si evidenzia, per la prima metà dei campionamenti, la tesi IT come quella in cui si registrano pesi inferiori alle altre, mentre, avvicinandosi alla vendemmia, si riscontrano per L e PT pesi minori rispetto a IT. Alla vendemmia si registrano pesi analoghi tra le tesi L e IT (1,40 e 1,46 gr), mentre la tesi PT registra valori molto più bassi (1,25 gr).

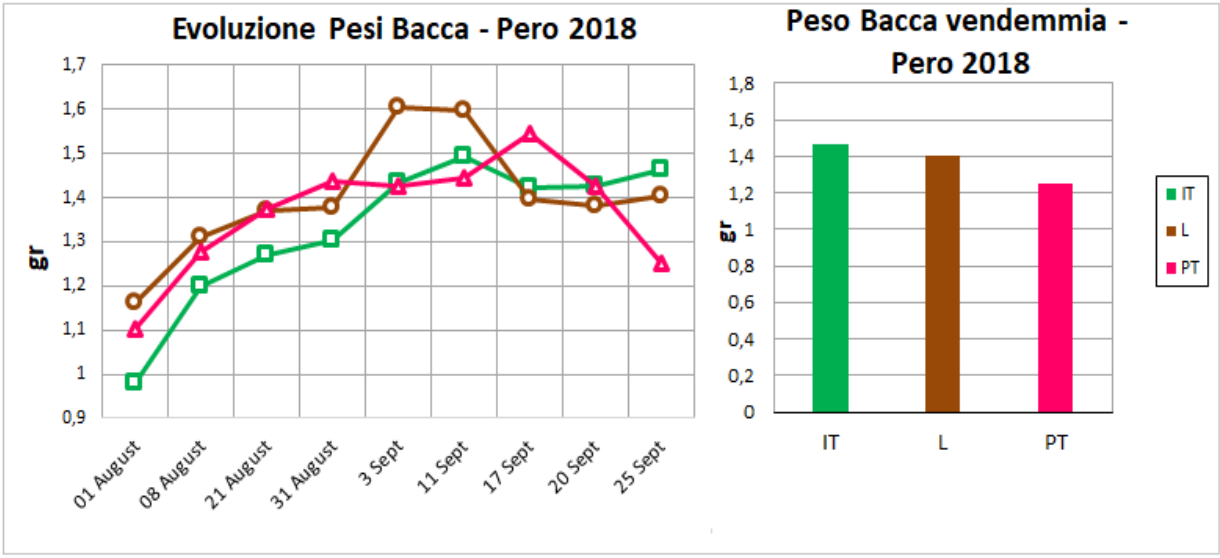


Figura 5.4: Evoluzione dei pesi delle bacche nelle due tesi e pesi alla vendemmia del vigneto Pero, 2018

DISCUSSIONE

Per la valutazione dell'evoluzione dei pesi della bacca i campionamenti sono iniziati dopo l'invaiatura, cioè al principio della terza fase di accrescimento (definita come fase di maturazione vera e propria); in questo momento nel frutto l'accumulo di sostanze nutritive e di acqua attratta per osmosi portano ad una distensione delle cellule della bacca e ad un aumento di peso (Fregoni, 2005). Dalle analisi, però, si vede come, per ciascuna delle tesi in ciascun vigneto, dopo un iniziale accrescimento, l'andamento del peso si mantiene per lo più costante

in un intervallo valori o addirittura decresce, seguendo, dunque, un andamento contrario a quello teorico.

Ciò può essere dovuto all'andamento stagionale e alle condizioni di stress idrico evidenziate in precedenza: infatti, con l'avanzare della stagione, dopo l'invaiatura, le risorse nutritive vengono passate dalla pianta agli acini attraverso il solo floema e conseguentemente si ha una minore capacità di reintegrare rapidamente le perdite d'acqua dei frutti, rendendo più suscettibili gli acini alle temperature elevate, le quali comportano altresì una maggiore evaporazione dell'acqua dal frutto, portando a fenomeni di disidratazione tra i quali la perdita di peso (Greespan, 1992; Palliotti et al., 2015). Come abbiamo visto dalle analisi del potenziale idrico, con il progredire della stagione, l'acqua a disposizione per la pianta è andata a diminuire e, conseguentemente, la disponibilità della stessa per i frutti è risultata limitata, cosa che, coadiuvata dalle elevate temperature tra l'invaiatura e la vendemmia, per i meccanismi suddetti, ha comportato una diminuzione del peso della bacca.

Per il vigneto Bellaria si vede sostanzialmente che entrambe le tesi presentano un andamento dapprima crescente del peso, dovuto all'aumento di soluti, e successivamente decrescente, dovuto alla disidratazione dei frutti, come si evince soprattutto dall'andamento della tesi L la quale presenta una diminuzione del peso, limitata ma costante, da circa un mese dall'invaiatura in poi, andamento che, in maniera più irregolare, presenta anche la tesi IT.

Nel vigneto Masseto l'evoluzione dei pesi nelle due tesi concorda con l'andamento che il potenziale idrico ha tenuto durante la stagione: nel caso della tesi PT, con potenziale idrico meno negativo, le bacche hanno dato pesi superiori a quelli della tesi L che ha registrato valori di potenziale più negativi.

Nell'evoluzione dei pesi di produzione per il vigneto Pero (2017) si vede come i pesi della tesi IT e della tesi L siano simili, mentre la tesi PT registra valori più bassi nonostante presenti un potenziale idrico maggiore; ciò potrebbe essere spiegato da una lieve flessione della fotosintesi che potrebbe aver causato un minor accumulo di soluti e quindi di peso. Nel 2018 l'andamento dei pesi, dapprima crescente e successivamente decrescente, può venir spiegato dall'abbassamento del potenziale idrico e dalla minore capacità fotosintetica che si riscontrano all'avvicinarsi della vendemmia.

Tra i due anni si vede, inoltre, una differenza di peso alla vendemmia: mentre nel 2017 sono strati registrati pesi tra 0,6 e 0,7 grammi, nel 2018 sono stati raggiunti 1,4 grammi; questo potrebbe essere dipeso dai diversi andamenti climatici delle due annate (temperature meno

elevate nel 2018 e piogge in quantità maggiori rispetto al 2017), che hanno comportato, nel 2018, livelli di potenziale meno negativi rispetto al 2017, con conseguente maggiore disponibilità di acqua per i frutti. Altresì le temperature più miti registrate nel 2018 possono aver limitato la disidratazione delle bacche.

ANALISI MATURAZIONE TECNOLOGICA

L'andamento dei parametri della maturazione tecnologica (°Brix, pH ed acidità) sono stati riportati in grafici a linee, mentre i valori alla vendemmia sono stati riportati, per favorirne il confronto, in grafici a istogramma.

ANNATA 2017

Bellaria

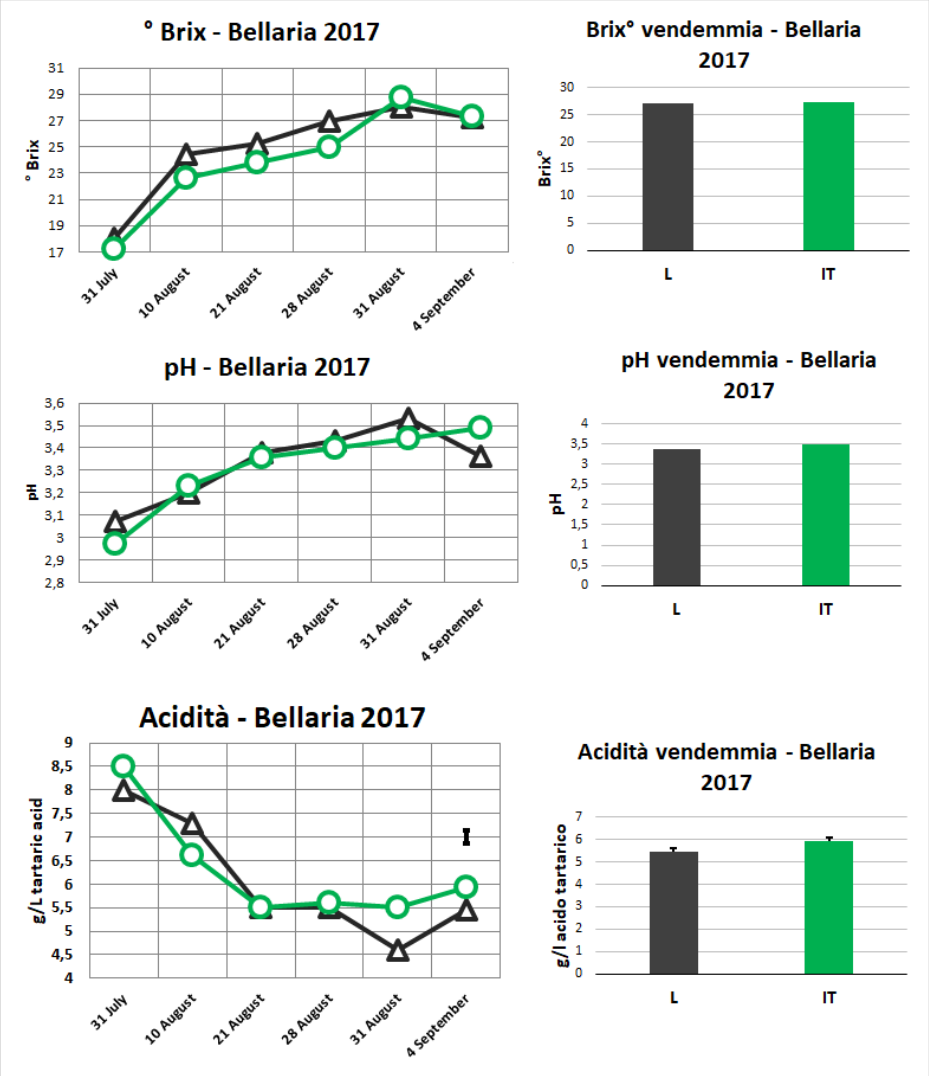


Figura 6.1: Evoluzione e vendemmia dei parametri della Maturazione Tecnologica vigneto Bellaria, 2017

Nel vigneto Bellaria, per tutti e tre i parametri, le tesi registrano valori analoghi in quasi tutti i campionamenti sebbene si evidenzino, per le analisi del grado Brix e del pH, valori della tesi IT inferiori rispetto a quelli della tesi L; tali differenze non sono però rilevanti in quanto si registrano scarti di pochi decimali. Alla vendemmia, come evidenziato dagli istogrammi, i gradi Brix nelle due tesi risultano identici (27,2 per L e 27,3 per IT) e si ha uno scarto di pochi decimali nel pH (3,36 per L e 3,49 per IT), per il quale si vede la tesi IT con valori leggermente superiori rispetto a L.

Nell'analisi dell'acidità, come nel caso dei due parametri precedenti, le due tesi non si discostano molto l'una dall'altra sebbene nel campionamento precedente alla vendemmia (31/08) si registrino valori dell'acidità di IT superiori a L. Alla vendemmia si registra una differenza statisticamente significativa: tale differenza mostra, come nel campionamento precedente, per la tesi IT un livello di acidità superiore rispetto alla tesi L (5,9 e 5,4 g/l rispettivamente).

Masseto

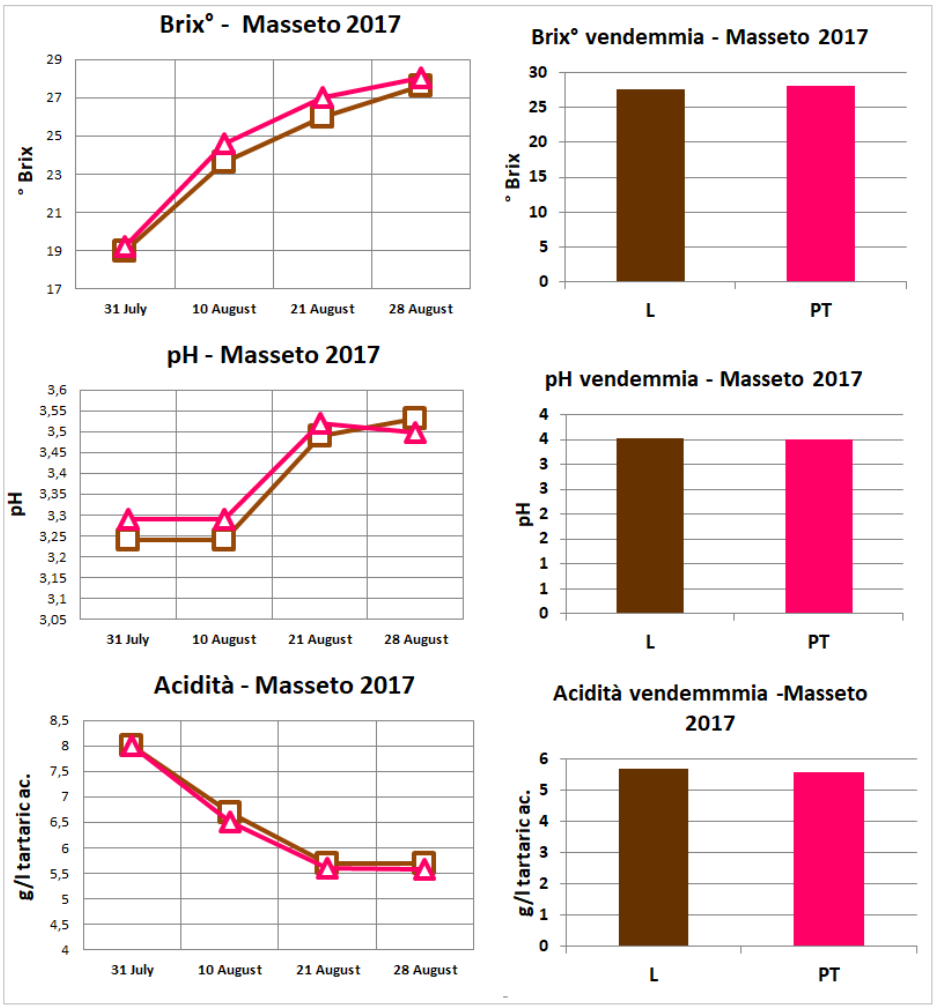


Figura 6.2: Evoluzione e vendemmia dei parametri della Maturazione Tecnologica vigneto Masseto, 2017

Nei quattro campionamenti svolti a Masseto si riscontra un'estrema omogeneità, con valori tra le tesi quasi identici tra loro che si diversificano solo di pochi decimali. L'andamento delle analisi del grado Brix presenta una crescita regolare per ciascuno dei campionamenti, registrando alla vendemmia 27,6° per la tesi PT e 28° per la tesi L. Il pH presenta valori molto simili tra le tesi con i livelli di L solo minimamente più alti di PT; inoltre dalla figura (6.2) si può notare come i valori subiscano un aumento piuttosto elevato tra il 10 e il 21 agosto; alla vendemmia si ha uno scarto di pochi decimali tra PT (3,53) e L (3,49), differenze prive di un valore statistico. L'acidità ha un andamento regolare decrescente con i valori tra PT e L coincidenti tra loro, dove la tesi L misura livelli inferiori rispetto a PT solo di pochissimi decimali, cosa che si registra anche alla vendemmia.

Pero

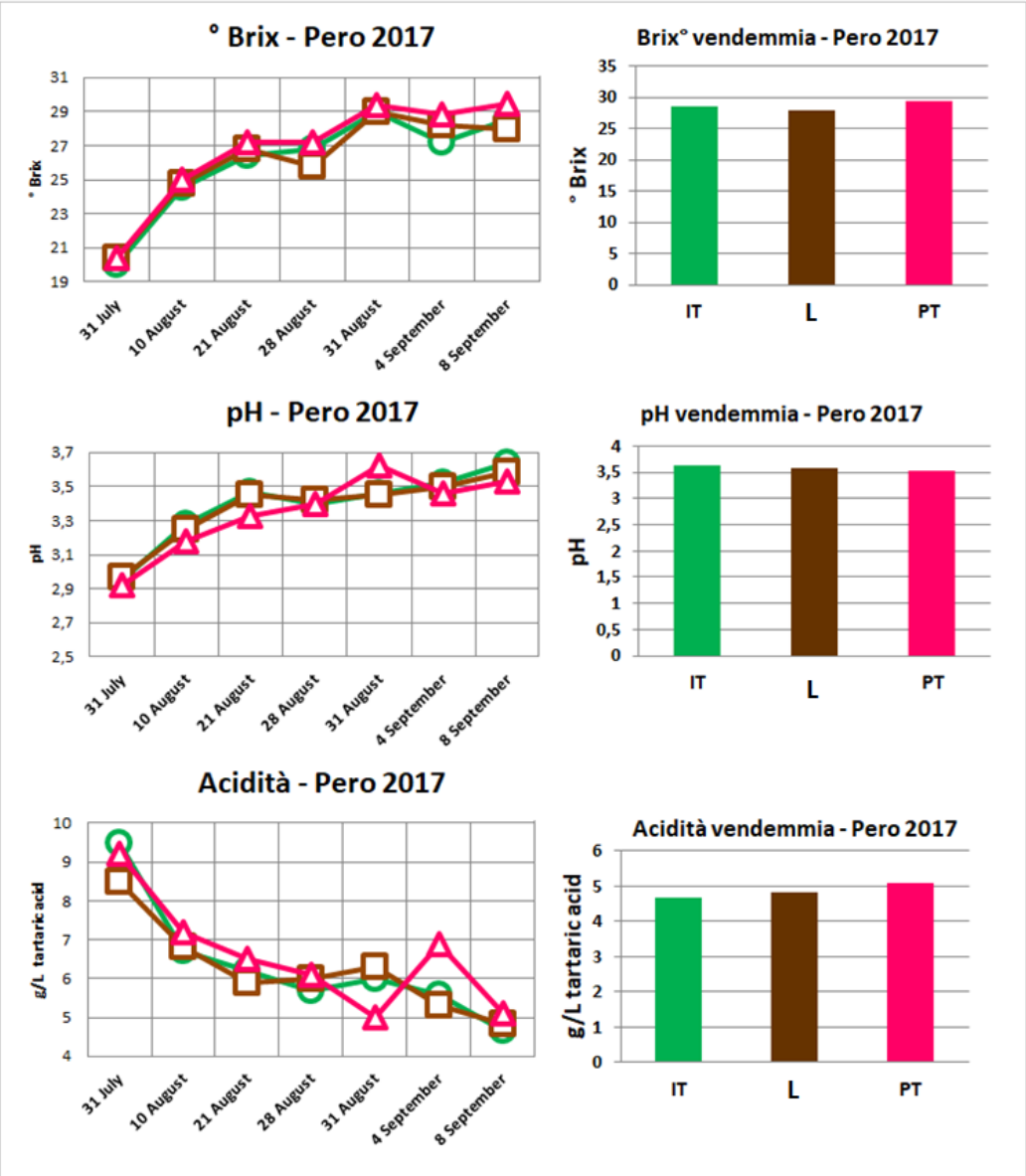


Figura 6.3: Evoluzione e vendemmia dei parametri della Maturazione Tecnologica vigneto Pero, 2017

I sette campionamenti effettuati a Pero hanno portato a valori di grado Brix, pH e acidità simili tra le tesi; nel caso del grado zuccherino si ha un andamento crescente dall'inizio dei campionamenti alla vendemmia (8/09) con un leggero abbassamento dei valori in data 28/08 e 4/09. Solo per L si riscontrano dati leggermente più alti rispetto alle altre tesi in tutti i campionamenti effettuati ed in particolare alla vendemmia, con valori di grado Brix pari a 28,53° per IT, 27,93° per PT e 29,46° per L, differenze che però non sono statisticamente significative. L'evoluzione del pH è ugualmente regolare e crescente come nel caso dei grad Brix, con differenze assenti tra le tesi: la tesi L registra in tutti i campionamenti valori di pH inferiori di pochi decimali rispetto alla altre; alla vendemmia si evidenziano valori identici tra le tre tesi. I livelli di acidità presentano un andamento regolare e decrescente con una leggera oscillazione dei valori per la tesi L tra il 31/08 e il 4/09, per la quale si evidenziano valori prima minori e poi maggiori, che si discostano dalle altre due tesi. Alla vendemmia non si riscontrano differenze statistiche tra le tre tesi, sebbene si abbiano valori di PT di poco superiori a quelli delle altre due tesi.

ANNATA 2018

Dalla figura 6.4, si evidenzia, per i gradi Brix, un andamento crescente tra i campionamenti con la tesi IT che inizialmente fa registrare valori minori rispetto alle altre tesi, per poi livellarsi con le altre. Alla vendemmia si riscontra che la tesi PT presenta, seppur in modo contenuto, un grado zuccherino maggiore rispetto alle altre due (25,5° per PT, 24,2° per IT e 24,6° per L).

Nell'analisi dell'acidità si riscontrano limitate differenze numeriche per alcuni campionamenti, la maggior parte delle quali indicano la tesi PT come quella con minore acidità, fatto, questo, che si riscontra anche alla vendemmia dove, sebbene di pochi decimali, la tesi PT registra livelli di acidità (4,27 g/l) inferiori rispetto alla tesi L (4,52 g/l) e IT (4,54 g/l).

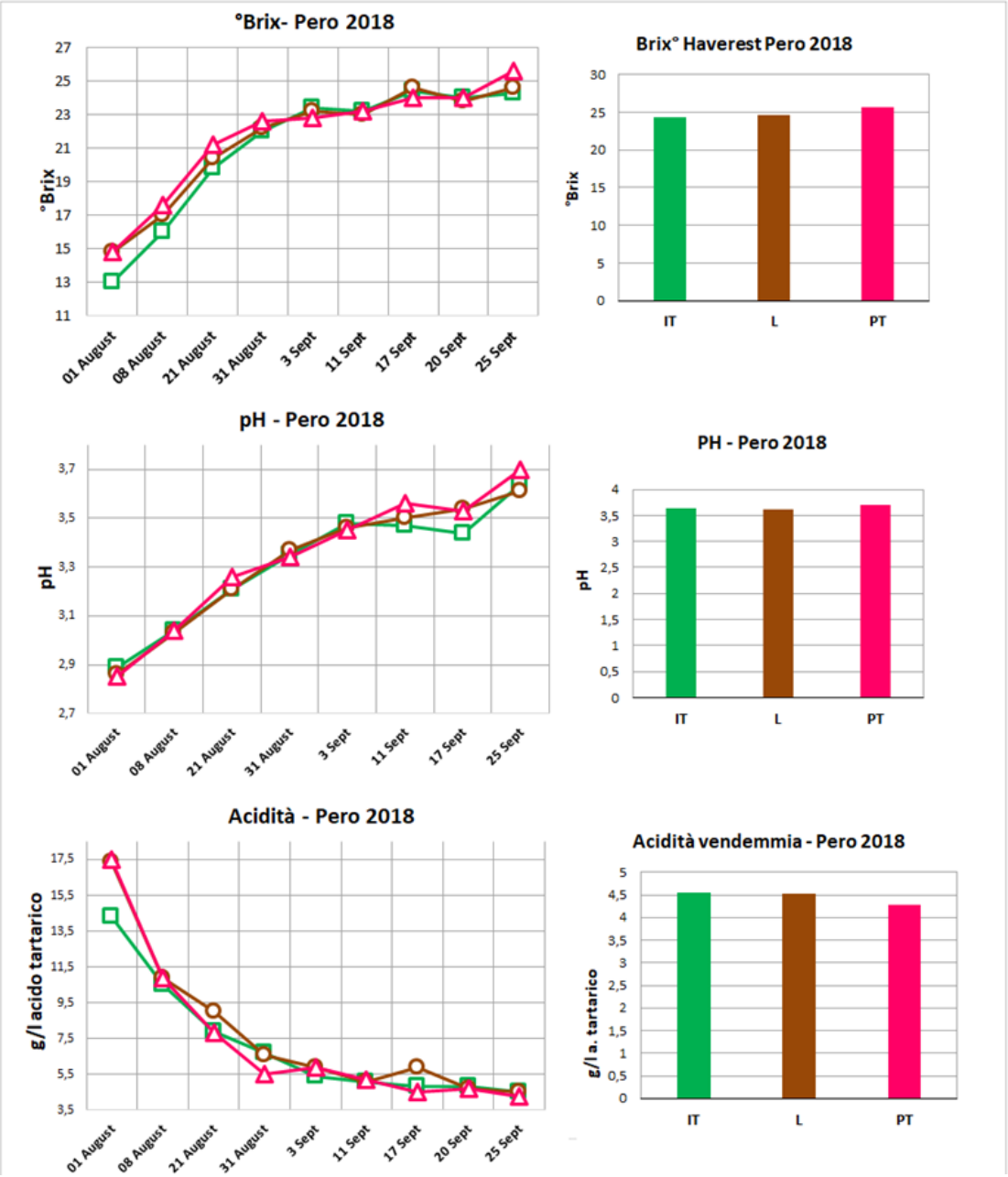


Figura 6.4: Evoluzione e vendemmia dei parametri della Maturazione Tecnologica vigneto Pero, 2018

DISCUSSIONE

Il decorso stagionale, l'andamento meteorologico ed il livello di stress idrico, hanno agito sulla maturazione tecnologica in maniera evidente per ciascuna tesi di ogni vigneto ed in entrambe le annate. La principale evidenza di ciò è il momento della vendemmia: ponendo a confronto le date della vendemmia dell'annata 2017 con quella dell'annata 2018, si riscontra un evidente discordanza tra le date in cui è stata effettuata la raccolta, infatti nell'annata 2017, annata caratterizzata da temperature massime sopra la media stagionale e dall'assenza di precipitazioni, per i vigneti Bellaria e Pero le vendemmie si sono svolte nella prima decade di settembre e per Masseto nell'ultima di agosto; nel 2018, sebbene l'anno sia stato

eccezionalmente caldo, le maggiori piogge e le temperature più miti in prossimità della vendemmia hanno ritardato quest'ultima di circa venti giorni rispetto all'anno prima. L'anticipo riscontrato nel 2017 può essere ricondotto allo stress idrico, infatti, come evidenziato anche nei dati meteorologici (capitolo 3.1), con elevati livelli di stress si ha un anticipo delle fasi fenologiche, e conseguentemente della maturazione tecnologica. I livelli elevati di stress idrico portano ad una reazione metabolica della vite, che, in condizioni di siccità, aumenta la produzione di acido abscissico nelle radici, il quale, impedendo la ritraslocazione degli zuccheri dalla bacca ad altri organi della pianta, favorisce la maturazione tecnologica (Alleweldt et al., 1975) (così come parrebbe avere effetti positivi sulla glucogenesi; Palejwala et al., 1985); inoltre, come visto nell'analisi dei pesi, la diminuzione del contenuto di acqua all'interno del frutto può aver portato ad un aumento della concentrazione dei soluti all'interno dello stesso, comportando un aumento fittizio del contenuto zuccherino. Si ha altresì, a causa degli elevati stress idrici, una velocizzazione nella degradazione dell'acido malico (Conde et al., 2007) ed il rapido raggiungimento di livelli di acidità ottimale, la quale non dovrebbe mai andare al di sotto dei 5-5,5 g/l di acido tartarico. L'abbassarsi dei livelli di acidità porta ad il rapido ottenimento di ottimali valori di pH (cioè non superiori a 3,4-3,5).

I livelli elevati di stress idrico hanno portato, nel caso dei tre vigneti analizzati nel 2017, non solo ad una rapida maturazione, ma anche al raggiungimento di livelli di gradi Brix incredibilmente elevati, considerando che l'ottimale intervallo di grado Brix alla vendemmia viene indicato, per le uve rosse, tra 21,8° e 22,5° (22° Brix=12,65% di alcool potenziale), mentre nella sperimentazione sono stati raggiunti valori tra 27° e 29,5° Brix; tali livelli di zucchero sono eccessivi nell'ottica dell'ottenimento di un vino di qualità. Al contrario, sono stati rilevati, per tutte le tesi in tutti i vigneti, livelli di pH e acidità accettabili, eccetto per Pero nel quale le tesi IT e L hanno registrato valori di acidità leggermente inferiori alla soglia precedentemente indicata.

Nell'annata 2018 i livelli del contenuto zuccherino, sebbene comunque elevati, sono inferiori rispetto all'anno precedente, raggiungendo un massimo di 25,5° Brix, mentre si registrano livelli di acidità inferiori alla soglia (4,2-4,5) e di pH superiori; ciò potrebbe essere dovuto ad una probabile sovra maturazione del frutto.

Le analisi della maturazione tecnologica per il vigneto Masseto hanno dato risultati simili tra le due tesi, sebbene si veda la tesi PT registrare valori leggermente più alti di L: ciò potrebbe essere dovuto alla maggiore capacità fotosintetica che è stata registrata per questa tesi con conseguente maggiore produzione e accumulo di soluti, mentre potrebbe non essere dovuto

all'aumento di concentrazione della soluzione in quanto i pesi di PT risultano superiori a quelli di L. Resta comunque il fatto che le differenze dei gradi Brix, così come di acidità e pH, tra le tesi siano esigue, conseguentemente si può suppore che l'applicazione di una pacciamatura o di una lavorazione, probabilmente, non agisca significativamente sulla maturazione tecnologica.

Ciò trova conferma anche nell'andamento della maturazione tecnologica in Bellaria e Pero, sia nell'anno 2017 che nel 2018, dove non si riscontrano, per nessuno dei tre parametri, differenze evidenti tra le tesi.

Questo potrebbe essere dovuto al fatto che le elevate temperature, raggiunte in entrambe gli anni durante la maturazione, abbiano interferito con un eventuale azione delle tesi sulla maturazione tecnologica, rendendo impossibile determinare la loro azione su questo parametro.

ANALISI MATURAZIONE FENOLICA

L'andamento dei parametri della maturazione fenolica (polifenoli ed antociani, totali ed estraibili) sono stati riportati in grafici a linee, mentre i valori alla vendemmia sono stati riportati, per favorirne il confronto, in grafici a istogramma.

ANNATA 2017

Bellaria

Nei campionamenti effettuati a Bellaria, le analisi degli antociani totali ed estraibili hanno dato risultati simili: negli antociani totali si vede una maggiore oscillazione dei valori tra i campionamenti, soprattutto per la tesi IT, mentre gli antociani estraibili, dal 28/08 alla vendemmia si mantengono stabili. Le analisi alla vendemmia (4/09) mostrano delle differenze statisticamente significative tra le tesi: in entrambi i casi, antociani totali ed estraibili, la tesi IT registra un contenuto superiore rispetto alla tesi L.

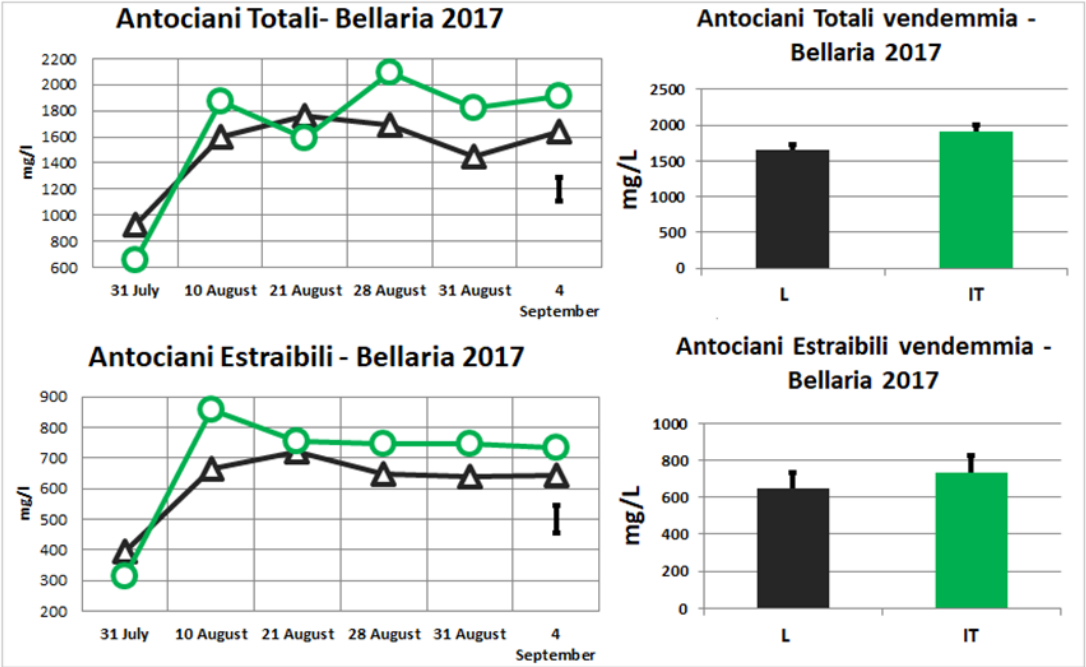


Figura 7.1: Evoluzione e valori alla vendemmia degli Antociani Totali e Estraibili vigneto Bellaria, 2017

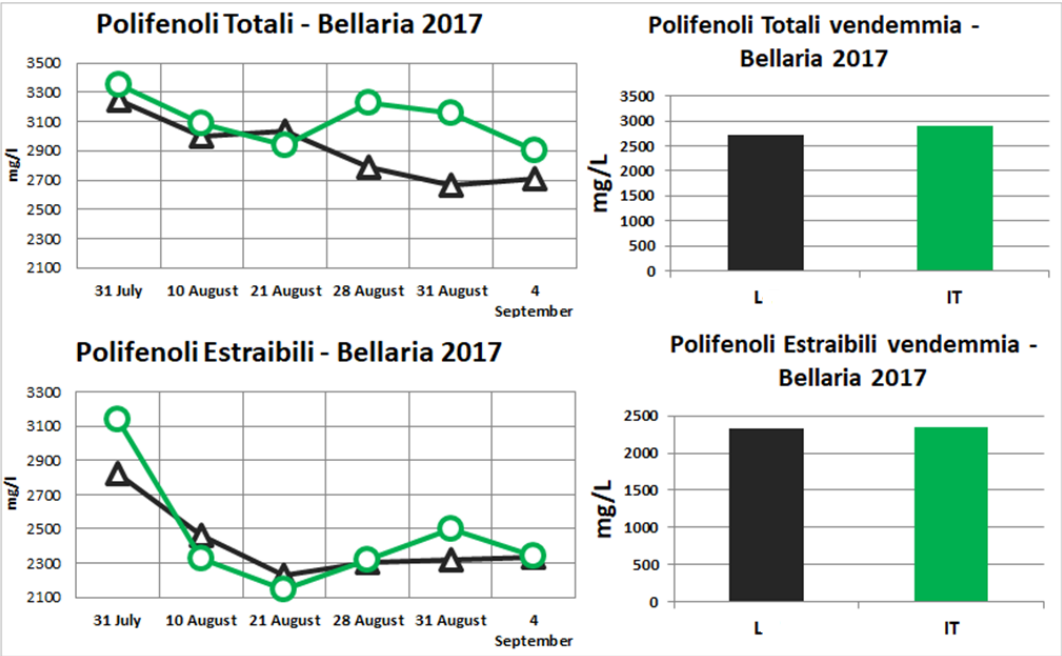


Figura 7.2: Evoluzione e valori alla vendemmia dei Polifenoli Totali e Estraibili vigneto Bellaria, 2017

I polifenoli totali presentano un andamento simile tra le tesi fino al 21/08, dopo di che si assiste ad un aumento dei polifenoli nella tesi IT e una diminuzione degli stessi nella tesi L, per poi riavvicinarsi in prossimità della vendemmia.

I polifenoli estraibili inizialmente presentano, discostandosi come andamento da quelli totali, un rapido abbassamento dei valori che successivamente si mantengono a livelli simili (2300-2500 mg/l) fino alla vendemmia, dove non si riscontrano differenze tra le tesi.

Masseto

Nel caso del vigneto Masseto, nell'analisi sia del contenuto in antociani che del contenuto in polifenoli, non si riscontrano differenze tra le tesi, sebbene si possa notare, nel caso degli

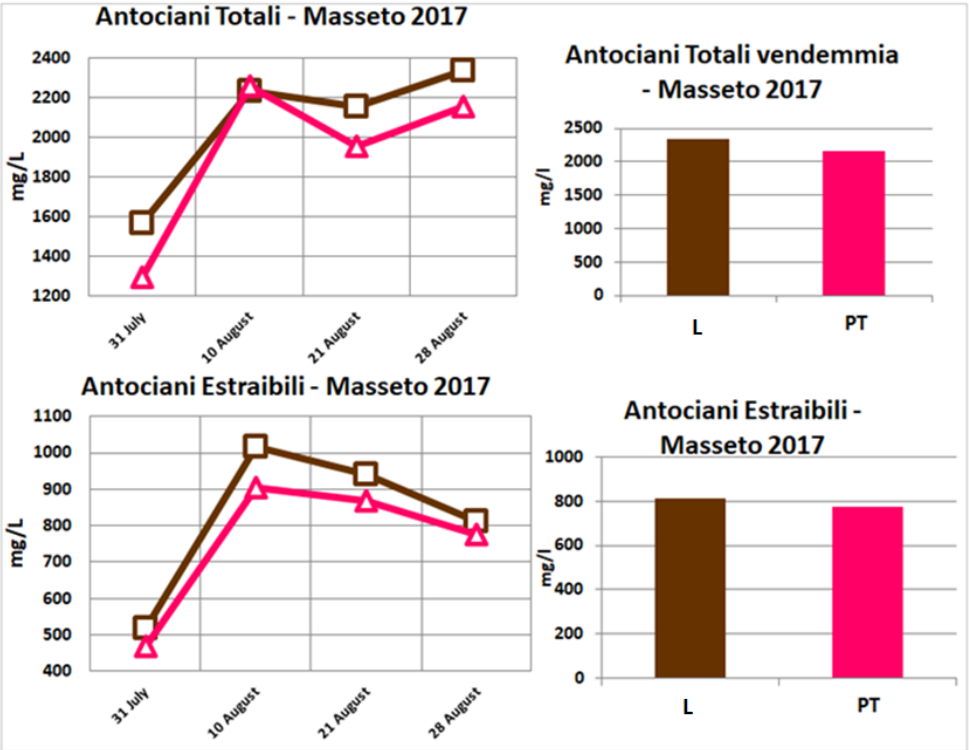


Figura 7.3: Evoluzione e valori alla vendemmia degli Antociani Totali e Estraibili vigneto Masseto, 2017

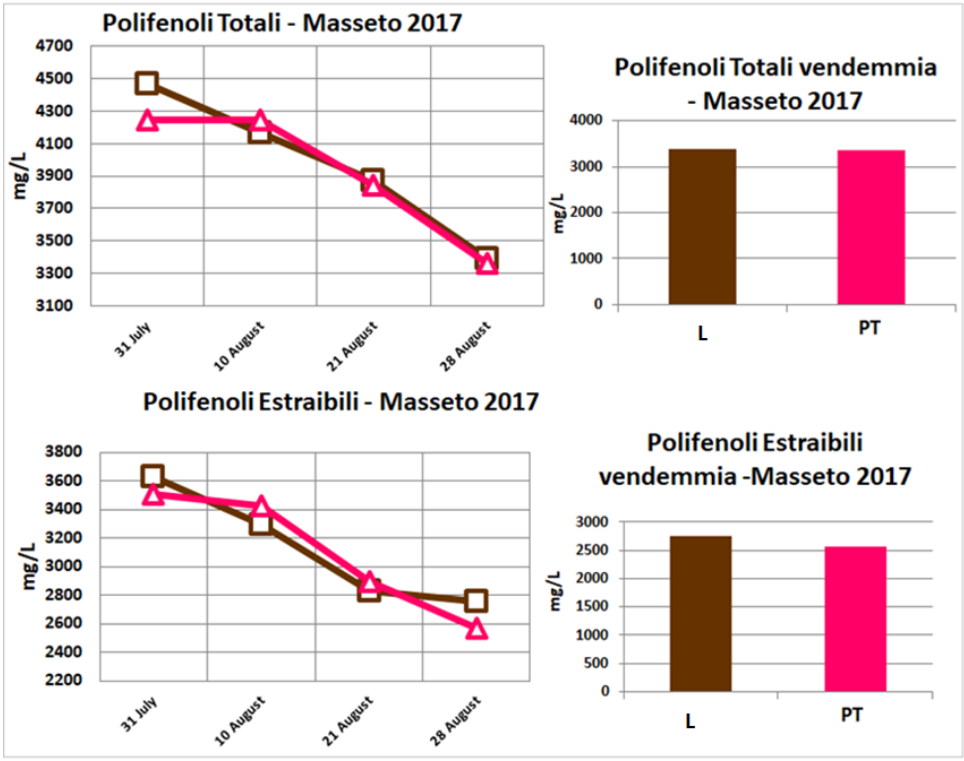


Figura 6.4: Evoluzione e valori alla vendemmia dei Polifenoli Totali e Estraibili vigneto Masseto, 2017

antociani, la tendenza della tesi L a registrare valori leggermente più alti rispetto a PT.

Alla vendemmia non si riscontrano differenze statisticamente significative tra le tesi, né per le analisi degli antociani, né per i polifenoli, sebbene si registrano, per antociani totali ed estraibili e per i polifenoli estraibili, valori della tesi L leggermente più alti della tesi PT.

Pero

Nel caso del vigneto Pero le analisi degli antociani hanno evidenziato un andamento simile tra i totali e gli estraibili, con un andamento parabolico che, partendo da valori molto bassi e dopo un considerevole aumento, tendono a diminuire nuovamente tanto che alla vendemmia per gli antociani estraibili si sono registrati valori simili alla prima misurazione.

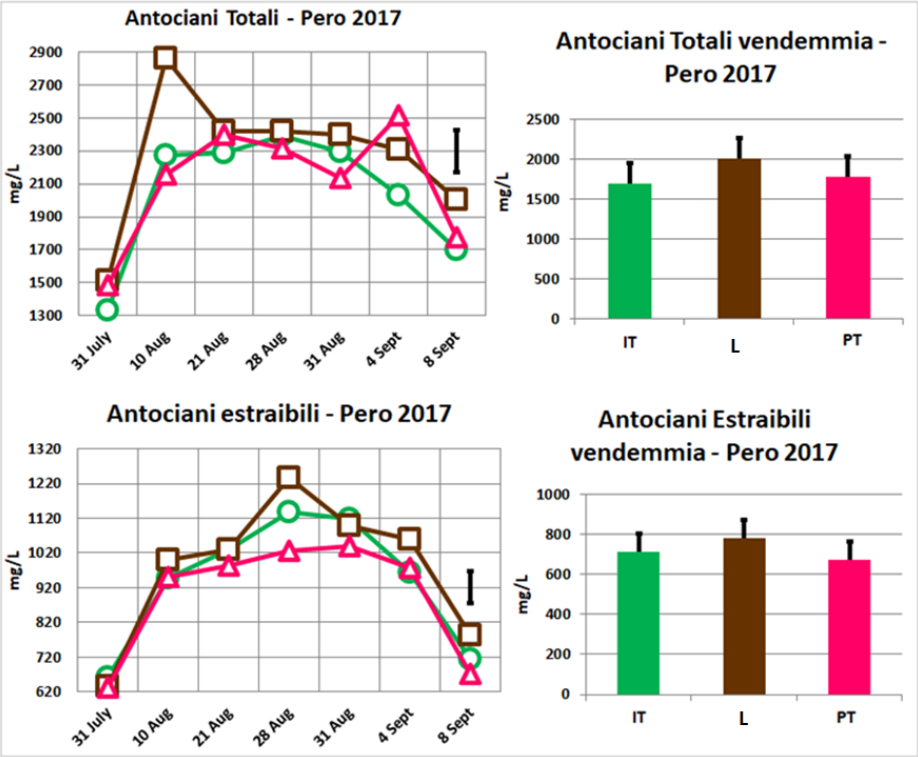


Figura 7.5: Evoluzione e valori alla vendemmia degli Antociani Totali e Estraibili vigneto Pero, 2017

Tra le tesi non si riscontrano grandi differenze: nell'analisi degli antociani totali si vede un picco dei valori di L che fanno discostare la tesi dalle altre in data 10/08, e un'oscillazione dei valori di PT tra il 31/08 e il 4/09 che fanno registrare delle differenze numeriche tra la tesi e IT. Nel caso degli antociani estraibili non si notano particolari differenze.

Alla vendemmia si registrano, per entrambe le analisi, delle differenze statisticamente significative tra le tesi che indicano L come quella con maggior contenuto in antociani e IT come quella con il minor contenuto delle tre. L'evoluzione dei polifenoli nelle due analisi differisce e non è possibile definire un andamento certo tra le tesi le quali, nell'analisi dei

polifenoli totali presentano una continua oscillazione tra valori più o meno alti, soprattutto per PT e IT, che si mantengono meno stabili rispetto a L; andamento ugualmente oscillante tra i valori della tesi si nota anche nell'analisi dei polifenoli estraibili.

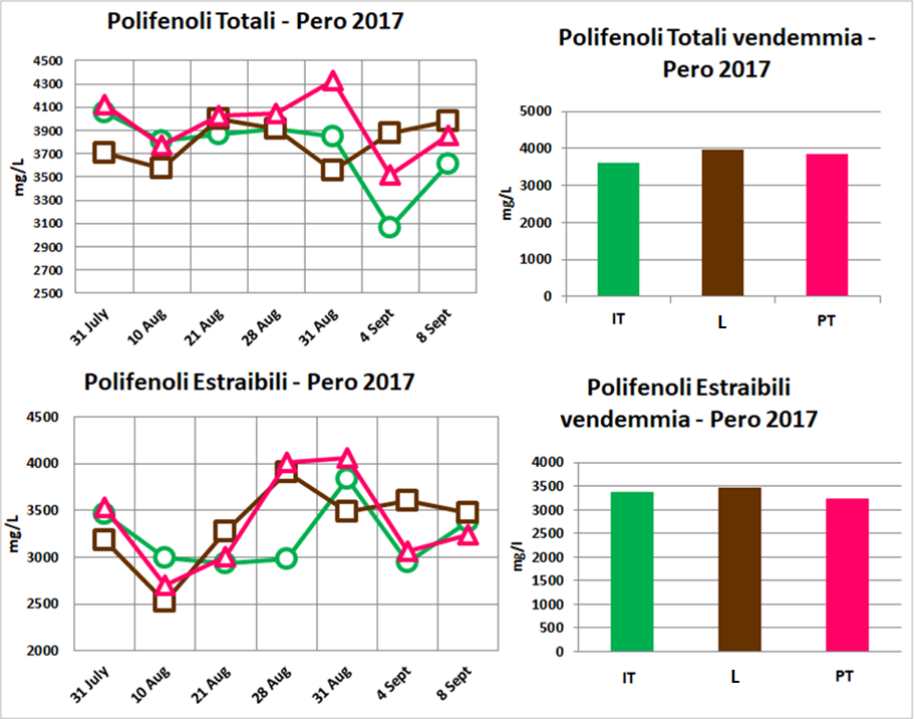


Figura 7.6: Evoluzione e valori alla vendemmia dei Polifenoli Totali e Estraibili vigneto Pero, 2017

Nel caso dei polifenoli totali si evidenzia, in data 28/08 nel caso di PT, un contenuto di polifenoli simile a L e superiore a IT mentre in data 4/09 si nota come i valori di PT si abbassino al livello di IT con L che mantiene valori superiori alle altre due tesi; alla vendemmia non si riscontrano differenze significative tra le tesi. Nel caso dei polifenoli estraibili le differenze in data 28/08 e 4/09 indicano IT come la tesi con il contenuto minore di polifenoli, mentre alla vendemmia vediamo come la tesi con livelli minori sia PT e quella con contenuto maggiore L, esattamente come nel caso dei polifenoli totali.

ANNATA 2018

Nello studio dell'evoluzione degli antociani totali i valori registrati per le tesi L e IT si mantengono crescenti, e successivamente stabili in maniera costante, mentre la tesi PT manifesta

degli aumenti di valore in data 21/08 e 3/09 che ne fanno discostare i valori, da quelli delle altre due tesi le quali, tra di loro, registrano livelli di antociani piuttosto simili per tutti i campionamenti. Alla vendemmia si notano delle differenze statisticamente significative tra le tre tesi dalle quali si evince che il contenuto in antociani di PT è statisticamente superiore a quello di IT e soprattutto di L.

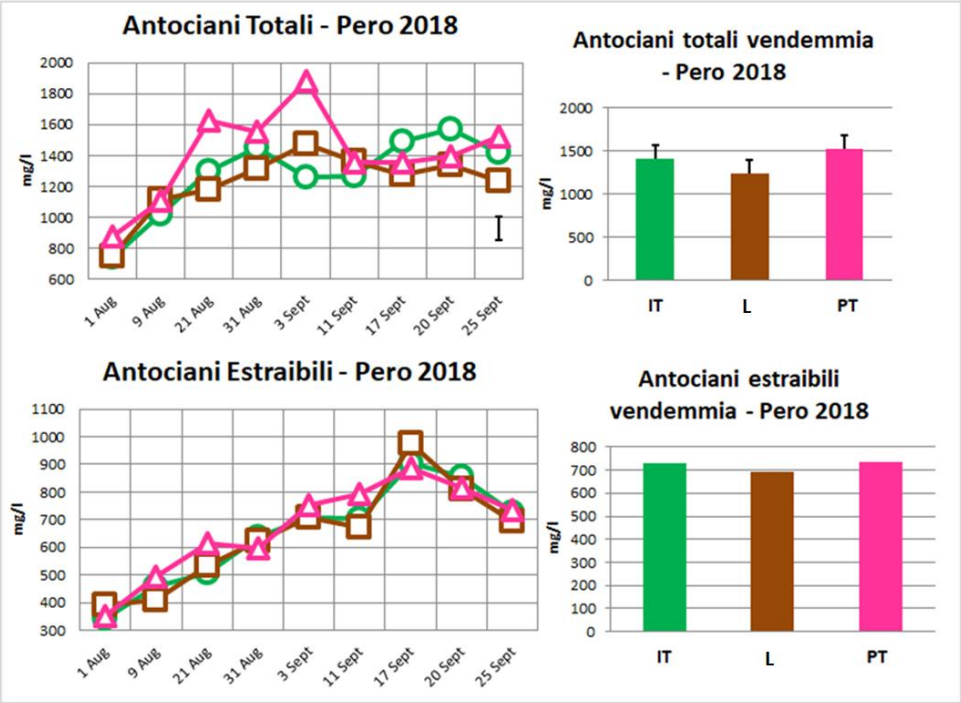


Figura 7.7: Evoluzione e valori alla vendemmia degli Antociani Totali e Estraibili vigneto Pero, 2018

Nel caso degli antociani estraibili, al contrario, né durante i campionamenti, né alla vendemmia si registrano differenze notevoli tra le tesi: alla vendemmia si evidenziano per la tesi PT e IT valori dal contenuto di antociani estraibili maggiori rispetto a L, sebbene non si riscontrino differenze significative; per quanto riguarda l'evoluzione nel tempo, si nota un andamento regolare crescente che diviene, all'approssimarsi della vendemmia, decrescente.

I polifenoli totali ed estraibili del vigneto Pero presentano un andamento simile tra loro, cioè decrescente fino al 21/08 e successivamente crescente, stabilizzandosi poi in prossimità della vendemmia. Nel caso dei polifenoli totali la tesi PT regista in tre occasioni valori maggiori rispetto alle altre due tesi (21/08, 31/08 e 3/09). Altresì nell'analisi dei polifenoli estraibili la tesi PT registra valori superiori alle altre in tre rilevazioni (21/08, 3/09 e 11/09). In entrambe le analisi i valori della tesi L e della tesi IT risultano essere analoghi.

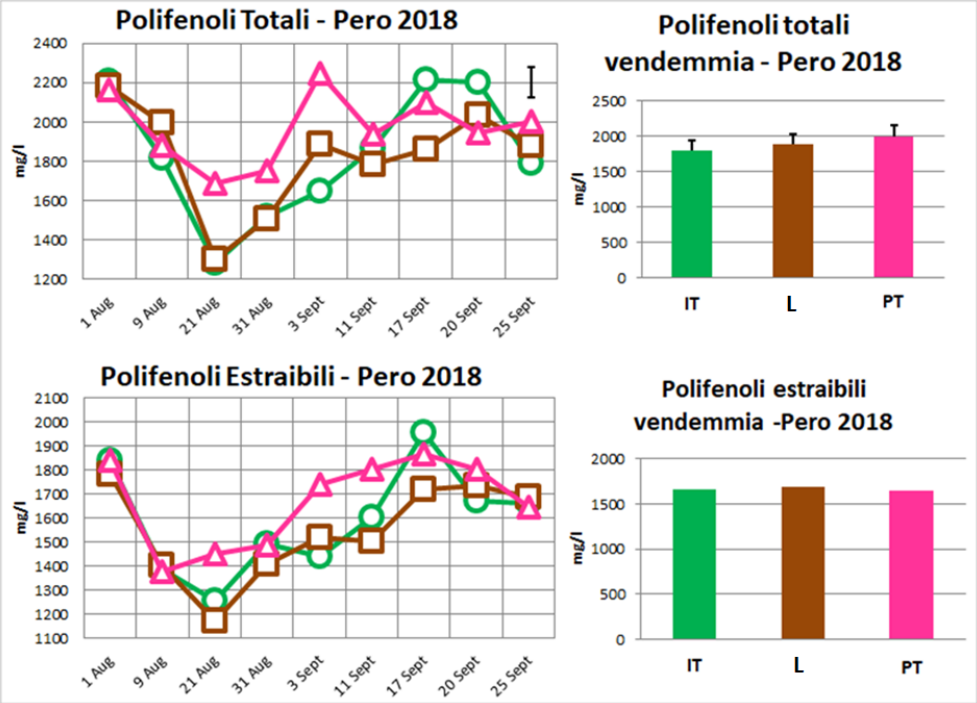


Figura 7.8: Evoluzione e valori alla vendemmia dei Polifenoli Totali e Estraibili vigneto Pero, 2018

Alla vendemmia le differenze statistiche indicano, per i polifenoli totali, la tesi PT come quella con il più alto contenuto in polifenoli e IT come quella con più basso; mentre per l'analisi dei polifenoli estraibili si vede PT registrare valori inferiori rispetto alle altre due tesi.

DISCUSSIONE

Dai dati riportati si evidenziano differenti andamenti tra antociani totali ed estraibili, questo è dovuto dal fatto che mentre gli antociani totali indicano il contenuto complessivo di tali composti, gli estraibili rappresentano quella parte che, alla vinificazione, passa nel vino. L'andamento decrescente all'approssimarsi della vendemmia degli antociani estraibili ha un'origine prettamente fisiologica: durante la maturazione gli antociani estraibili aumentano nel loro contenuto, raggiungendo un picco che ne rappresenta il massimo e l'ottimo di raccolta dal punto di vista della maturazione fenolica (Glories, 1996), dopo il raggiungimento di tale picco si ha una decrescita del contenuto di antociani; tale condizione è definita di sovra-maturazione fenolica (Fregoni, 2005). La diminuzione del contenuto in antociani riscontrata nelle annate 2017 e 2018, è stata favorita dall'andamento climatico e dallo stress idrico: infatti una reazione allo stress, accentuata dall'esposizione al sole dei grappoli, è l'indurimento della buccia della bacca, cosa che comporta una maggiore difficoltà nell'estrazione degli antociani dalla buccia stessa, dove gli antociani sono contenuti in quantità superiore rispetto al resto del frutto; lo

stress idrico, inoltre, induce una degradazione degli antociani la cui natura, idrolitica o di ossidazione, non è stata ancora precisata (Mori et al. 2007). Conseguentemente si riscontra, in entrambe le annate, una sovra-maturazione fenolica che, come visto in precedenza, è accompagnata da una sovra-maturazione tecnologica; tale condizione è stata favorita dall'andamento climatico e dall'elevato stress idrico.

Nel contenuto di antociani, sia totali che estraibili, non sono state registrate differenze significative tra le tesi, sebbene nel caso di Bellaria e Masseto la tesi IT per il primo e L per il secondo abbiano presentato un livello in antociani leggermente superiore alle altre tesi: in entrambi i casi erano le tesi con un livello di stress idrico maggiore cosa che potrebbe aver favorito un maggiore accumulo iniziale di antociani che, successivamente, per le cause suddette, sono diminuiti restando comunque in quantità superiore rispetto alle altre tesi (Castellarin et al, 2011). Nel vigneto Pero, nell'annata 2017, L è risultata essere la tesi con il maggior contenuto di antociani, però, a differenza di quanto visto nei casi di Bellaria e Masseto, ha altresì registrato livelli di potenziale idrico meno negativi rispetto alle alte tesi. Nel vigneto Pero, per il 2018, non si hanno differenze tra le tesi nel caso degli antociani estraibili e minime negli antociani totali.

Da ciò si deduce che, come visto nella maturazione tecnologica, l'applicazione delle differenti tesi potrebbe non influenzare l'accumulo di antociani.

L'evoluzione dei polifenoli registra un andamento crescente nel caso della tesi Pero, sia per il 2017 che per il 2018, come si vede dalle figure 7.6 e 7.8; tra le tesi non si riscontrano differenze in nessuna delle due annate e l'andamento oscillante tra le tesi non permette di definire quale delle tre vada ad influenzare maggiormente l'accumulo di polifenoli.

Per i vigneti Bellaria e Masseto, al contrario, si riscontra un andamento atipico, come mostrato dalle figure 7.2 e 7.4, in quanto si ha un andamento decrescente del contenuto in polifenoli. Ciò va contro la teoria (Fregoni, 2005) e, si suppone, può essere giustificato dall'elevato livello di stress idrico che i due vigneti registrano all'approssimarsi della vendemmia: tale condizione potrebbe aver portato a processi degenerativi o ossidativi dei polifenoli, soprattutto per alcune classi di flavonoidi e di flavonoli, fortemente influenzate dalle temperature e dallo stress idrico (Ojeda et al., 2002).

Altresì si può supporre un effetto genetico dovuto alla cultivar in quanto i vigneti Bellaria e Masseto sono condotti a Merlot, mentre il vigneto Pero è condotto a Cabernet Sauvignon.

Anche nel caso dei polifenoli le limitate differenze tra le tesi potrebbero indicare l'assenza di una significativa azione delle stesse sull'accumulo di questi composti.

PESI DI PRODUZIONE

ANNATA 2017

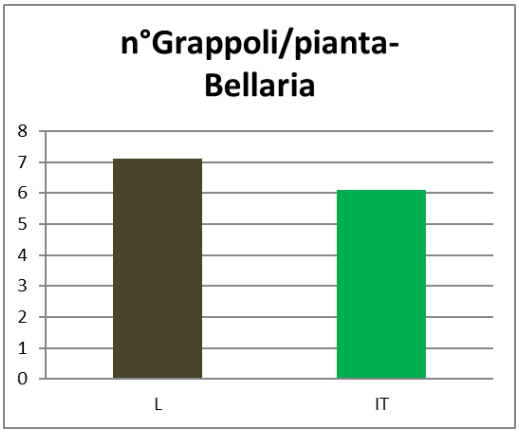


Figura 3.1: Grappoli per pianta, Bellaria 2017

Bellaria

Nel vigneto Bellaria si riscontra una produzione tendenzialmente maggiore nel caso della tesi L per la quale si registrano pesi dei grappoli superiori rispetto a IT e una resa per pianta maggiore; si riscontra un numero di grappoli a pianta analogo tra le due tesi, registrando una media di sette grappoli per pianta nella tesi L e sei nella tesi IT.

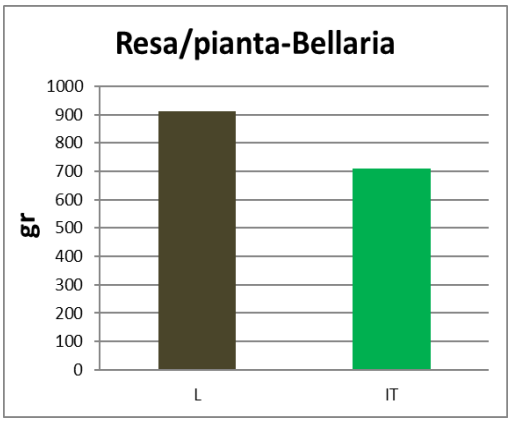


Figura 8.2: Resa/pianta, Bellaria 2017

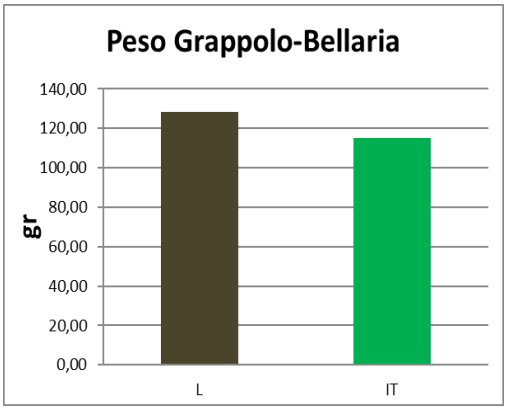


Figura 8.2: Peso medio dei grappoli, Bellaria 2017

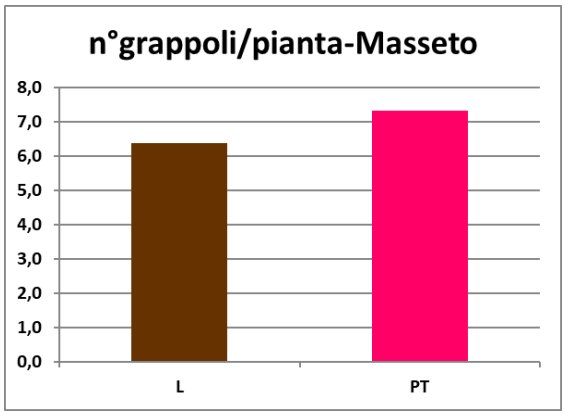


Figura 8.3: Grappoli per pianta, Masseto 2017

Masseto

Nel vigneto Masseto si evidenzia, per la tesi PT, una produzione superiore rispetto ad L in quanto si registrano, tendenzialmente, un maggior numero di grappoli per pianta, un peso dei grappoli superiore ed una resa più elevata.

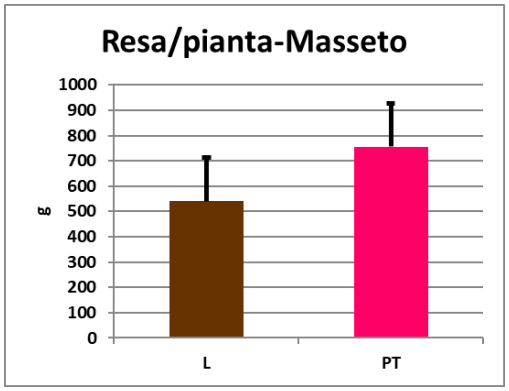


Figura 8.4: Resa per pianta, Masseto 2017

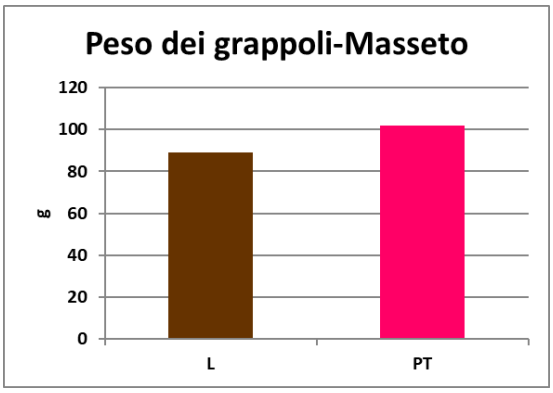


Figura 8.5: Peso medio grappoli, Masseto 2017

Pero

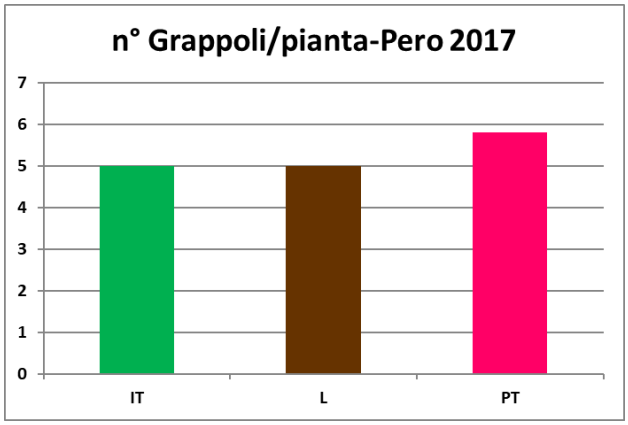


Figura 8.5: Grappoli per pianta, Pero 2017

Nel caso del vigneto Pero si evidenzia per la tesi L la tendenza a registrare valori del peso di produzione superiori rispetto alle altre due. La tesi L registra una produzione maggiore sebbene presenti, tendenzialmente, un numero di grappoli per pianta minore rispetto alla tesi PT e analogo alla tesi IT; questo potrebbe essere dovuto ad un grappolo di dimensioni maggiori rispetto a quello delle altre tesi. I pesi delle bacche (esposti nel capitolo 3.5), però,

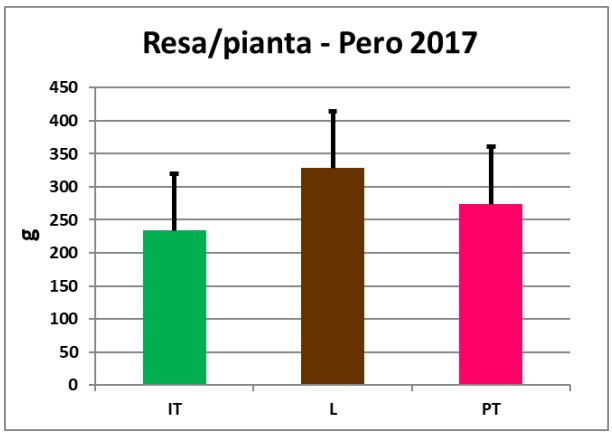


Figura 8.6: Resa per pianta, Pero 2017

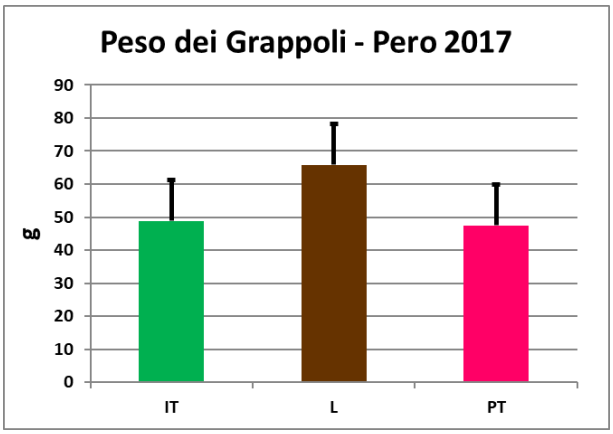


Figura 8.7: Peso medio grappoli, Pero 2017

evidenziano valori analoghi tra le tesi L e IT; questo potrebbe indicare, dunque, che i valori superiori di resa e peso dei grappoli per la tesi L possono essere dovuti ad una maggiore allegagione.

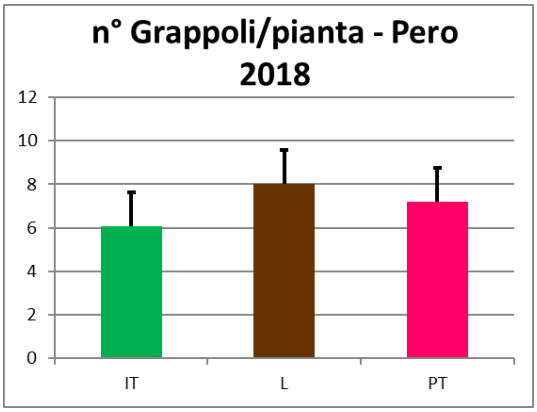


Figura 8.8: Grappoli per pianta, Pero 2018

Annata 2018

Nell'annata 2018 per il vigneto Pero si evidenzia la tendenza, nel caso della tesi L, a registrare una maggiore resa rispetto alle altre due. Per la tesi L si registra, inoltre, il maggior numero di grappoli per pianta.

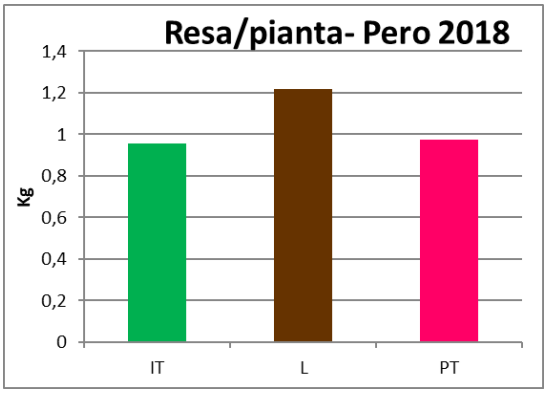


Figura 8.4: Resa per pianata, Pero 2018

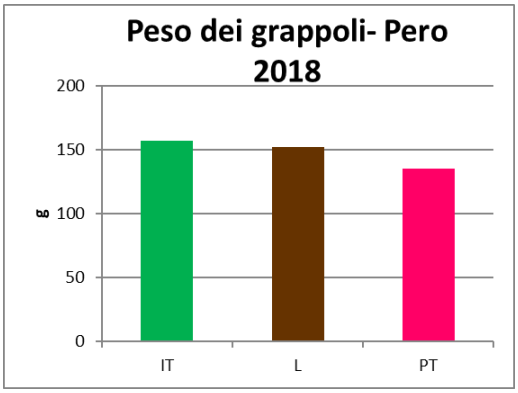


Figura 8.10: Peso medio dei grappoli, Pero 2018

DISCUSSIONE

Nelle misurazioni del peso di produzione le maggiori rese che si registrano nel caso della tesi L nel vigneto Pero (2017) e della tesi PT nel caso di Masseto, possono essere dovute dalla maggiore disponibilità idrica che queste due tesi hanno registrato rispetto alle altre, con una conseguente minore disidratazione: infatti nel caso di PT di Masseto, la tesi tende altresì a registrare valori della bacca (come si evince nel capitolo 3.5) maggiori rispetto ad L; nel caso di Pero la tesi L tende a registrare valori della bacca più elevati rispetto alle altre tesi, in particolar modo rispetto a PT.

Si riscontrano inoltre, nel caso di Pero, delle differenze tra i due anni della sperimentazione: nonostante il numero di grappoli analogo tra le annate, si evidenziano, infatti, delle differenze elevate nelle rese e nei pesi dei grappoli; nel caso del 2017 la resa media tra le tesi è stata di

circa 278 grammi e il peso medio dei grappoli è risultato pari a 54 grammi; mentre nel caso del 2018 le rese medie sono state di circa un kilogrammo e il peso dei grappoli si è aggirato attorno ai 150 grammi. Queste elevate differenze tra le annate, che si riscontrano anche per i pesi delle bacche (capitolo 3.5) possono essere dovute ai differenti andamenti climatici che hanno comportato, nel caso del 2017, livelli di stress idrico superiori alla soglia di stress estremo con conseguente disidratazione delle bacche e diminuzione delle rese.

4. CONCLUSIONI

L'attuale cambiamento climatico che si manifesta con eccessi termici, alte radiazioni UV-B e disponibilità idriche irregolari porta a conseguenze sulla fisiologia della vite molto evidenti, come dimostrano gli effetti della carenza idrica, lo sfasamento delle fasi fenologiche, gli effetti ossidativi sull'attività fotosintetica, l'alterata sintesi dei composti secondari (polifenoli ed aromi) che sono alla base della qualità del vino (Scienza, 2018); ciò si è riscontrato nelle annate 2017 e 2018, due anni caratterizzati dalle estati più calde degli ultimi dieci anni, che hanno comportato, per il settore vitivinicolo, delle condizioni limitanti in termini di disponibilità idrica per le piante. Da quanto evidenziato si riscontra la necessità, al fine di ottenere produzioni di qualità, dello sviluppo di sistemi atti a contrastare questa tendenza climatica. Uno scenario possibile per preservare e mantenere un'adeguata riserva idrica nel suolo vitato può essere ricercato nella gestione del suolo del vigneto. Un altro aspetto da prendere in considerazione è la scelta della cultivar, in quanto prediligere varietà che presentino una maggiore tolleranza alle condizioni di restrizione idrica permette l'ottimizzazione, anche in termini di sostenibilità ambientale, dell'uso delle risorse idriche.

I risultati ottenuti dalla valutazione dei sistemi di gestione dell'interfilare, nel complesso delle annate e dei vigneti presi in considerazione, non hanno permesso di individuare una tecnica che si sia dimostrata in generale più efficace delle altre nella risposta allo stress idrico dal punto di vista vegeto-produttivo. È stato però possibile individuare, per ciascuno dei singoli vigneti, una tesi con la tendenza a registrare risultati migliori nelle misurazioni e nelle analisi effettuate; questo è dipeso, probabilmente, dalle diverse caratteristiche pedologiche e microclimatiche.

Nel vigneto Bellaria si riscontra la tendenza della tesi L a registrare un potenziale idrico meno negativo rispetto alla tesi IT; ciò è da ricondurre alla competizione per la risorsa idrica che le essenze erbacee presenti nell'interfilare attuano nei confronti della vite, comportando una minore disponibilità di acqua per la pianta stessa (Lopez et al, 2008; Palliotti et al., 2015; Lakso and Pool, 2006). In termini di capacità fotosintetica si evidenzia la tendenza di L a registrare livelli di fotosintesi maggiori; ciò è dovuto, probabilmente, allo stato idrico della pianta, la quale trovandosi in condizioni di minor restrizione idrica tende ad attuare una maggiore apertura stomatica. Dal punto di vista delle performance produttive la tesi IT presenta la tendenza ad un maggior accumulo di soluti, in particolar modo si evidenziano valori più elevati di grado Brix, di polifenoli e di antociani rispetto a L; questo si può ricondurre ai livelli di restrizione idrica che si riscontrano per IT i quali possono aver portato ad un maggiore accumulo di polifenoli (Castellarin et al 2011, Ollé et al 2001), e ad una maggiore

concentrazione dei soluti all'interno della bacca; la resa e quindi la quantità di produzione maggiore viene registrata nel caso di L, dovuta, probabilment,e alla minore restrizione idrica che ha comportato un aumento del peso della bacca. Per il vigneto Bellaria, in conclusione, sebbene si evidenzi una minor restrizione idrica e livelli di fotosintesi maggiori per L, dal punto di vista della produzione in termini qualitativi si dimostra più vantaggiosa la tesi IT; probabilmente, nel caso di IT le piante hanno favorito l'accumulo di sostanze alla produzione a scapito dell'accrescimento della parete fogliare, che è la prima funzione bloccata dallo stress idrico. Il vigneto Masseto è caratterizzato da un terreno con elevata tendenza al compattamento, ciò ha comportato un maggiore rischio di stress idrico, come si è potuto evidenziare dai livelli di potenziale idrico al di sopra della soglia di criticità. In questo vigneto si evidenzia la tendenza della tesi PT a registrare valori di potenziale idrico meno negativi rispetto alla tesi L e livelli di conduttanza stomatica e fotosintesi più elevati; ciò può essere dovuto al fatto che la pacciamatura permette di ridurre i processi evaporativi del terreno, mantenendo all'interno dello stesso un contenuto idrico superiore rispetto alla lavorazione del suolo (Pinamonti 1998, Varga e Májer 2004). Nel caso delle performance produttive si riscontra la tendenza della tesi PT a registrare valori più elevati di grado Brix, ma a livello di contenuto di polifenoli ed antociani la tesi L registra valori più elevati, ciò può essere ricondotto allo stress idrico più severo che si registra per la tesi L, il quale può aver portato ad un maggiore accumulo di antociani rispetto a PT (Castellarin et al., 2011). Altresì la tesi PT registra una produzione quantitativamente superiore, dovuta, probabilmente, ai minori livelli di stress idrico registrati e conseguentemente ad una minore disidratazione della bacca. Conseguentemente nel caso di un terreno le cui caratteristiche portino a condizioni maggiormente restrittive, la pacciamatura comporta un minor stress idrico ed una maggiore capacità fotosintetica, sebbene comporti una produzione quantitativamente superiore, può portare all'ottenimento di un vino con minor contenuto in polifenoli.

Nel caso del vigneto Pero, dove si ha un terreno argillo-sabbioso, si registrano valori di potenziale idrico generalmente meno negativi rispetto a Masseto e più simili a quelli ottenuti per Bellaria; in questo vigneto, nel caso del 2017, si può evidenziare la tendenza della tesi PT a registrare valori di potenziale meno negativi rispetto alle altre due tesi, ciò può essere dovuto alle stesse ragioni che si sono evidenziate per Masseto. Dal punto di vista dell'efficienza fotosintetica la tesi L dimostra un trend di valori più elevati rispetto a IT e PT. In termini di produzione PT mostra la tendenza a registrare un maggior contenuto di zuccheri, sebbene sia la tesi L a registrare una maggiore concentrazione di polifenoli ed antociani e le rese superiori. Nel 2018, diversamente dall'annata precedente, la tesi L presenta un trend meno negativo del

potenziale idrico rispetto alle altre due tesi, sebbene i valori di fotosintesi siano più elevati nel caso di IT. PT registra, alla vendemmia, livelli di grado Brix più elevati rispetto alle altre tesi, questo può venir giustificato da una maggiore concentrazione dei soluti dovuta alla restrizione idrica superiore registrata per questa tesi. Al contrario, nelle analisi del contenuto in polifenoli ed antociani la tesi L, quella cioè con minor restrizione idrica, nonché maggiore resa, tende a registrare valori più elevati rispetto alle altre tesi. In conclusione, nel caso di Pero, si hanno trend differenti tra le due annate; nel caso del 2018 il comportamento analogo tra IT e PT potrebbe essere giustificato da un ritardo nell'allettamento del cotico erboso nella tesi PT per la formazione della pacciamatura; ciò può aver portato PT a comportarsi in maniera analoga ad un inerbimento. In entrambe le annate, la tesi L registra le rese maggiori dovute, probabilmente, al minor stress idrico registrato per questa tesi in entrambe le annate.

Deve essere comunque preso in considerazione l'andamento climatico delle due annate nelle quali è stata effettuata la sperimentazione, infatti le alte temperature e la scarsità di precipitazioni hanno comportato livelli di restrizione idrica elevati in tutte in tutti i vigneti considerati; tale restrizione idrica si è manifestata sia a livello di potenziale idrico che di capacità fotosintetica, registrando per diverse misurazioni valori di questi due parametri oltre la soglia di stress. Tale condizione ha avuto effetti soprattutto sulla produzione, in particolar modo per quanto riguarda il peso della bacca, la cui evoluzione, dall'invaiatura alla raccolta ha evidenziato, per ogni tesi, una diminuzione di peso che può trovare giustificazione nella disidratazione dell'acino dovuta allo stress idrico (Palliotti et al., 2015). Nel caso della maturazione tecnologica la restrizione idrica ha comportato degli effetti ragguardevoli: sono stati infatti ottenuti valori di grado Brix superiori all'ottimo (per i vitigni a bacca rossa: 21,8°-22,5° Brix), registrando alla vendemmia valori massimi di 29,5°, vale a dire alcool probabile superiore al 17%, che può comportare complicazioni alla vinificazione. Nel caso dei polifenoli, e in particolar modo degli antociani, si è registrata una diminuzione nel contenuto e nell'estraibilità, che possono essere ricondotti all'elevato stress idrico subito dalle piante che ne può aver alterato il contenuto (van Leeuwen et al., 2007; Mori et al., 2007; Ojeda et al., 2002)).

In conclusione i risultati delle tesi inerenti alla conduzione dell'interfilare evidenziano, per ciascun vigneto, una tendenza specifica che, si suppone, possa dipendere da microclima, suolo e cultivar utilizzata. Si può però affermare che l'uso dell'inerbimento, in annate particolarmente siccitose, comporti, rispetto alle altre tesi, livelli di stress idrico più elevato e conseguentemente una minore apertura stomatica e capacità fotosintetica.