



Proximal sensing per la viticoltura sito-specifica

A.2. Valutazione multiscala delle potenzialità enologiche del vigneto

Lucio Brancadoro, Paolo Carnevali

Università degli Studi di Milano

Dipartimento di Produzione Vegetale

Via Celoria 2, 20133 Milano

lucio.brancadoro@unimi.it



2008-2010

Sommario

Sommario	2
1. Introduzione	3
1.1. Ecosistema viticolo e variabilità	4
1.2. Monitoraggio della variabilità.	8
1.3. Remote e proximal sensing.	10
1.4. Scopi della viticoltura sito-specifica.	15
1.5. Scopo della ricerca.	16
2. Materiali e metodi.....	17
2.1. Rilievi strumentali.....	21
2.2. Rilievi manuali.....	27
2.3. Analisi geostatistica e statistica.	31
3. Risultati e discussione.	33
3.1. Analisi delle correlazioni bivariate.....	33
3.2. Mappe di NDVI.	39
3.3. Analisi della varianza.	50
3.4. Parametri produttivi e qualitativi.....	84
4. Conclusioni.	96
Bibliografia.	99

1. Introduzione

Dall'avvento della meccanizzazione viticola, il concetto di vigneto e di gestione dello stesso si sono fortemente modificati: si è passati da una viticoltura manuale su piccole superfici e basse densità, la quale era caratterizzata da un'attenzione scrupolosa nei confronti delle esigenze della coltura, ad una realtà contraddistinta da incrementate estensioni e densità, nella quale le pratiche agronomiche vengono attuate in modo meccanizzato, perseguendo un compromesso ideale tra esigenze colturali e massimizzazione del reddito. La conseguenza di tale visione ha portato alla considerazione del vigneto come un'unità omogenea, in cui rendere il più possibile uniformi gli interventi agronomici; in realtà, tale semplificazione, dettata da esigenze operative, trova le sue motivazioni nelle caratteristiche stesse dell'agricoltura moderna, tesa all'utilizzo di sistemi in grado di incrementare le produzioni ed al sovradosaggio dei fattori della produzione impiegati.

L'attuale tendenza dell'agricoltura in generale e, in modo specifico, della viticoltura è quella di focalizzare l'attenzione su aspetti che considerano la produzione come un'attività che sia in grado di coniugare redditività, tecnologia, tradizione, eccellenza dei prodotti, tipicità e sostenibilità, quest'ultima da intendersi non solo nella sua accezione ecologista ma soprattutto come concetto comprendente aspetti sociali, economici ed ecologici.

Sulla base di queste premesse, allo stato attuale risulta di primario interesse considerare il vigneto non più come unità produttiva omogenea ma come insieme di differenti realtà vegeto-produttive coesistenti. A tal fine appare di fondamentale importanza lo studio della variabilità riscontrabile e la gestione della difformità nelle risposte delle piante, al fine di ottimizzare l'impiego dei fattori produttivi (Bramley e Hamilton, 2004; Profitt *et al.*, 2006).

1.1. Ecosistema viticolo e variabilità

Per ecosistema viticolo si intende un ecosistema costituito dall'interazione di clima, terreno e l'entità biologica vitigno-portinnesto (Fregoni, 1998).

Tale concetto è ulteriormente approfondito dall'espressione francese *terroir*, che si basa su un sistema di interazioni fra fattori di tipo naturale ed un insieme di fattori umani (Roudié, 2001) che conferiscono originalità e tipicità ad un prodotto originario di una determinata zona.

Partendo da tali definizioni, è importante sottolineare come la comprensione della variabilità insita in tali ambienti e dei differenti fattori che la caratterizzano risulta un requisito fondamentale per adottare le più corrette pratiche agronomiche ed enologiche che conducano all'obiettivo desiderato: conoscendo le dinamiche che coinvolgono i costituenti dell'ecosistema il viticoltore può influire sulle produzioni mediante l'adozione delle più corrette pratiche agronomiche.

Alla base di tali affermazioni si pone la variabilità che contraddistingue gli ambienti agrari e che si traduce in risposte differenti nell'interazione tra ambiente e vitigno; tale difformità di risposte è determinata da due tipologie di fattori (Brancadoro *et al.* 2006), distinguibili in funzione della loro capacità di variare nel tempo e nello spazio: si parla quindi di fattori statici, nel caso della presenza di variabilità spaziale ma non temporale, e dinamici, nel caso che a variazioni spaziali corrispondano anche differenze imputabili al tempo. Dei fattori statici fanno parte caratteristiche che consideriamo "stabili", come l'origine litologica dei suoli, la loro tessitura e struttura, oltre ad altre fonti di variabilità legate perlopiù al clima, come nello specifico gli aspetti macroclimatici e mesoclimatici. I fattori dinamici sono invece caratterizzati da una variabilità temporale oltre che spaziale: si tratta di caratteristiche chimiche dei terreni, la dotazione in sostanza organica, la presenza di particolari dinamiche nella disponibilità idrica, i fattori microclimatici, che si riferiscono alle variabili meteorologiche individuabili a livello di chioma (Smart e Robinson, 1991; Balsari e Scienza, 2003).

Mentre i fattori statici vengono studiati mediante indagini conoscitive, quali quelle climatiche, pedologiche o multidisciplinari (come ad esempio le zonazioni), la comprensione ed il monitoraggio dei fattori dinamici richiedono un'osservazione continua che, a livello di vigneto, si traduce in una serie di campionamenti e rilievi nel corso dell'intera stagione vegetativa della vite.

Come è possibile osservare in Figura 1, i fattori statici e dinamici concorrono a determinare la composizione dei frutti, attraverso la funzione di modulazione sulla fisiologia delle piante.

Fulcro centrale di tale semplificazione è sicuramente l'espressione vegetativa definita come la quantità di biomassa annualmente prodotta dalle piante (Goutouly *et al.*, 2006).

Come si può notare, i fattori edafici, climatici e le operazioni colturali concorrono alla determinazione del vigore delle piante, il quale si traduce in differenze, a volte anche molto significative, sulle caratteristiche delle chiome; queste ultime, insieme all'architettura determinata dal sistema di allevamento ed al mesoclima, tendono a determinare il microclima.

Microclima, terreno, macro, mesoclima e scelte colturali determinano le risposte fisiologiche e di conseguenza produttive delle piante.

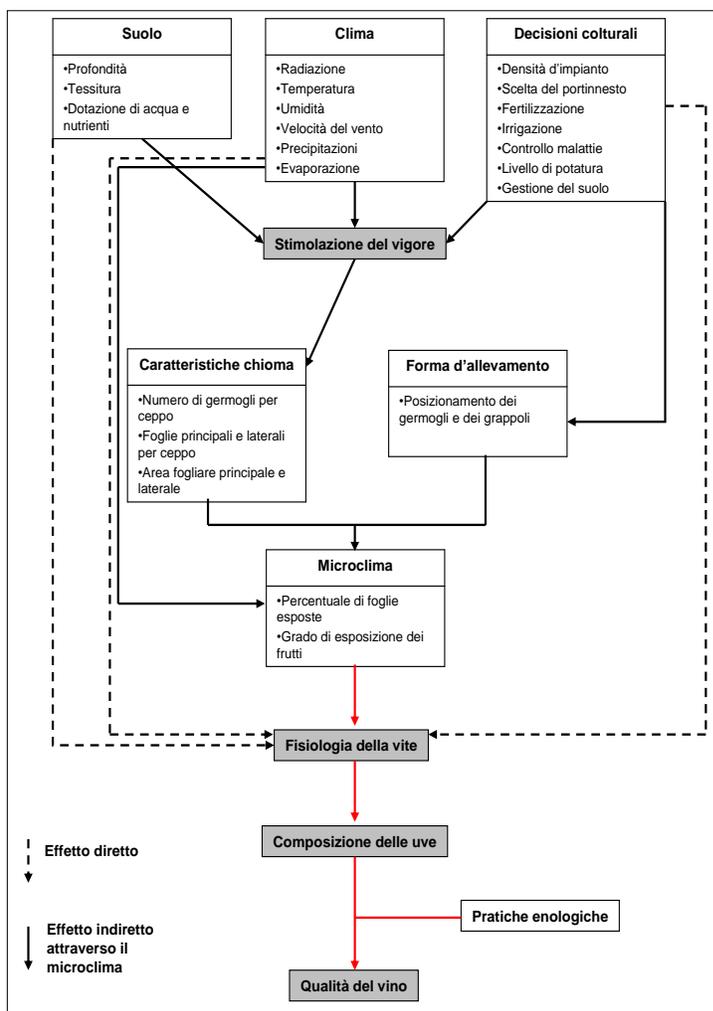


Figura 1: Diagramma schematico dei fattori che influenzano la qualità delle uve (Smart e Robinson 1991.)

Nel caso degli aspetti macro, mesoclimatici e dei fattori pedologici statici (profondità del terreno, tessitura, origine litologica, ecc) la scelta da parte del viticoltore è limitata alle decisioni pre-impianto, mentre nel caso della nutrizione minerale e idrica e delle operazioni

colturali, queste vanno modulate in funzione dell'andamento meteorologico stagionale e delle risposte vegeto-produttive delle piante: ciò prevede da parte del tecnico viticolo un'approfondita conoscenza multidisciplinare, che consideri la meteorologia, la pedologia, la fisiologia della vite e l'agronomia.

1.2. Monitoraggio della variabilità.

Una volta compresa l'importanza della gestione del vigneto in funzione delle condizioni pedoclimatiche e delle risposte fisiologiche e produttive che si innescano nelle piante, è necessario focalizzare l'attenzione sugli strumenti e sulle metodiche che permettono di monitorare tali risposte.

In primo luogo, il tecnico viticolo ha a disposizione una lunga serie di osservazioni che può compiere sulla chioma e sul vigneto: vi sono molti esempi di schemi di valutazione del vigneto, che prendono in considerazione, ad esempio, la percentuale di buchi nella chioma, la misura delle foglie, il loro colore, la densità fogliare, l'esposizione dei frutti, la lunghezza dei germogli, la presenza di apici vegetativi e la capacità di crescita delle femminelle.

Alcuni di questi giudizi possono essere effettuati mediante sopralluoghi, ma la maggior parte di essi richiede misurazioni dirette ed indirette.

Molti autori (Smart e Robinson, 1991; Fregoni, 1998; Dry, 2000) riportano nei loro lavori un insieme di parametri per misurare le caratteristiche delle chiome, alcuni esempi dei quali sono SA

(superficie delle *canopies*); LA/SA (*Leaf Areal Surface Area*, indicatore delle densità delle chiome); percentuale di buchi presenti nella parete (per valutare l'ottimale sfruttamento della luce); spessore della parete; numero di strati fogliari (utile per valutare l'efficienza dei diversi strati della chioma); peso della produzione/SA; peso della produzione/peso del legno di potatura (indice di Ravaz, indice di equilibrio vegeto-produttivo); peso del legno di potatura; espressione vegetativa (EVP, intesa come quantità di biomassa prodotta nel corso dell'anno); lunghezza dei germogli (per valutare la superficie fogliare in rapporto al vigore); peso del legno/EVP (ulteriore indice di equilibrio vegeto-produttivo).

L'ottenimento delle informazioni riguardanti tali indici e parametri prevede l'esecuzione di rilievi che richiedono particolari risorse, competenze e tempistiche che difficilmente sono conciliabili con le attività aziendali; da ciò emerge chiaramente come sia indispensabile, al fine di valutare la variabilità riscontrabile in vigneto e, di conseguenza, le risposte vegeto-produttive delle piante, individuare delle metodiche che permettano di effettuare analoghe considerazioni senza gli svantaggi dei rilievi sopra esposti.

Negli ultimi anni sono stati condotti diversi studi sulla possibilità di monitorare rapidamente e efficacemente la coltura per studiarne le caratteristiche vegetative e rilevare la variabilità all'interno dello stesso appezzamento in modo sempre più specifico. La necessità di gestire molte informazioni in breve tempo e l'esigenza di ridurre i

costi aziendali, hanno incontrato nelle moderne tecnologie soluzioni di indubbio interessante. In particolare l'utilizzo dei satelliti come strumenti di monitoraggio si è ampiamente diffuso negli ultimi anni anche nel settore agricolo. Questo supporto a distanza permette di ottenere immagini ad alta risoluzione che forniscono il quadro completo dello stato vegetativo della coltura (Dial *et al.*, 2003; Helder *et al.*, 2003). Le potenzialità di queste pratiche risiedono nel nesso che c'è tra la riflettanza della canopy e il vigore delle piante (Hall *et al.* 2002).

Le tecnologie associate a questo genere di rilievi sono, in estrema sintesi:

- *Global Navigation Satellite System* (GNSS), sistemi di navigazione satellitare utilizzati per identificare in modo univoco la posizione di un punto sulla superficie terrestre, il più utilizzato dei quali è il GPS (*Global Positioning System*);
- *Geographical Information Systems* (GIS), software per la gestione delle informazioni legate a coordinate geografiche e per l'analisi di dati georiferiti;
- *sensoristica*, caratterizzata perlopiù dall'utilizzo di sensori ottici sia mediante l'uso da remote (*remote sensing*) che prossimale (*proximal sensing*).

1.3. Remote e proximal sensing.

Per definizione al *remote sensing* (o telerilevamento) fanno capo tutte le attività che implicano l'osservazione e la misura di

caratteristiche di un certo oggetto o bersaglio da lunga distanza (Profitt *et al.* 2006), mentre il *proximal sensing* consiste nell'attività di monitoraggio a distanza ravvicinata o a contatto con ciò che viene osservato.

In entrambi i casi, i sensori comunemente utilizzati permettono di effettuare uno studio su oggetto analizzando il comportamento della sua superficie a differenti lunghezze d'onda, in vari domini dello spettro elettromagnetico. Le regioni dello spettro luminoso più indagate sono:

visibile (VIS) lunghezza d'onda compresa nell'intervallo da 0.40 a 0.75 μm ;

- infrarosso vicino (NIR) da 0.75 a 1.3 μm ;
- infrarosso onde corte (SWIR) da 1.3 a 3.0 μm ;
- infrarosso medio (MIR) da 3.0 a 6.0 μm ;
- infrarosso termico (TIR) da 6.0 a 15.0 μm ;
- microonde (MW) da 0.1 cm a 100 cm.

Partendo da questo presupposto, è possibile determinare come ogni superficie possieda una propria riflettanza, definita come la porzione di luce che un oggetto è in grado di riflettere (Boschetti, 2006).

Sfruttando le differenze di assorbanza e riflettanza captate da un sensore ottico, si è in grado di determinare lo stato fisiologico della vegetazione, come nel caso di differenti gradi di stress idrico riportati in Figura 2.

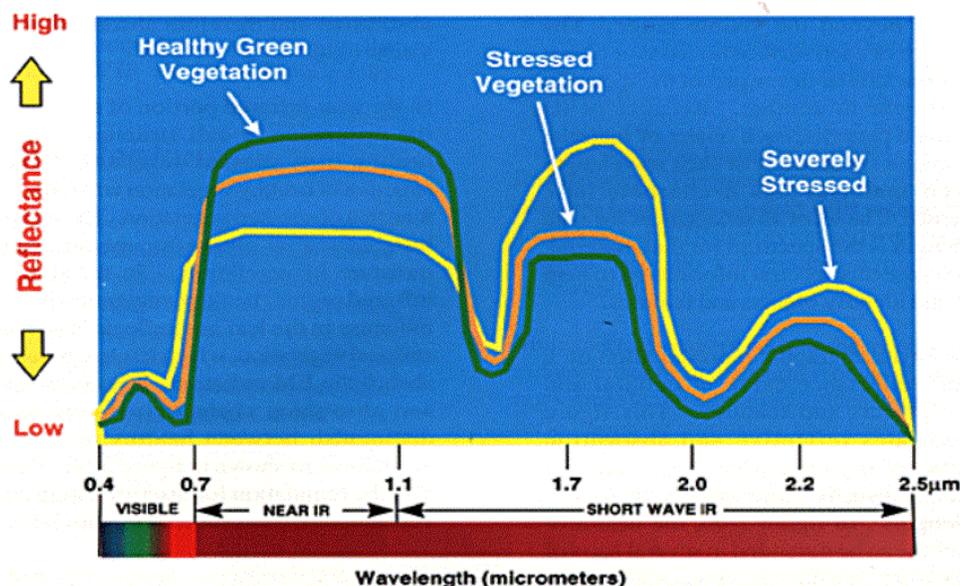


Figura 2: Differenti spettri di riflettanza di vegetazione sottoposta a stress idrico.

Dalla cosiddetta firma spettrale è possibile ricavare informazioni di tipo quantitativo in quanto il comportamento spettrale della vegetazione dipende principalmente da due fattori:

- le caratteristiche chimico/fisiche delle foglie e delle altre componenti della pianta, quali contenuto di clorofilla, struttura cellulare, contenuto idrico;
- l'aggregazione dei singoli elementi (foglie, rami) e la struttura complessiva della pianta (*canopy*), gradi di copertura, quantità di biomassa verde, architettura delle chiome.

Partendo da tali presupposti, semplicemente combinando matematicamente le differenti informazioni derivanti da diverse

lunghezze d'onda riflesse da un medesimo punto, tali letture possono essere comprese in un unico valore. Alcuni dei cosiddetti Indici di Vegetazione ottenuti mediante il processo logico appena descritto, vengono utilizzati dal momento che permettono di amplificare piccole differenze nelle risposte spettrali delle chiome

Uno degli indici di vegetazione maggiormente utilizzati è il cosiddetto NDVI:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

acronimo di *Normalized Difference Vegetation Index*.

I valori di NDVI sono in stretta relazione con lo stato di salute della vegetazione, intesa come biomassa e area fogliare (*Leaf Area Index*), e con i processi biochimici ad essa correlati (attività fotosintetica), dando un'indicazione di quella che viene comunemente chiamata *Photosynthetically Active Biomass* (PAB) (Dobrowski *et al.*, 2002; Gitelson, 2004; Profitt *et al.*, 2006).

Nelle mappe elaborate, valori bassi di NDVI si riscontrano in aree a bassa o assente copertura vegetale, o dove la vegetazione presente è senescente o sofferente, mentre alti valori dell'indice rispecchiano una situazione di forte attività fotosintetica e quindi elevata presenza di biomassa fotosintetizzante.

Uno degli svantaggi di rilievo è rappresentato dalla non linearità degli indici basati sul rapporto tra bande e gli effetti di rumore aggiuntivi, in primo luogo l'influenza del percorso nell'atmosfera, nonostante la normalizzazione dell'indice consenta di attenuare gli

effetti della diversa illuminazione del suolo e della pendenza dei versanti. L'NDVI presenta un andamento non omogeneo al variare della vegetazione, evidenziando problemi di saturazione negli ambienti con biomassa vegetale molto elevata; è inoltre un indice molto sensibile alle variazioni del suolo nell'intorno delle chiome (Huete, 1988).

Per tali motivi, negli ultimi anni sono oggetto di studio alcune tipologie di sensori attivi che, utilizzati in modo prossimale direttamente in vigneto, permettono di ovviare ad alcuni degli svantaggi appena elencati; tali strumenti permettono di ottenere delle informazioni ad alta risoluzione spaziale senza dover effettuare elaborazione a posteriori per diminuire l'interferenza del suolo e della vegetazione interfila o per georiferire correttamente le letture derivanti da rilievi di *remote sensing*; inoltre, trattandosi di sensori attivi, e cioè dotati di una fonte luminosa propria, permettono di operare in ogni condizione di illuminazione, senza differenze percepite nel calcolo degli indici di vegetazione. Per contro, a differenza dei rilievi di tipo remoto, la superficie oraria esplorabile da tali strumenti è ridotta, permettendo di effettuare misurazioni in continuo a velocità comunemente utilizzate dalle macchine trattrici nel corso delle comuni pratiche di gestione: si considera come ottimale l'esecuzione di un rilievo su 20 ha di vigneto al giorno, contro i circa 500 ha di superficie totale osservabili con una sola foto dal satellite IKONOS, ad esempio.

1.4. Scopi della viticoltura sito-specifica.

La viticoltura di precisione (o sito-specifica) ha come obiettivo primario quello di utilizzare informazioni ad elevata risoluzione spaziale per consentire di raccogliere una serie di informazioni legate all'espressione vegetativa ed alle produzioni dei vigneti in modo da rendere possibile l'adozione di modelli decisionali di gestione specifici e finalizzati agli obiettivi che le aziende si prepongono.

Le potenzialità di tali pratiche sono svariate:

- osservazioni alternative alle comuni pratiche di monitoraggio in vigneto;
- miglioramento delle metodiche di campionamento delle uve in vigneto, semplificando notevolmente, ad esempio, l'esecuzione delle curve di maturazione e diminuendo il numero di campioni e di zone significative da considerare;
- strumenti che possono garantire maggiore precisione nella valutazione delle zone omogenee dei vigneti, finalizzata alla costruzione di piani sperimentali complessi a livello di ricerca viticola;
- miglioramento della gestione delle risorse naturali, diminuendo di conseguenza l'impatto ambientale delle pratiche viticole e aumentando la sostenibilità delle produzioni;

- ottimizzazione dell'applicazione degli input, come ad esempio l'irrigazione, l'uso di fertilizzanti e fitofarmaci, fino a consentire un ottimale sfruttamento del parco macchine e della manodopera disponibile;
- consentire, sulla base delle informazioni raccolte, di predisporre vendemmie differenziate in base agli obiettivi enologici e di mercato a cui indirizzare le uve di differente qualità.

1.5. Scopo della ricerca.

Nel corso del triennio 2008-2010 è stata avviata una ricerca patrocinata del consorzio Tuscania, finalizzata alla valutazione della variabilità esistente in vigneto.

Fine ultimo della linea di ricerca in cui il DiProVe è coinvolto è quello di valutare la capacità di una serie di strumenti di nuova concezione, sia di remote che di proximal sensing, di valutare differenti livelli di variabilità (spaziale e temporale) interni al vigneto e tra vigneti di diverse realtà produttive della Toscana.

Inoltre, al fine di aumentare la difformità osservabile in vigneto, è stato considerato un ulteriore livello di variabilità, di seguito chiamato "antropico", ottenuto tramite l'esecuzione di alcune importanti tecniche di gestione della chioma su parcelle prestabilite.

2. Materiali e metodi.

La sperimentazione, della durata triennale (2008-2010), ha riguardato 4 vigneti commerciali (Tabella 1) in 3 zone della Toscana, Chianti classico DOCG, Monteregio di Massa Marittima DOC e Bolgheri DOCG. Sono stati selezionati due vigneti di Sangiovese e due di Cabernet S comparabili tra loro per età, sesto d'impianto (0,8x2 m) e forma d'allevamento (cordone speronato).

Acronimo	Azienda	Comune	Cultivar
Br	Barone Ricasoli	Gaiole in Chianti (SI)	Sangiovese
Ca	Tenuta Le Mortelle	Castiglione d.P. (GR)	Cabernet S.
Co	Tenuta Le Mortelle	Castiglione d.P. (GR)	Sangiovese
Do	Donna Olimpia 1898	Donoratico (LI)	Cabernet S.

Tabella 1: Ubicazione, Nome e varietà coltivate nei vigneti oggetto di sperimentazione.

Su tali vigneti, grazie a pregresse immagini aeree, è stato possibile distinguere differenti zone omogenee per vigore (chiamate BLOCCHI) su ognuna delle quali si è proceduto alla determinazione delle parcelle sperimentali, combinando differenti pratiche agronomiche, come riassunto in Figura 3:

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

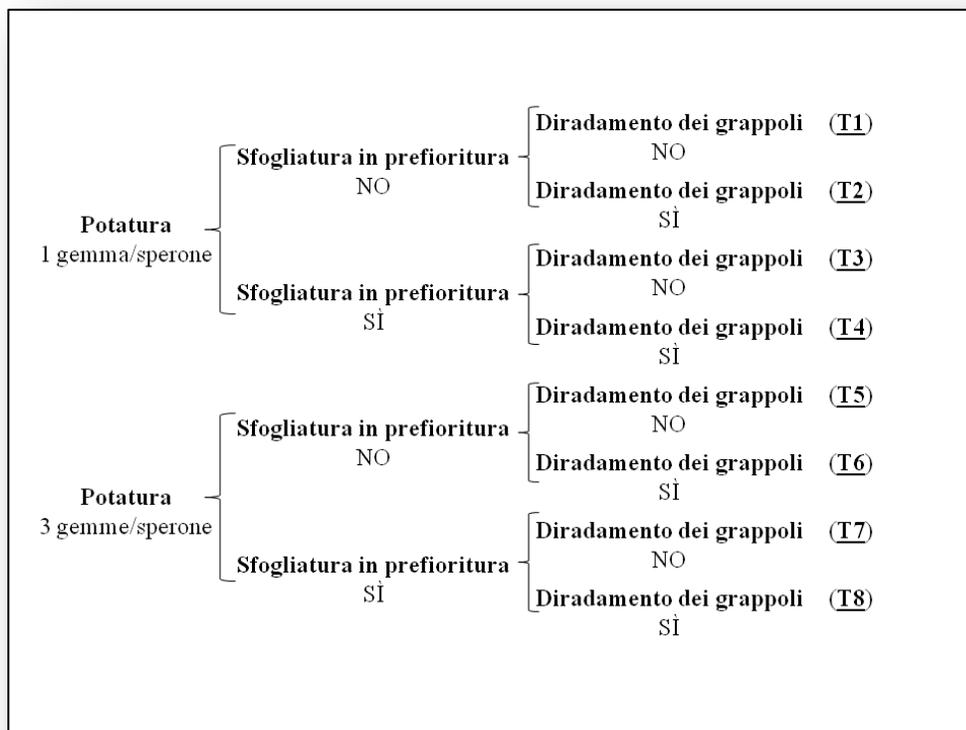


Figura 3: Metodica utilizzata per l'ottenimento delle parcelle sperimentali mediante l'adozione di alcune pratiche di gestione.

La combinazione di questi trattamenti ha dato origine a 4 parcelle per ogni blocco (Figura 4).

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.



Figura 4: Applicazione del piano sperimentale al vigneto di Brolio.

Per i 3 anni di sperimentazione sono stati svolti rilievi di tipo manuale e strumentale in tre periodi prestabiliti della stagione: metà di giugno (piena fioritura), metà luglio (pre-invaiatura), metà agosto (tra invaiatura e maturazione). I motivi della scelta di tali periodi sono da ricercarsi nel ciclo vegetativo e riproduttivo annuale della vite, come mostrato in Figura 5.

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

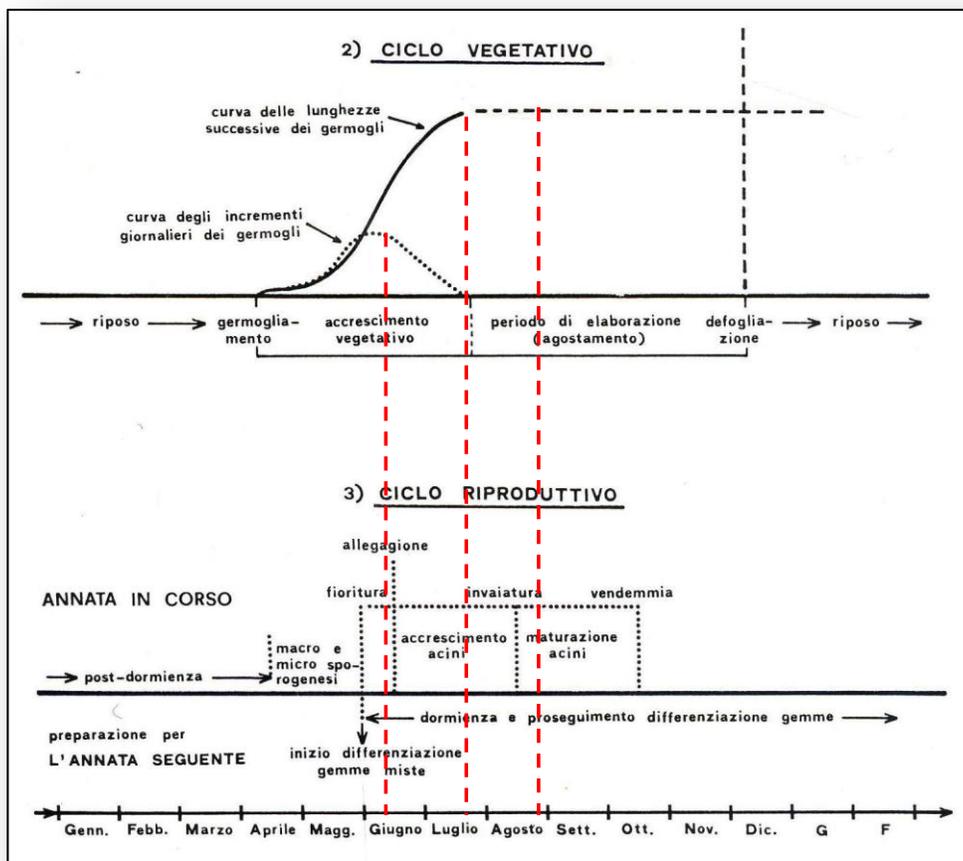


Figura 5: Ciclo annuale della vite, distinto in vegetativo e riproduttivo (da Fregoni, 1998).

Infatti, nel periodo intercorrente tra fioritura ed allegazione si registra il massimo tasso di accrescimento giornaliero dei germogli, determinando così le potenzialità vegetative e produttive delle piante; nel periodo tra allegazione ed invaiatura si può osservare come la curva di accrescimento dei germogli raggiunga un *plateau*, per cui da tale momento in avanti si potrà monitorare la vegetazione

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

completamente formata; infine, in fase di maturazione degli acini è possibile osservare il comportamento della vegetazione completamente formata a fronte di processi maturativi sempre più importanti e di insorgenza di eventuali stress abiotici, tipici dei mesi più caldi dell'anno.

2.1. Rilievi strumentali.

I rilievi strumentali hanno seguito le seguenti metodiche:

- acquisizione di valori di NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) in continuo lungo i filari e per l'intera estensione dei vigneti per mezzo di una coppia di sensori ottici commerciali montati su mezzo mobile attrezzato con DGPS e PC industriale;
- acquisizione di valori di spessore della chioma (CT, *Canopy Thickness*) in continuo lungo i filari e per l'intera estensione dei vigneti, tramite due coppie di sensori ad ultrasuoni montate, rispettivamente, a livello della fascia produttiva ed a metà della spalliera.

Per quanto riguarda l'attrezzatura utilizzata per tali tipologie di indagine, in Figura 6 è mostrato il mezzo mobile approntato per la prova e dotato di sensoristica, GPS differenziale e PC industriale *touchscreen*.

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.



Figura 6: Quad attrezzato per l'esecuzione dei rilievi in vigneto: lungo l'asta verticale sono stati posizionati i differenti sensori adottati per la prova ed alla sua sommità l'antenna del GPS differenziale.

I sensori ottici utilizzati sono dei sensori commerciali (GreenSeeker®, NTech Industries) operanti nel rosso e nel vicino

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

infrarosso ed in grado di effettuare letture di NDVI. Le caratteristiche fondamentali di tali strumenti sono riportate in Figura 7.

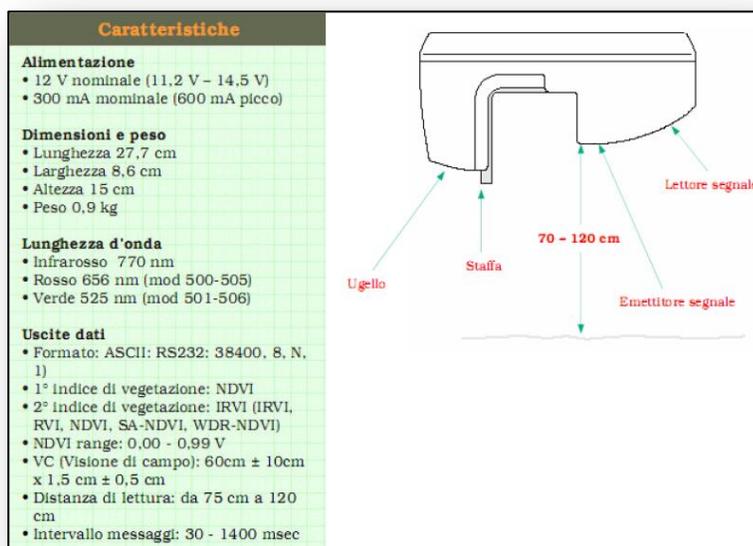


Figura 7: Principali caratteristiche dei sensori ottici utilizzati.

L'utilizzo di una coppia di sensori permette di monitorare contemporaneamente i due lati della cortina e consente, quindi, di evitare di compiere l'osservazione su tutti i filari, ma saltando un interfila. La lettura sulla parete avviene grazie ad una lama di luce attivamente prodotta dal sensore che interessa una fascia di vegetazione di circa 70 cm (Figura 8).

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

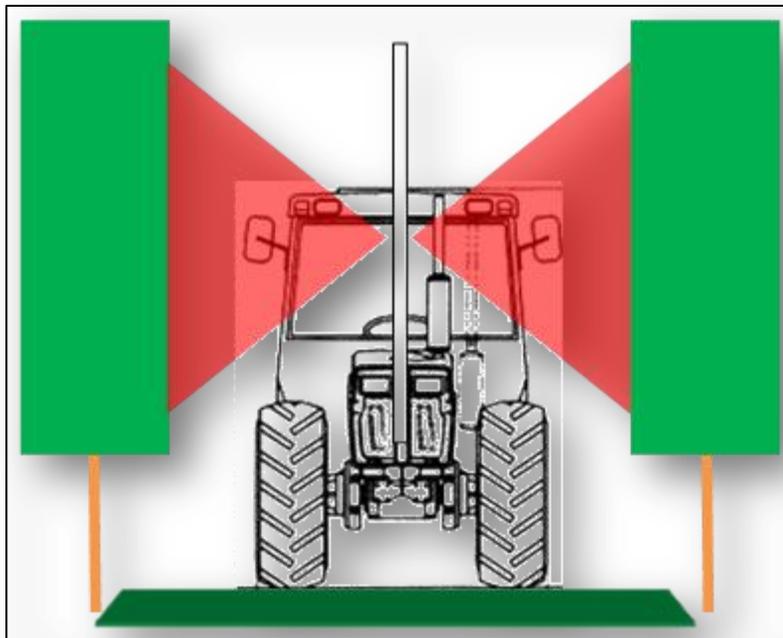


Figura 8: Modalità di esecuzione del rilievo con una coppia di GreenSeeker®.

Per quanto riguarda gli ultrasuoni sono stati utilizzati dei sensori elettrostatici (Jameco Part N.134105, Senix Corp., USA) con range di lettura tra i 15 ed i 160 cm circa, una frequenza di acquisizione dei dati di 50kHz.

I sensori a ultrasuoni consentono di rilevare la distanza tra una superficie bersaglio e il punto di misura. Il loro principio di funzionamento si basa sulla misura del tempo che intercorre fra l'emissione di brevi impulsi acustici ad alta frequenza (50 - 200kHz) e la ricezione dell'onda riflessa dalla superficie bersaglio. Un circuito

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

di condizionamento, incorporato nel sensore stesso, produce un segnale di uscita in tensione proporzionale alla distanza rilevata.

Il dato restituito dai sensori ad ultrasuoni ha richiesto una fase di *post-processing*, durante la quale il segnale dell'ultrasuono è stato trasformato in cm di spessore della parete (*Canopy Thickness*, di seguito abbreviato in CT) come mostrato in Figura 9.

Al fine di determinare lo spessore S della chioma lungo i filari, devono essere considerate le misure condotte sulle due facce opposte della parete vegetale. Con l'ausilio delle coordinate GPS, pertanto, sono stati messi in corrispondenza i dati registrati nel medesimo punto x di un dato filare, durante due passate contigue del trattore. Per le due altezze da terra considerate, disponendo delle misure $d_A(x)$ e $d_B(x)$ rilevate sulle due facce della parete, lo spessore $S(x)$ della chioma è determinato da:

$$S(x) = IF - [d_A(x) + d_B(x)]$$

dove IF è la distanza tra le file.

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

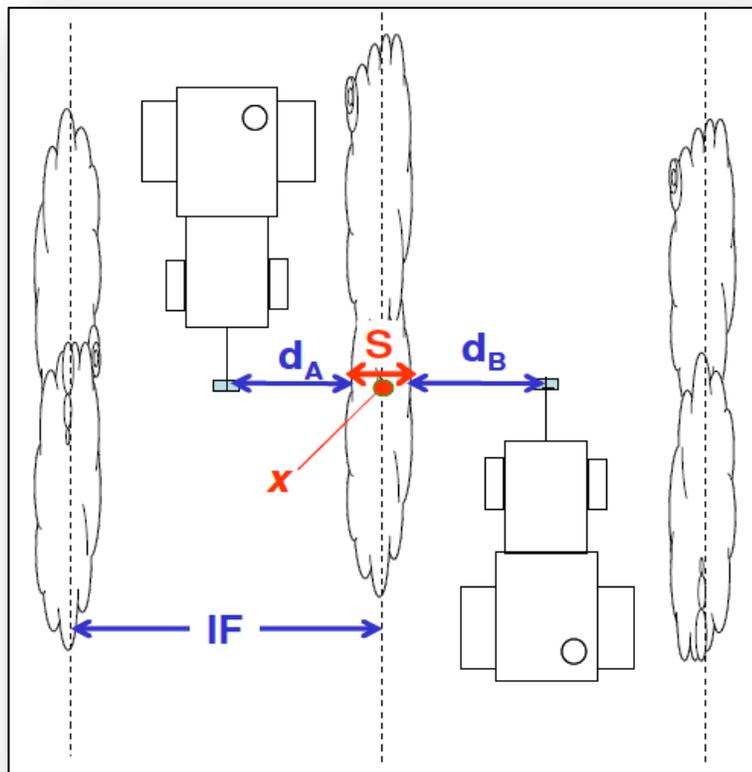


Figura 9: Determinazione dello spessore delle chiome partendo dal dato grezzo degli ultrasuoni.

Tali sensori, sono stati montati a coppie contrapposte, posizionate rispettivamente a livello della fascia produttiva, a metà parete vegetale e nell'ultimo terzo di parete (dal 2009 tale rilievo è stato omesso).

I rilievi con i sensori ad ultrasuoni sono stati effettuati per tutti i 3 anni di sperimentazione ma, diversamente dai primi due anni, nel 2010 non è stato possibile ottenere dei dati attendibili a causa di

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

problemi hardware che si sono presentati in più riprese nel corso della prova, negando la possibilità di avere per ogni vigneto e per ogni data di campionamento, un dataset completo e confrontabile con gli anni precedenti.

2.2. Rilievi manuali.

Contemporaneamente ai rilievi strumentali, sono state effettuate indagini conoscitive volte alla determinazione ed allo studio con logiche analoghe a quelle del precedente anno e, nello specifico:

- determinazione dell'architettura delle chiome tramite l'esecuzione di un Point Quadrat su 4 metri continui di filare (5 piante), a livello della fascia produttiva, nella zona mediana e nella zona alta della spalliera; tali rilievi permettono di ottenere informazioni dettagliate riguardanti la conformazione delle chiome, l'eventuale presenza di buchi di vegetazione, determinare il numero di strati fogliari che le compongono, in modo da valutare la capacità di utilizzo delle risorse radiative da parte delle canopy e l'eventuale determinazione di particolari microclimi a livello di chioma;
- misurazione della superficie fogliare totale per pianta:
 - 2008: creazione di una silhouette della foglia media attraverso fotografie di germogli rappresentativi e delle relative femminelle, ove presenti, sottoposta ad analisi fillometrica con software SigmaScan Pro 4. Partendo da tale "foglia tipo" ed attraverso la conta dei germogli e dei

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

nodi delle piante campionate, si è risaliti alla superficie fogliare totale per pianta;

- 2009: a differenza del precedente anno, tale informazione è stata rilevata prelevando 10 tralci significativi da ogni vigneto e per ogni campagna di acquisizione dei dati. Su tale materiale si è proceduto alla conta del numero di nodi sull'asse principale e sulle eventuali femminelle presenti. Le foglie, staccate dal germoglio e private del picciolo, sono state contate e pesate e, da esse, sono stati prelevati dischetti di diametro fisso (1,1 cm), a loro volta pesati. Tramite semplice proporzione, si è giunti alla superficie della foglia "tipo" per ogni vigneto e per ogni data considerata. Applicando tale superficie al numero medio di nodi ed al numero di germogli presenti su ognuna delle 5 piante selezionate per i rilievi manuali, si è ottenuta la superficie fogliare totale per pianta; la metodica utilizzata il precedente anno, che consisteva nell'effettuare delle fotografie con riferimento centimetrico relative alle foglie di un numero significativo di germogli, si è rivelata di difficile applicabilità a causa di difficoltà oggettive nell'ottenere in aperta campagna immagini che non presentassero ombre o sovrapposizioni di foglie, caso in cui sussisteva un problema di processamento delle immagini con il software utilizzato;

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

- 2010: per ogni vigneto e durante ognuna delle tre campagne di acquisizione dei dati, sono stati prelevati 10 germogli rappresentativi delle tesi sfogliate ed altrettanti per le tesi non sottoposte a defogliazione, sui quali si è proceduto alla stesura delle singole foglie su carta da filtro, per permettere la completa distensione delle lamine; in seguito, le foglie di ogni germoglio sono state fotografate ad alta risoluzione con riferimento decimetrico (un esempio è riportato in Figura 10). Le immagini così ottenute sono state analizzate per mezzo di software fillometrico (basato su SigmaScan Pro 4), grazie al quale è stato possibile definire la superficie fogliare del singolo germoglio. Moltiplicando tale valore per il numero di germogli delle piante campionate, si è risaliti alla stima della loro superficie fogliare totale.

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.



Figura 10: Esempio di fotografia digitale con riferimento decimetrico utilizzata per la stima della superficie fogliare di ogni germoglio campionato.

- esecuzione di rilievi vendemmiali sulle piante soggette al campionamento (2009-2010), consistenti nella determinazione del numero di grappoli, della produzione per ogni ceppo e nella raccolta di campioni di mosto destinati ad analisi per la rilevazione dei solidi solubili, del pH e dell'acidità titolabile.
- determinazione della biomassa prodotta nel corso dell'anno tramite pesate del legno di risulta della potatura (2008 e 2009); da tale rilievo, oltre al peso del legno per ceppo, si ricavano una serie di indici vegeto-produttivi di interesse, come l'indice di Ravaz, di Espressione Vegetativa ed il rapporto tra biomassa e legno di potatura

I dati raccolti sono stati sottoposti ad analisi statistica, tramite pacchetto statistico SPSS 18.2 e geostatistica, avvalendosi di

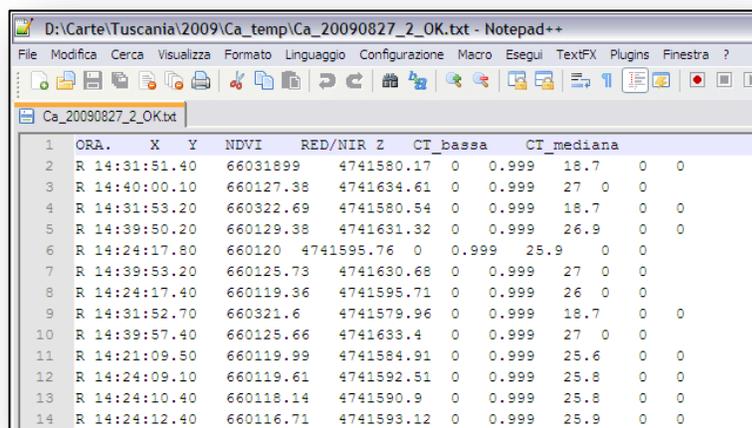
2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

software specifici quali Vesper®, Surfer®, SAGAGis, ArcView®, Qgis®.

2.3. Analisi geostatistica e statistica.

I dati derivati dai rilievi strumentali, forniti dal sistema sotto forma di file shp (*shape file*) e contenenti dati puntuali georiferiti ogni 30 cm di distanza lungo la fila, sono stati ripuliti dalle svolte effettuate dal mezzo mobile, per una maggior accuratezza delle elaborazioni successive.

In un secondo momento, tali file, la cui struttura è riportata in Figura 11, sono stati sottoposti ad un'interpolazione con metodo locale in cui si è utilizzato come stimatore l'inverso del quadrato della distanza. Il risultato è stato l'ottenimento di mappe di indici di vegetazione.



	ORA.	X	Y	NDVI	RED/NIR Z	CT_bassa	CT_mediana		
1	R 14:31:51.40	66031899	4741580.17	0	0.999	18.7	0	0	
2	R 14:40:00.10	660127.38	4741634.61	0	0.999	27	0	0	
3	R 14:31:53.20	660322.69	4741580.54	0	0.999	18.7	0	0	
4	R 14:39:50.20	660129.38	4741631.32	0	0.999	26.9	0	0	
5	R 14:24:17.80	660120	4741595.76	0	0.999	25.9	0	0	
6	R 14:39:53.20	660125.73	4741630.68	0	0.999	27	0	0	
7	R 14:24:17.40	660119.36	4741595.71	0	0.999	26	0	0	
8	R 14:31:52.70	660321.6	4741579.96	0	0.999	18.7	0	0	
9	R 14:39:57.40	660125.66	4741633.4	0	0.999	27	0	0	
10	R 14:21:09.50	660119.99	4741584.91	0	0.999	25.6	0	0	
11	R 14:24:09.10	660119.61	4741592.51	0	0.999	25.8	0	0	
12	R 14:24:10.40	660118.14	4741590.9	0	0.999	25.8	0	0	
13	R 14:24:12.40	660116.71	4741593.12	0	0.999	25.9	0	0	
14									

Figura 11: Esempio di dato rilevato dagli strumenti utilizzati.

2. Materiali e metodi. Linea di ricerca A.2.

Per quanto concerne l'analisi statistica effettuata sia a livello di singole piante che di medie per parcella, si è proceduto ad un'analisi delle correlazioni bivariate tra i dati rilevati manualmente e quelli strumentali e, in secondo luogo, ad un'analisi della varianza multivariata, utilizzando il modello proposto dal prof. Stefano Benedettelli - CERA - Università di Firenze (Tabella 2).

MODELLO
Anno
Vigneto
Blocco*Vigneto
Mese
Potatura
Sfogliatura

Tabella 2: Modello proposto per l'analisi della varianza multivariata.

3. Risultati e discussione.

3.1. Analisi delle correlazioni bivariate.

La prima elaborazione svolta con i valori per pianta di NDVI e CT di tutti gli anni, estratti dai dati rilevati dai sensori è stata una serie di analisi delle correlazioni bivariate, finalizzata alla verifica della validità degli indici utilizzati: come da bibliografia, infatti, l'NDVI è una lettura di biomassa fotosinteticamente attiva e per tale motivo mostra delle buone correlazioni con le superfici fogliari delle piante indagate (Tabella 3); è necessario sottolineare che tutta l'analisi che verrà effettuata relativamente all'NDVI considererà le due cultivar separatamente, a causa della differente impronta spettrale che esse presentano e, pertanto, dei valori di NDVI non comparabili tra loro.

Correlazioni^{a, b}

Varietà			Superficie fogliare tot. (m ²)
Cabernet S.	NDVI	Correlazione di Pearson	,320**
		Sig. (2-code)	,000
Sangiovese	NDVI	Correlazione di Pearson	,365**
		Sig. (2-code)	,000

** . La correlazione è significativa al livello 0,01 (2-code).

a. Varietà=Cabernet S.,;Listwise N=194

b. Varietà=Sangiovese.,;Listwise N=269

Tabella 3: Correlazione bivariata tra i valori di NDVI misurati e la superficie fogliare stimata.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Da tale preliminare analisi si nota come vi sia una correlazione altamente significativa sia per il Cabernet S. che per il Sangiovese; i valori del coefficiente di correlazione di Pearson testimoniano, come già più volte anticipato nella sezione introduttiva, la natura quantitativa e qualitativa dell'indice vegetazionale utilizzato: si tratta al contempo di una quantità di biomassa e di una capacità fotosintetica e le due informazioni non sono distinguibili tra loro.

Analizzando più approfonditamente tali relazioni, sono state svolte delle analisi della regressione tra superficie fogliare ed NDVI distinte nei differenti periodi di rilievo di tutti i 3 anni. Nel caso del Sangiovese le regressioni, altamente significative, presentano alti valori di R^2 , a dimostrazione che, nei singoli periodi di rilevamento, vi sia un buon *fitting* tra le misurazioni effettuate (Figura 12, 13 e 14).

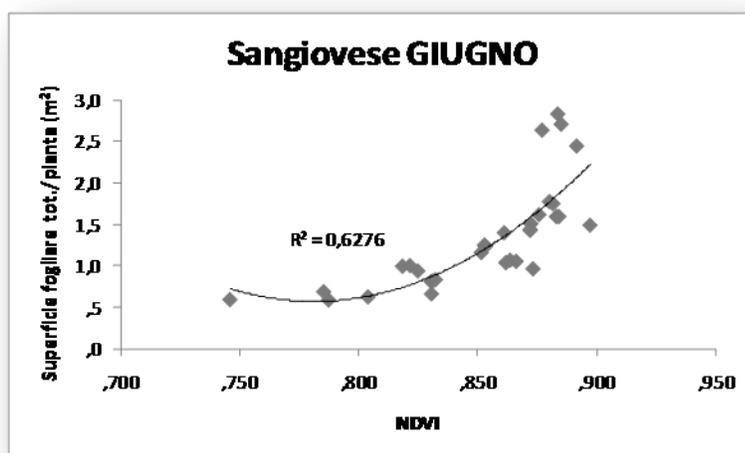


Figura 12: Grafico a dispersione tra NDVI e Superficie fogliare per ceppo in Sangiovese nei rilievi di giugno.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

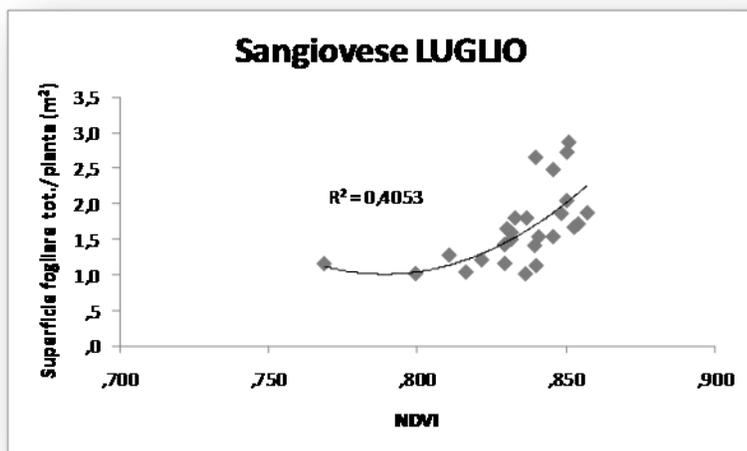


Figura 13: Grafico a dispersione tra NDVI e superficie fogliare/pianta in Sangiovese nei rilievi di luglio.

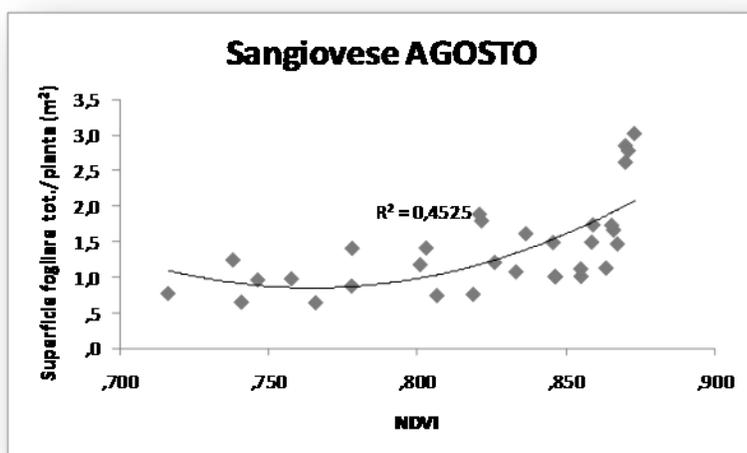


Figura 14: Grafico a dispersione tra NDVI e superficie fogliare/pianta in Sangiovese ad agosto.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

La non linearità delle curve di regressione testimonia ulteriormente quanto poc'anzi affermato, e cioè la natura quanti-qualitativa dell'informazione fornita dal NDVI.

Un approccio analogo è stato utilizzato per il Cabernet S., di cui si riportano in Figura 15,16 e 17 i grafici a dispersione elaborati.

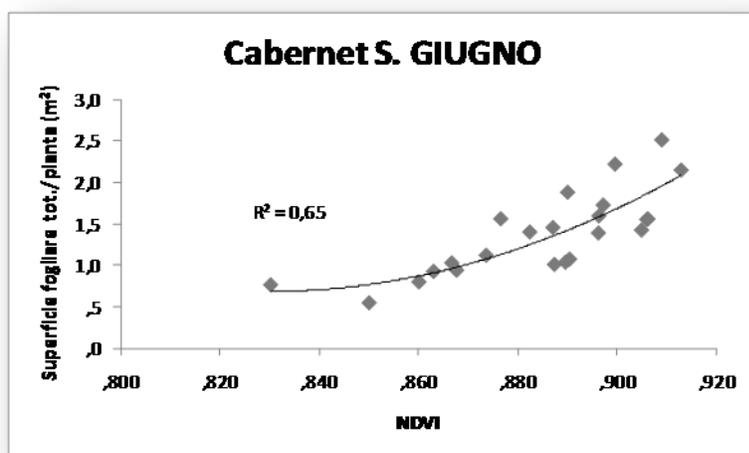


Figura 15: Regressione tra le variabili NDVI e superficie fogliare/ceppo in Cabernet S. a giugno.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

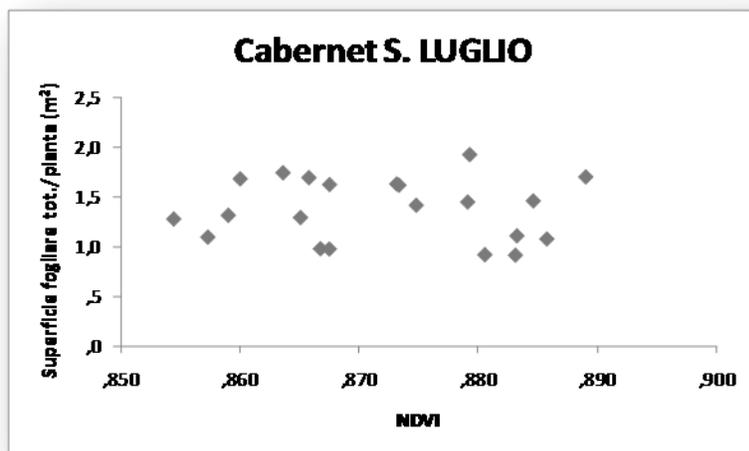


Figura 16: Grafico a dispersione tra NDVI e superficie fogliare/pianta in Cabernet S. a luglio.

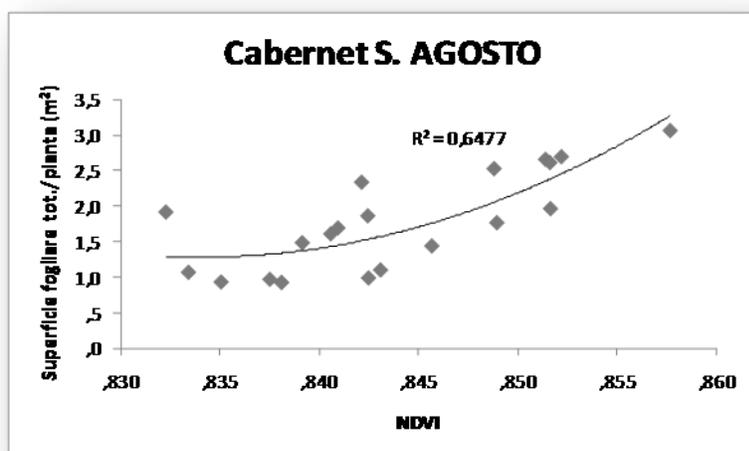


Figura 17: Grafico a dispersione relativo alla relazione tra NDVI e superficie fogliare/pianta in Cabernet S. nel rilievo di agosto.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Nel caso della cultivar “internazionale” si può osservare come, a fronte di regressioni altamente significative e con valori di R² interessanti nei mesi di giugno ed agosto, nel rilievo di luglio si assista ad una completa mancanza di relazione tra l’NDVI e la superficie fogliare stimata/pianta: la spiegazione di tale comportamento è da ricercarsi nel fatto, mostrato in seguito, che nel corso di tale rilievo i vigneti di Cabernet S. hanno mostrato una generale omogeneità delle espressioni vegetative ed una sorta di appiattimento della variabilità riscontrabile.

Differente ragionamento può essere effettuato per quanto concerne le letture di *Canopy Thickness*, la quale, essendo un’informazione di spessore e quindi puramente quantitativa, mostra delle correlazioni bivariate con gli strati fogliari misurati con coefficienti di Pearson alti (Tabella 4).

Correlazioni			Media Strati Fogliari fascia bassa	Media Strati Fogliari fascia mediana
Cabernet S.	Media CT fascia bassa	Correlazione di Pearson	,601**	,462**
		Sig. (2-code)	,000	,001
	Media CT fascia mediana	Correlazione di Pearson	,106	,610**
		Sig. (2-code)	,474	,000
		N	48	48
Sangiovese	Media CT fascia bassa	Correlazione di Pearson	,816**	,254*
		Sig. (2-code)	,000	,043
	Media CT fascia mediana	Correlazione di Pearson	,134	,721**
		Sig. (2-code)	,291	,000
		N	64	64

Tabella 4: Correlazione bivariata tra CT e Strati Fogliari misurati con la tecnica del Point Quadrat.

Tale analisi è stata distinta per fascia di osservazione e si evince come lo spessore delle chiome dia un’idea molto precisa del numero di strati fogliari che compongono la chioma, informazione questa

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

ritenuta di fondamentale importanza per un'ottimale architettura e capacità di intercettazione luminosa delle pareti vegetali (Smart e Robinson, 1991).

3.2. Mappe di NDVI.

Una volta valutata la correttezza delle informazioni fornite dai rilievi strumentali, attraverso un'analisi geostatistica sono state prodotte mappe di NDVI e per ogni anno di sperimentazione, vigneto e rilievo.

Nelle figure da 18 a 20 sono riportate le mappe di NDVI relative al vigneto di Brolio, dalla 21 alla 23 del vigneto Cortigliano, la 24 di Cacciagrande e dalla 25 alla 27 del vigneto Donna Olimpia.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

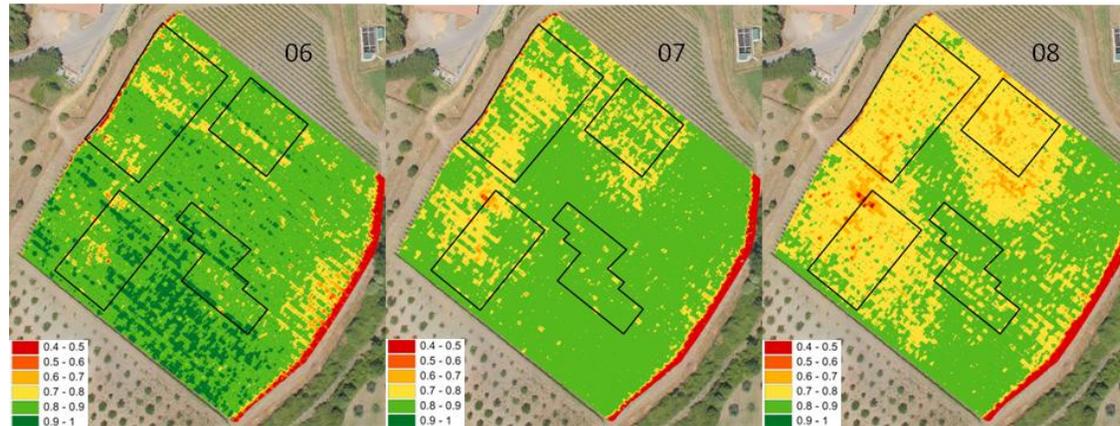


Figura 18: Mappe di NDVI del vigneto di Br a giugno, luglio ed agosto 2008.

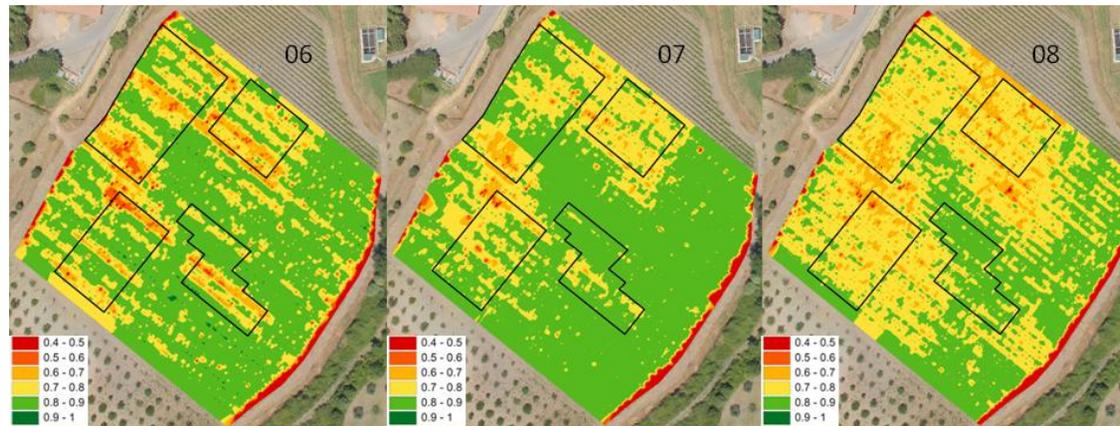


Figura 19: Mappe di NDVI del vigneto di Br nell'anno 2009.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.



Figura 20: Mappe di NDVI del vigneto Br nel 2010.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.



Figura 21: Mappe di NDVI del vigneto Co nel 2008.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.



Figura 22: Mappe di NDVI relative al vigneto Co nel 2009.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

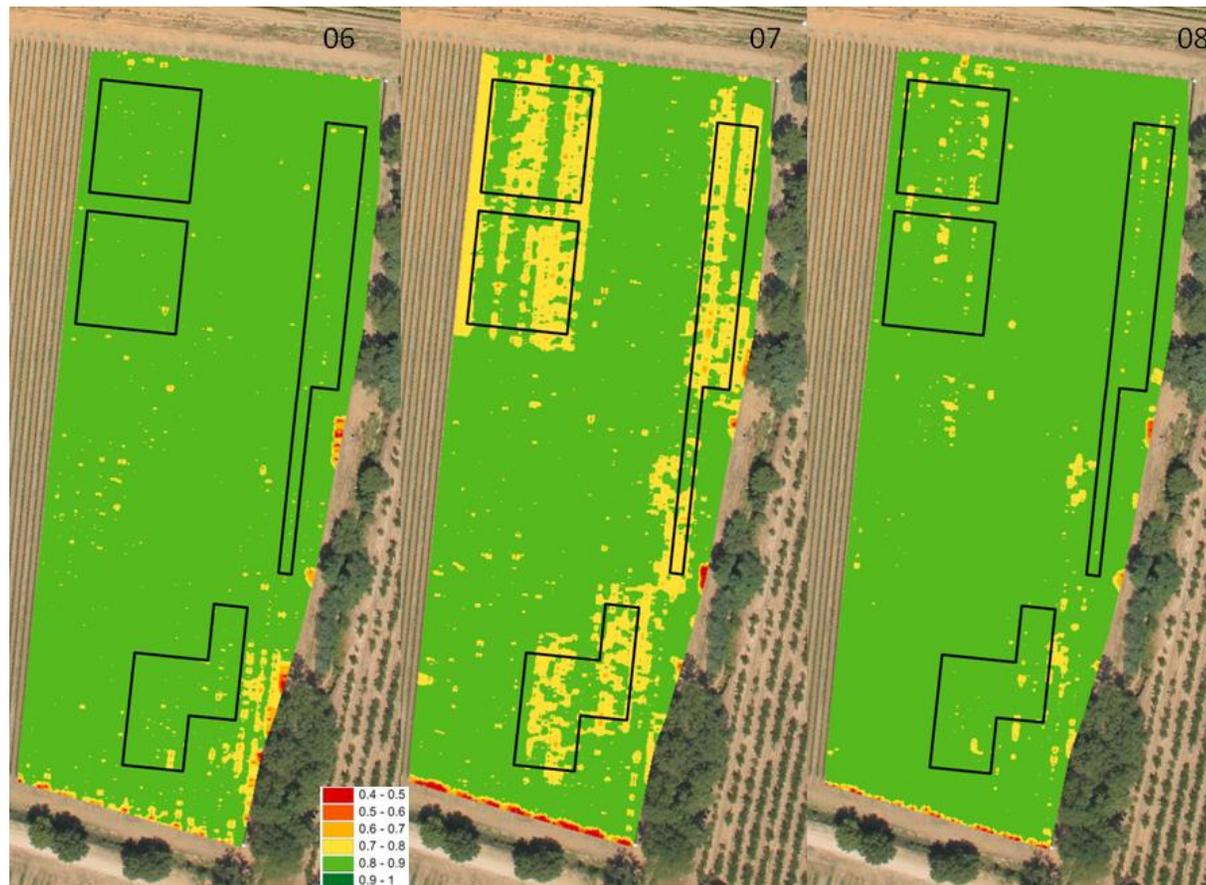


Figura 23: Mappe di NDVI del 2010 per il vigneto Co.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

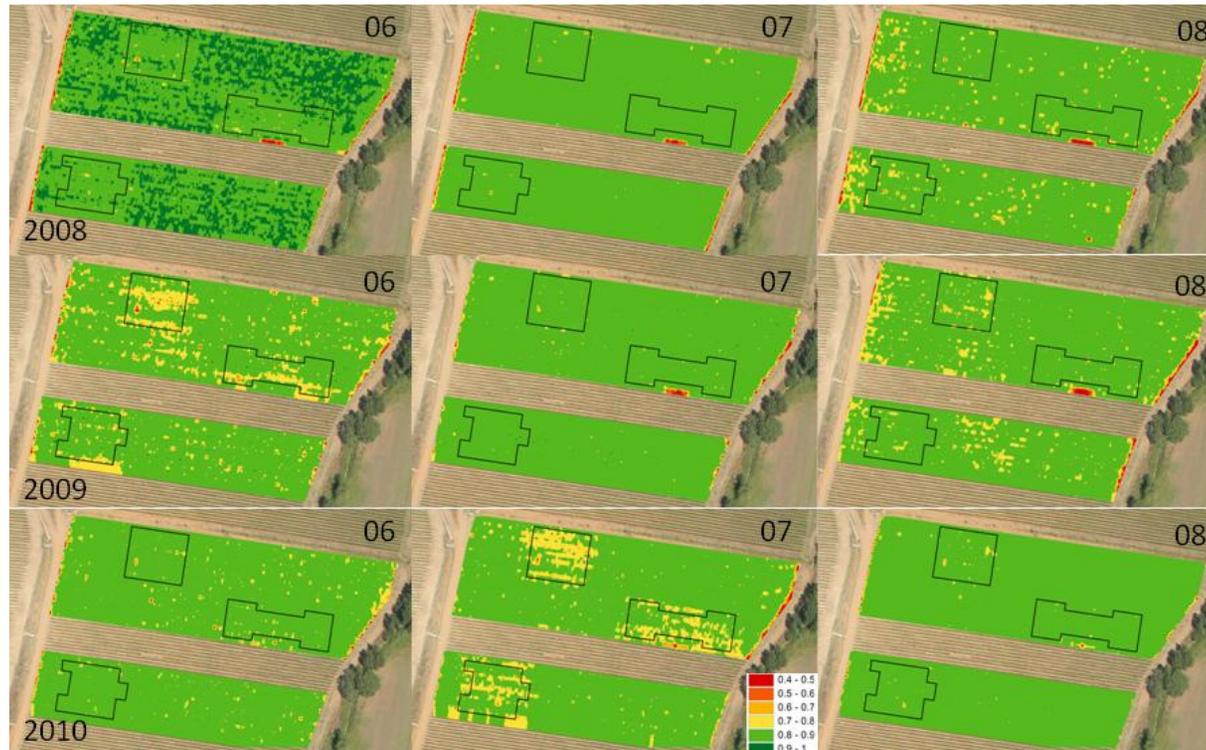


Figura 24: Mappe di NDVI per il vigneto Ca nei 3 anni e nei differenti periodi.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

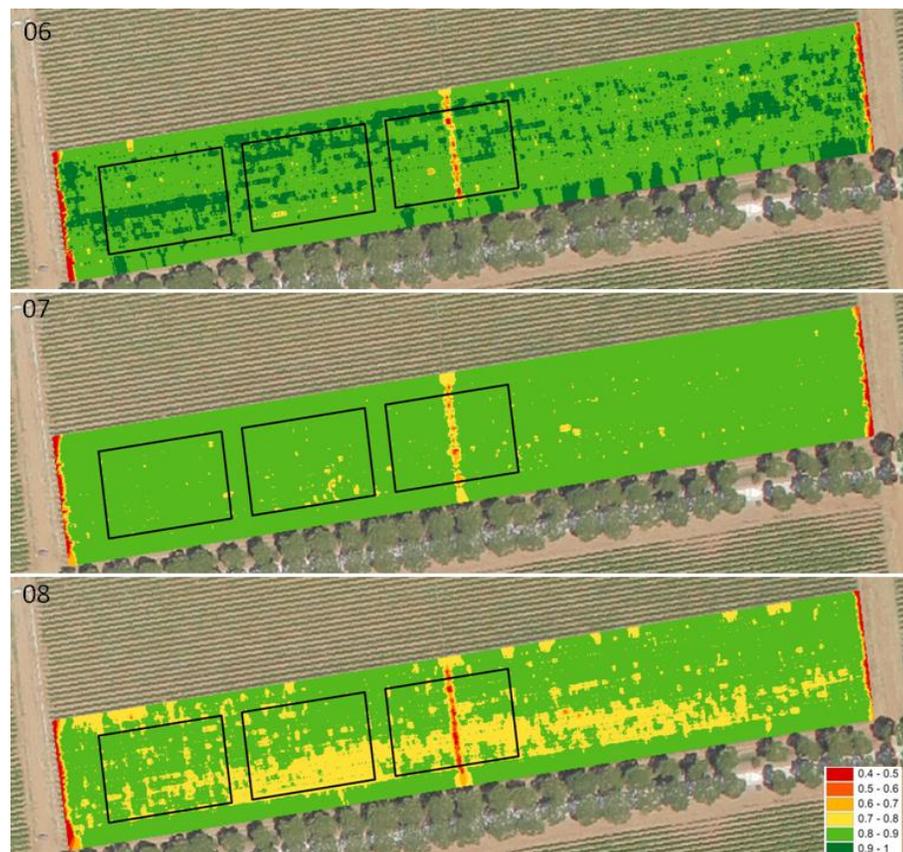


Figura 25: Mappe di NDVI relative al vigneto Do nel 2008.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

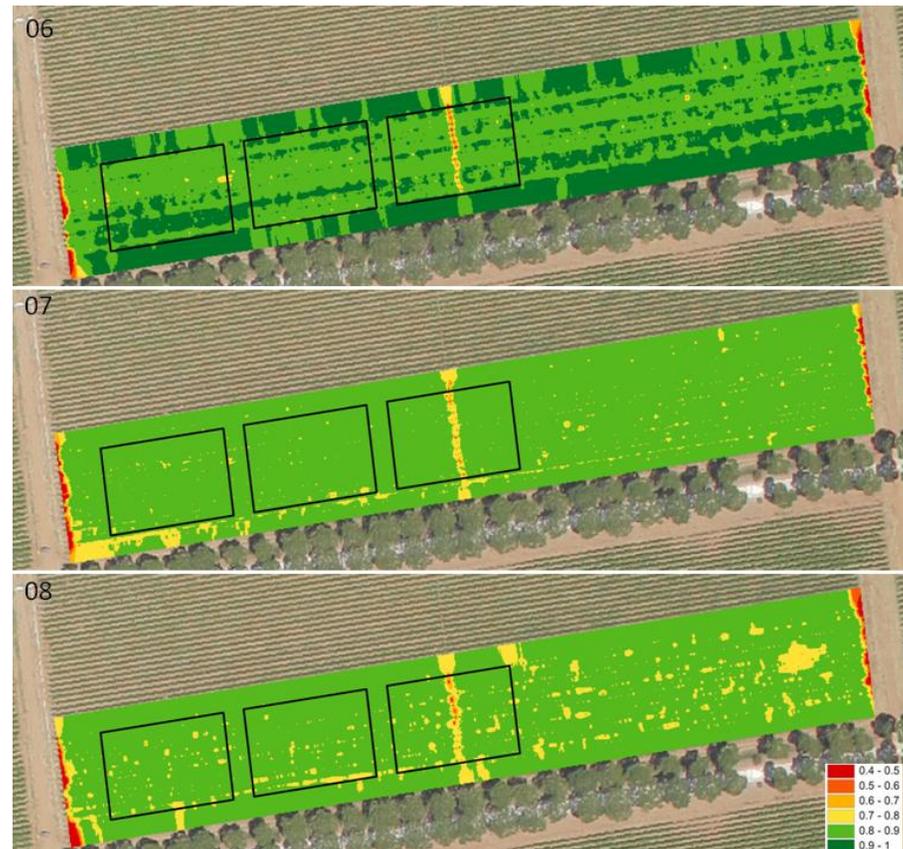


Figura 26: Mappe di NDVI del vigneto Do del 2009.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

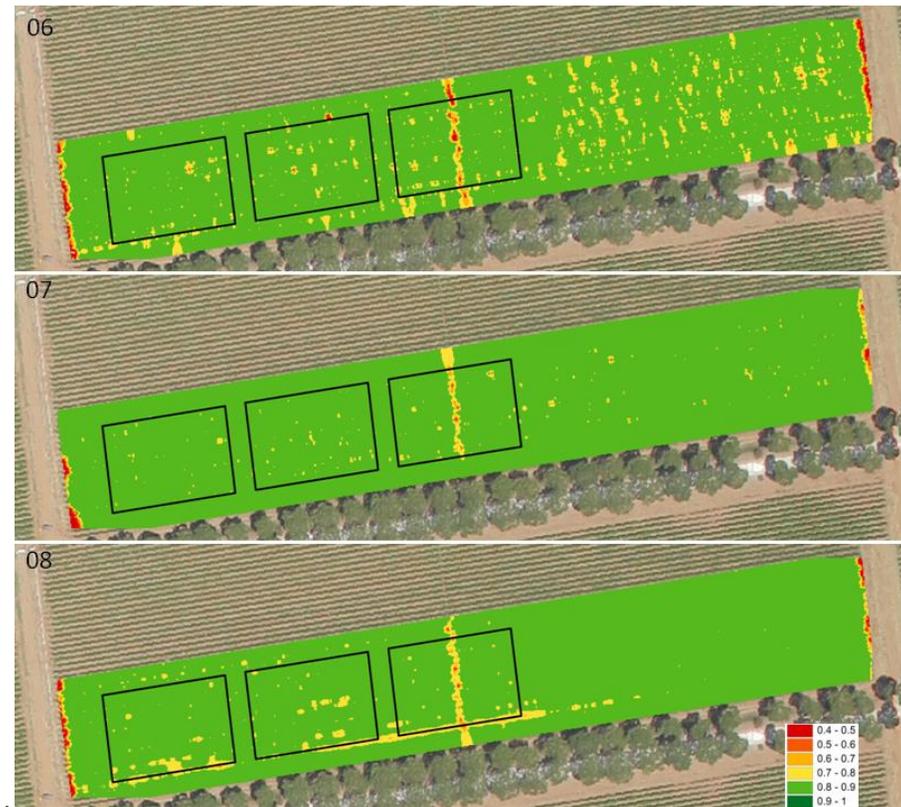


Figura 27: Mappe di NDVI del vigneto Do nel 2010.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Come si può osservare dalle mappe di NDVI presentate, nei vigneti oggetto di studio sono evidenti i differenti gradi di variabilità riscontrabili: si noti vi siano differenze apprezzabili tra gli anni, all'interno dello stesso anno tra i diversi mesi, e, per singolo rilievo, vi sia una ben definita variabilità spaziale. Dalle mappe emerge chiaramente come quanto appena detto valga maggiormente per i vigneti a Sangiovese che per quelli di Cabernet S., tale differenza è da ricercare nelle caratteristiche dei due vitigni, il primo molto legato al territorio di coltivazione e sensibile ai cambiamenti pedoclimatici, il secondo definito "ubiquitario", cioè con risposte vegeto-produttive più elastiche e meno influenzate dall'ambiente di coltivazione.

Le differenze di NDVI che si riscontrano nei rilievi di giugno dei differenti anni, sono, a nostro avviso, imputabili alla tempistica con cui è stato eseguito il rilievo: la scelta della data di acquisizione è stata effettuata in modo da ottenere dati contemporanei, e quindi paragonabili, con gli altri gruppi di ricerca; in particolare, il vincolo più forte era rappresentato dalla necessità del capofila (Ibimet CNR) di pianificare con largo anticipo il volo aereo di sua competenza. Ciò ha determinato un'esecuzione dei rilievi "a calendario", mentre sarebbe stata ottimale una pianificazione su base fenologica, ripetendo nel corso degli anni l'osservazione a prescindere dalla data, ma disponendo di piante nelle stesse condizioni fenologiche e, di conseguenza, fisiologicamente comparabili.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Osservando le mappe presentate, con particolare riferimento ai rilievi di giugno, è possibile notare come vi siano zone a differente NDVI lungo i filari: come verrà sottolineato in seguito, tali differenze sono imputabili ai trattamenti agronomici effettuati per la determinazione delle parcelle.

3.3. Analisi della varianza.

Partendo da tali analisi preliminari, si è proceduto ad un'analisi della varianza multivariata, per quanto riguarda la variabile dipendente CT fascia bassa e CT fascia mediana, ed una variata, relativamente alla variabile dipendente NDVI. Il modello utilizzato è quello riportato nella sezione Materiali e Metodi.

Tali analisi della varianza sono state svolte separatamente per varietà, per le motivazioni addotte in precedenza.

In Tabella 5 è riportata l'ANOVA multivariata relativa alle variabili dipendenti CT per il Cabernet S.

Si noti come vi sia un effetto altamente significativo dei fattori facenti parte del modello utilizzato, ad eccezione della potatura per la variabile CT fascia mediana: ciò sta ad indicare come, nel caso del Cabernet S., i rilievi effettuati con i sensori ad ultrasuoni siano sufficientemente sensibili alle condizioni riscontrabili in vigneto e riescano a descrivere esaurientemente le differenti fonti di variabilità presenti nel piano sperimentale.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Test degli effetti fra soggetti^a

Sorgente	Variabile dipendente	Somma dei quadrati Tipo III	df	Media dei quadrati	F	Sig.
Modello corretto	CT fascia bassa	2,545E6	10	254477,969	937,500	,000
	CT fascia mediana	3,058E6	10	305833,372	1383,286	,000
Intercetta	CT fascia bassa	2,960E7	1	2,960E7	109064,866	,000
	CT fascia mediana	4,023E7	1	4,023E7	181967,000	,000
Anno	CT fascia bassa	180782,342	1	180782,342	666,005	,000
	CT fascia mediana	1160891,969	1	1160891,969	5250,719	,000
ID_VIGNETO	CT fascia bassa	1690615,237	1	1690615,237	6228,250	,000
	CT fascia mediana	1869972,940	1	1869972,940	8457,895	,000
BLOCCO * ID_VIGNETO	CT fascia bassa	30689,590	4	7672,397	28,265	,000
	CT fascia mediana	21971,688	4	5492,922	24,845	,000
Mese	CT fascia bassa	45067,186	2	22533,593	83,014	,000
	CT fascia mediana	174969,006	2	87484,503	395,693	,000
Sfogliatura	CT fascia bassa	625826,750	1	625826,750	2305,554	,000
	CT fascia mediana	2015,120	1	2015,120	9,114	,003
Potatura	CT fascia bassa	13124,556	1	13124,556	48,351	,000
	CT fascia mediana	788,445	1	788,445	3,566	,059
Errore	CT fascia bassa	5860184,099	21589	271,443		
	CT fascia mediana	4773155,081	21589	221,092		
Totale	CT fascia bassa	4,875E7	21600			
	CT fascia mediana	6,541E7	21600			
Totale corretto	CT fascia bassa	8404963,786	21599			
	CT fascia mediana	7831488,796	21599			

a. R quadrato = ,303 (R quadrato corretto = ,302)

b. R quadrato = ,391 (R quadrato corretto = ,390)

c. Varietà = Cabernet S.

Tabella 5: Analisi della varianza multivariata per le variabili dipendenti CT nella cultivar Cabernet S.

Analoghe considerazioni possono effettuarsi per la medesima analisi svolta con la cultivar Sangiovese (Tabella 6). In questo caso, anche la potatura ha un effetto significativo sulla lettura di *Canopy Thickness* a livello di fascia mediana.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Test degli effetti fra soggetti^a

Sorgente	Variabile dipendente	Somma dei quadrati Tipo III	df	Media dei quadrati	F	Sig.
Modello corretto	CT fascia bassa	2,558E6	12	213191,332	781,181	,000
	CT fascia mediana	3,548E6	12	295701,510	1006,295	,000
Intercetta	CT fascia bassa	2,137E7	1	2,137E7	78287,089	,000
	CT fascia mediana	2,408E7	1	2,408E7	81929,118	,000
Anno	CT fascia bassa	1353591,163	1	1353591,163	4959,863	,000
	CT fascia mediana	2939289,494	1	2939289,494	10002,628	,000
ID_VIGNETO	CT fascia bassa	384469,527	1	384469,527	1408,783	,000
	CT fascia mediana	278248,703	1	278248,703	946,902	,000
BLOCCO * ID_VIGNETO	CT fascia bassa	100499,894	6	16749,982	61,376	,000
	CT fascia mediana	200029,109	6	33338,185	113,452	,000
Mese	CT fascia bassa	291482,893	2	145741,447	534,030	,000
	CT fascia mediana	595588,179	2	297794,090	1013,416	,000
Sfogliatura	CT fascia bassa	610208,389	1	610208,389	2235,941	,000
	CT fascia mediana	10144,600	1	10144,600	34,523	,000
Potatura	CT fascia bassa	29768,896	1	29768,896	109,080	,000
	CT fascia mediana	1360,655	1	1360,655	4,630	,031
Errore	CT fascia bassa	8528404,928	31250	272,909		
	CT fascia mediana	9182866,060	31250	293,852		
Totale	CT fascia bassa	4,245E7	31263			
	CT fascia mediana	5,037E7	31263			
Totale corretto	CT fascia bassa	1,109E7	31262			
	CT fascia mediana	1,273E7	31262			

a. R quadrato = ,231 (R quadrato corretto = ,230)

b. R quadrato = ,279 (R quadrato corretto = ,278)

c. Varietà = Sangiovese

Tabella 6: Analisi della varianza multivariata per le variabili dipendenti CT nella cultivar Sangiovese.

Volendo esprimere graficamente quanto risultato da tale analisi della varianza, alcuni grafici a barre sono stati disegnati, portando alcuni esempi di come il modello venga spiegato dalle due variabili prese finora in considerazione.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

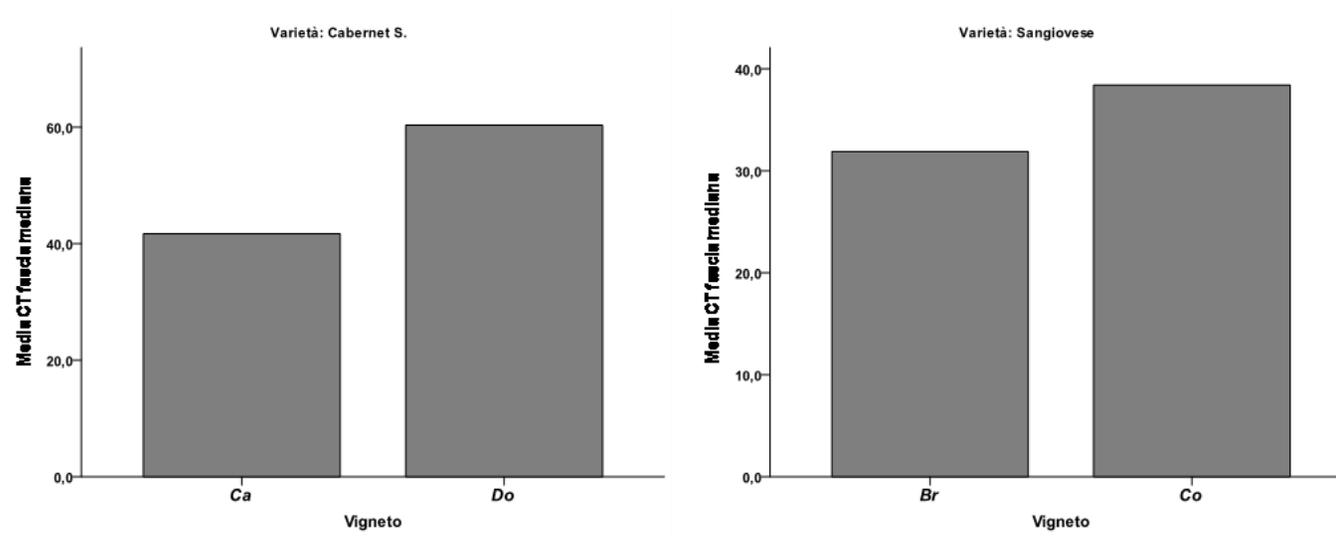


Figura 28: Differenze di CT fascia mediana nei differenti vigneti della prova.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

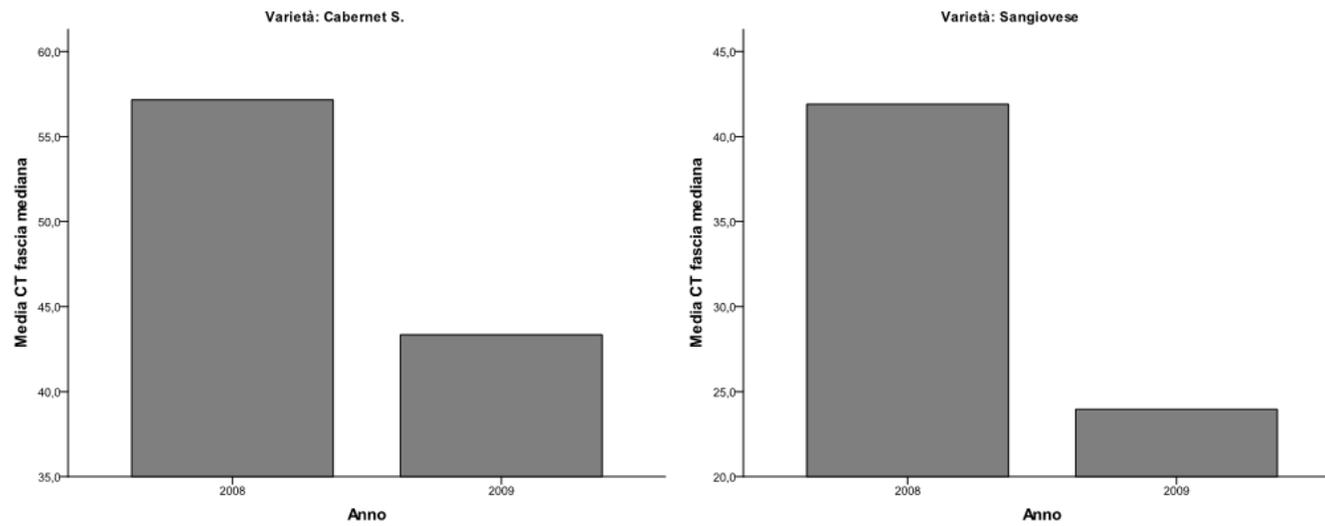


Figura 29: Grafici a barre relativi alle CT medie della fascia mediana per i diversi anni.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

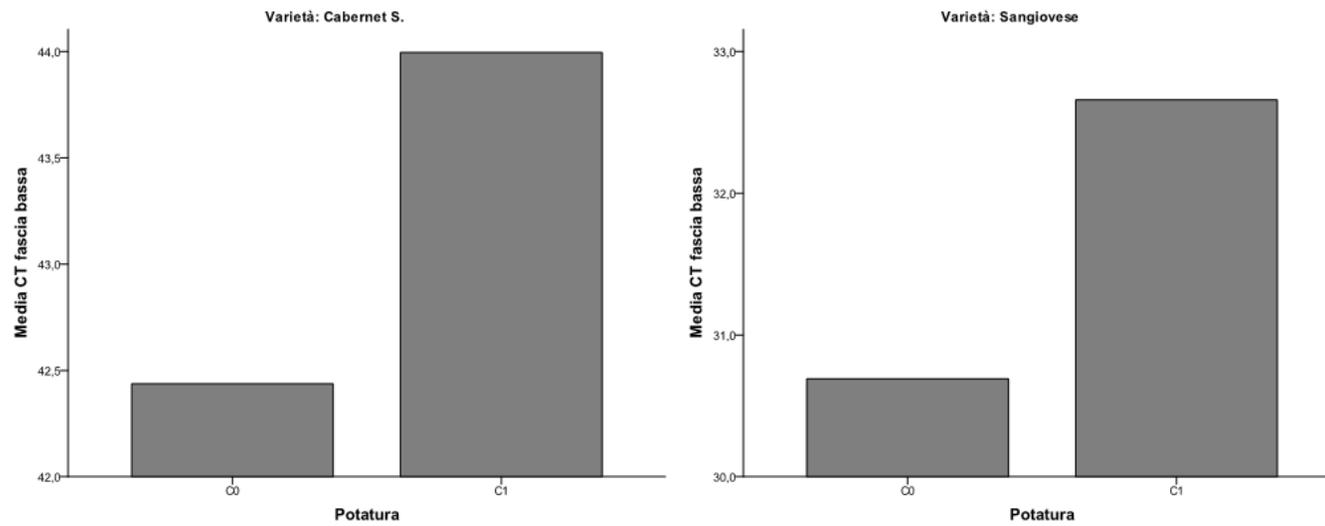


Figura 30: Media della CT riferita alla fascia produttiva in relazione ai due differenti gradi di potatura.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

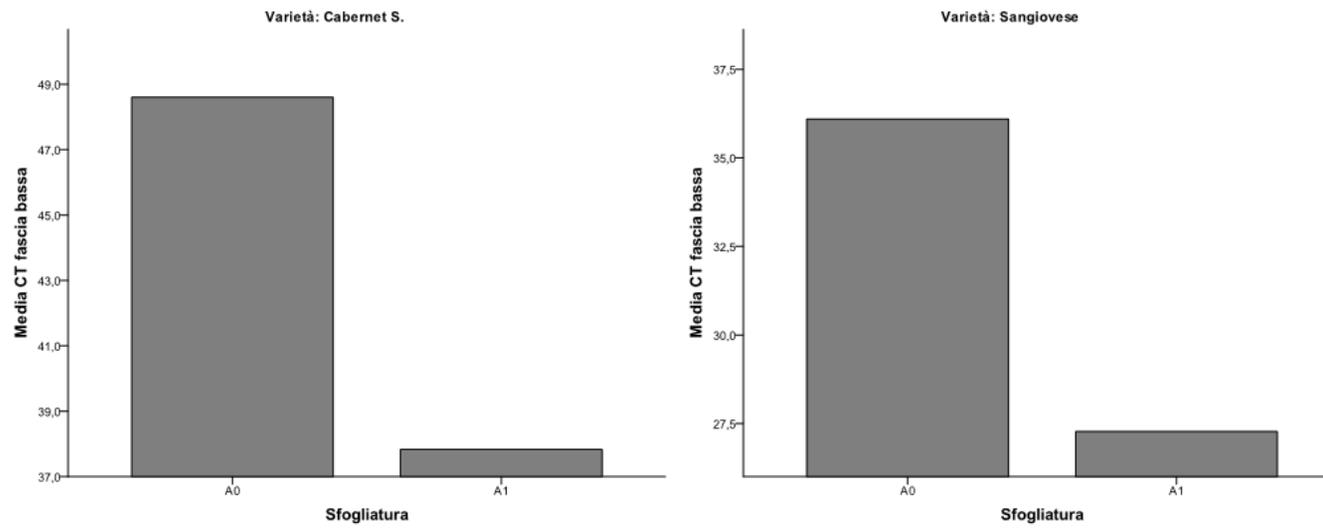


Figura 31: Valori medi di CT della fascia produttiva in relazione all'esecuzione della sfogliatura in prefioritura.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

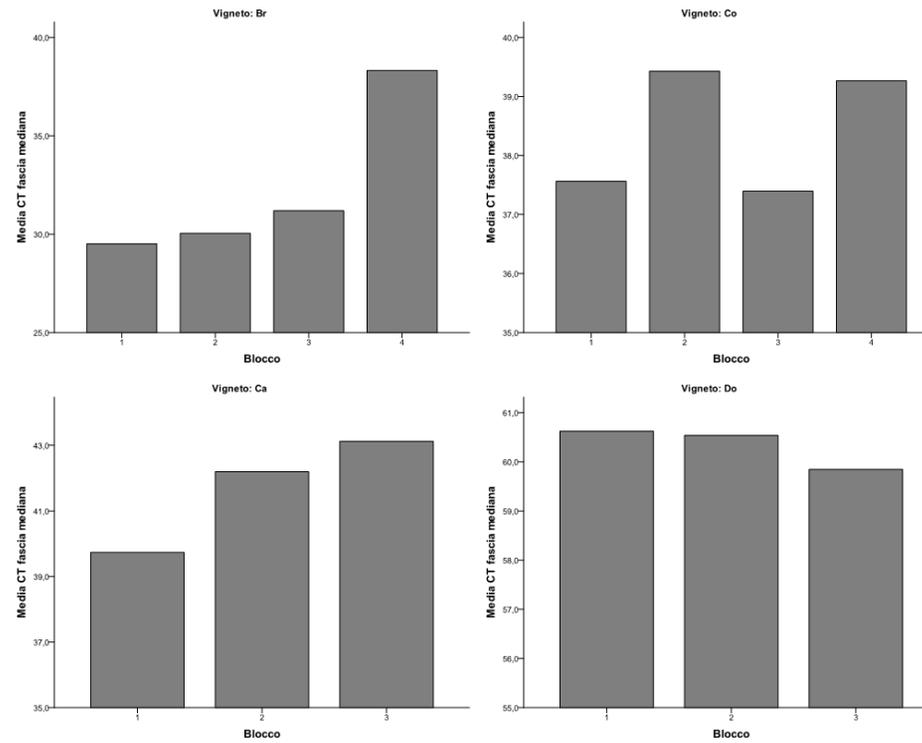


Figura 32: Valori medi di CT fascia mediana nei Blocchi intravigneto.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Nello specifico, nella Figura 28 si può notare come i vigneti oggetto di studio si differenzino in modo evidente per valori medi di Canopy Thickness della fascia mediana; allo stesso modo, in Figura 29 si nota come i medesimi valori medi di CT discriminino gli anni di esecuzione della prova (il 2008 ha determinato chiome mediamente più voluminose del 2009).

Nelle Figure 30 e 31 si nota come il dato derivato dagli ultrasuoni posizionati a livello di fascia produttiva metta in evidenza le differenze esistenti tra i due livelli di potatura (C0 corta e C1 lunga) degli speroni e tra le parcelle in cui è stata eseguita una sfogliatura in prefioritura (A1) o non (A0).

Infine, in Figura 32 si nota come anche i diversi blocchi interni ai singoli vigneti abbiano delle differenze apprezzabili di CT riferita alla fascia mediana.

Analogo approccio è stato utilizzato per l'analisi della varianza, considerando come variabile dipendente l'NDVI.

In Tabella 7 è riportata l'analisi della varianza univariata relativa alla cultivar Cabernet S.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Test degli effetti fra soggetti^b

Variabile dipendente:NDVI

Sorgente	Somma dei quadrati Tipo III	df	Media dei quadrati	F	Sig.
Modello corretto	15,072 ^a	29	,520	928,276	,000
Intercetta	27234,656	1	27234,656	4,864E7	,000
Vigneto	,003	1	,003	5,293	,021
Blocco*Vigneto	,473	4	,118	211,124	,000
Anno	2,117	2	1,059	1890,680	,000
Mese	5,917	2	2,958	5283,934	,000
Potatura	,154	1	,154	275,802	,000
Sfogliatura	,642	1	,642	1146,200	,000
Vigneto * Anno	1,169	2	,584	1043,902	,000
Blocco*Vigneto * Anno	,437	8	,055	97,600	,000
Potatura * Anno	,008	2	,004	7,343	,001
Sfogliatura * Anno	,147	2	,073	130,994	,000
Anno * Mese	4,104	4	1,026	1832,422	,000
Errore	21,751	38850	,001		
Totale	27452,575	38880			
Totale corretto	36,823	38879			

a. R quadrato = ,409 (R quadrato corretto = ,409)

b. Varietà = Cabernet S.

Tabella 7: Analisi della varianza multivariata per il Cabernet S. (variabile dipendente: NDVI).

Si nota come tutti i fattori componenti il modello abbiano un effetto altamente significativo sulla variabile dipendente, ad eccezione del "Vigneto" il quale ha un effetto significativo; come in precedenza, ciò evidenzia la buona sensibilità dell'indice NDVI nell'individuare le differenti fonti di variabilità imposte dalla prova sperimentale. Come nel caso della variabile CT, sono stati disegnati alcuni grafici a barre

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

per evidenziare le differenze di NDVI in alcuni casi particolarmente interessanti.

In Figura 33 si nota come i differenti anni si distinguano nettamente tra di loro in base ai valori di NDVI: in particolare si nota come il 2008 sia l'anno che ha indotto una maggior espressione vegetativa ed il 2010 la minore.

La Figura 34 mostra come non ci siano eclatanti differenze nei valori di NDVI medi tra i due vigneti di Cabernet considerati, a riprova del fatto che, a fronte di zone molto differenti tra loro (Bolgheri e Maremma Grossetana), la cultivar prevalga nel determinare i valori di PAB riscontrabili.

In Figura 35 è possibile notare come i blocchi intravigneto si differenzino in modo evidente per quanto riguarda i valori di NDVI misurati, a riprova che esiste una variabilità intravigneto e che essa può essere osservata tramite i rilievi effettuati.

La Figura 36 mostra l'andamento dei valori medi di NDVI nel corso della stagione (con particolare riferimento ai mesi di giugno, luglio ed agosto, in cui sono stati eseguiti i rilievi strumentali): come atteso e riportato in bibliografia, si nota come la vegetazione vada incontro ad una diminuzione di biomassa fotosinteticamente attiva procedendo dall'allegagione alla piena maturazione.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

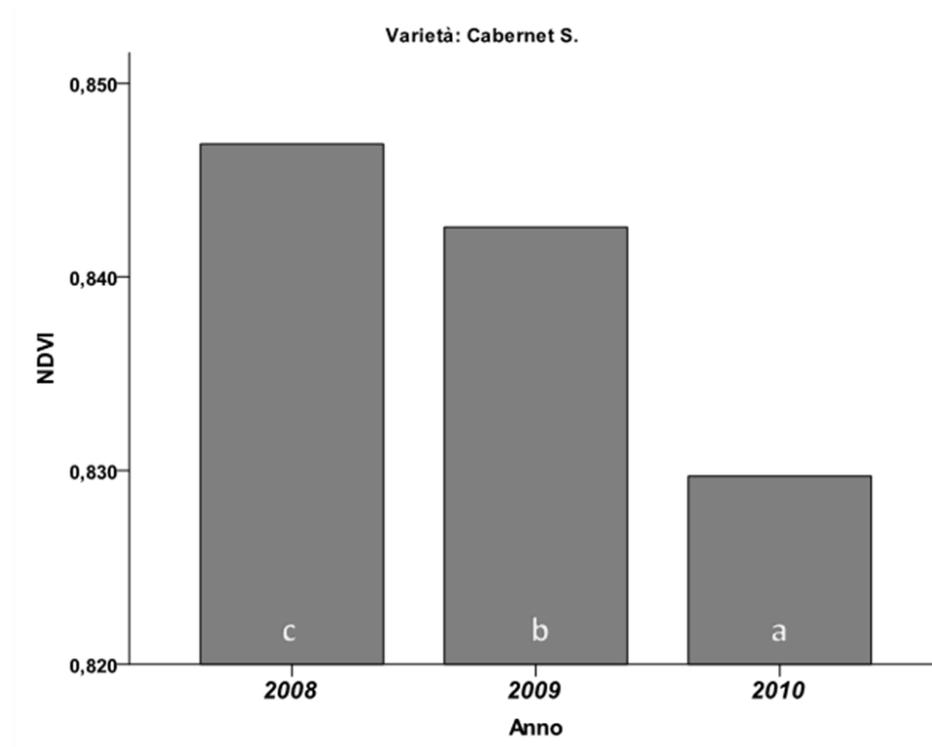


Figura 33: Valori medi di NDVI nei differenti anni di sperimentazione in Cabernet S. e distinzione in gruppi omogenei con il test di Duncan.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

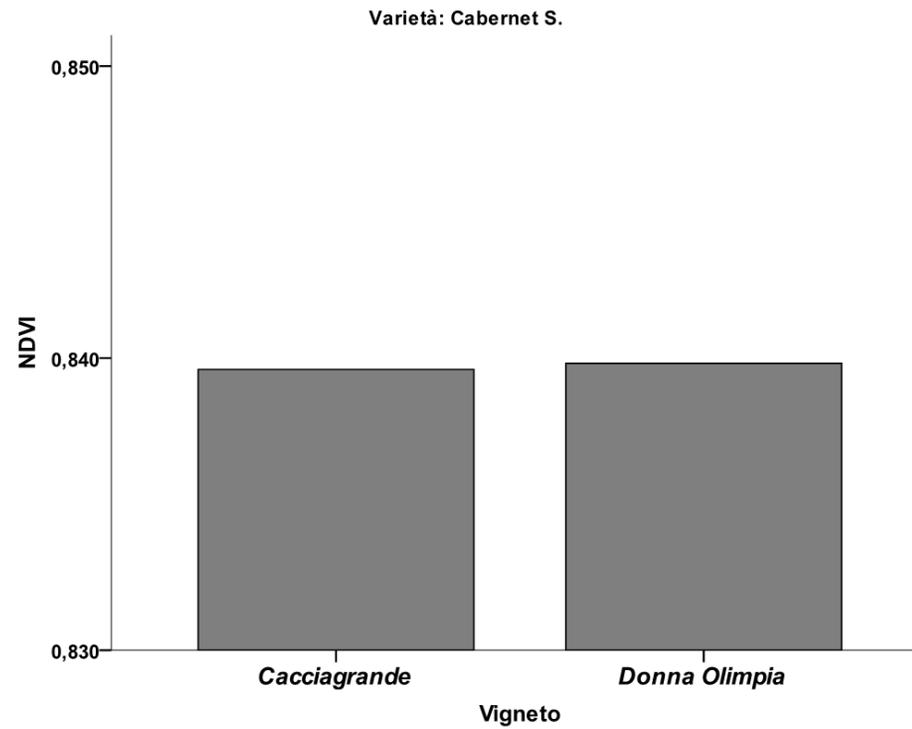


Figura 34: Grafico a barre relativo ai valori medi di NDVI nei due vigneti di Cabernet S. considerati.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

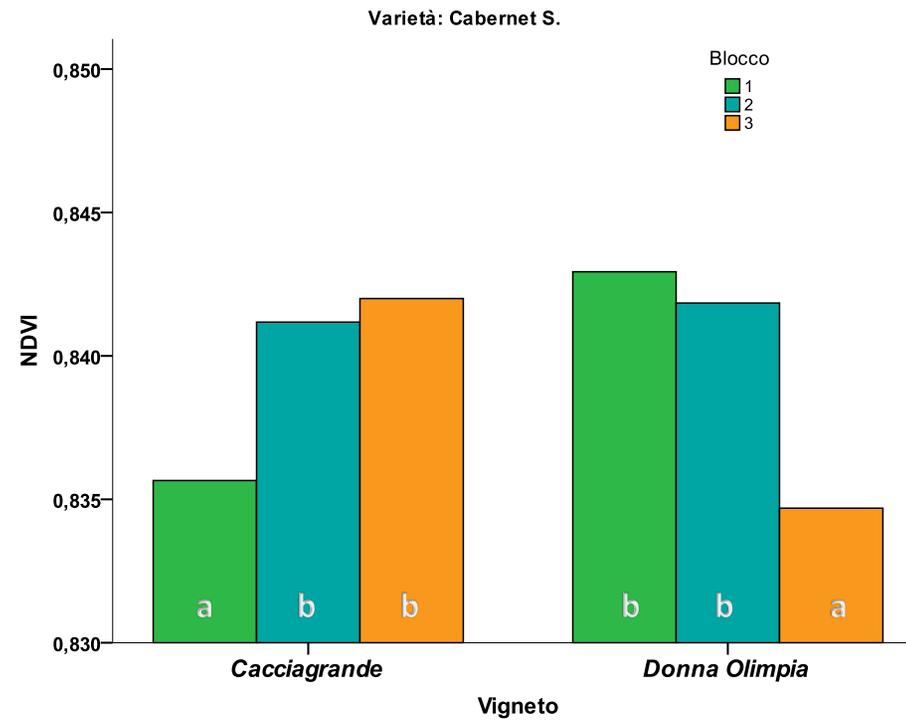


Figura 35: Valori medi di NDVI nei blocchi intravigneto e accorpamento in gruppi omogenei determinato tramite test di Duncan.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

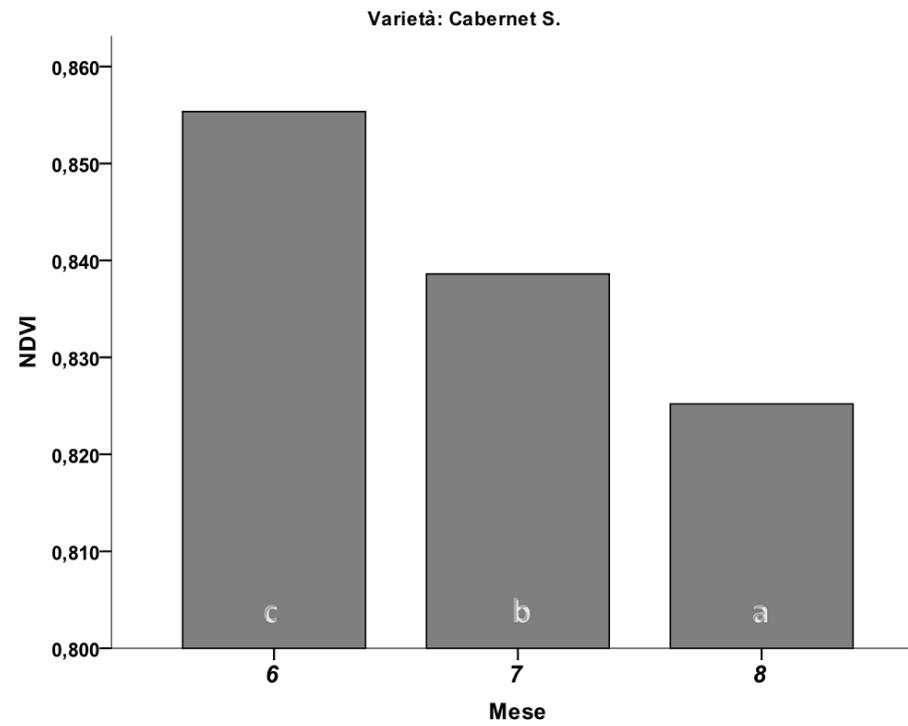


Figura 36: Valori medi di NDVI nei diversi mesi di esecuzione dei rilievi e accorpamento in gruppi in base a test di Duncan.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

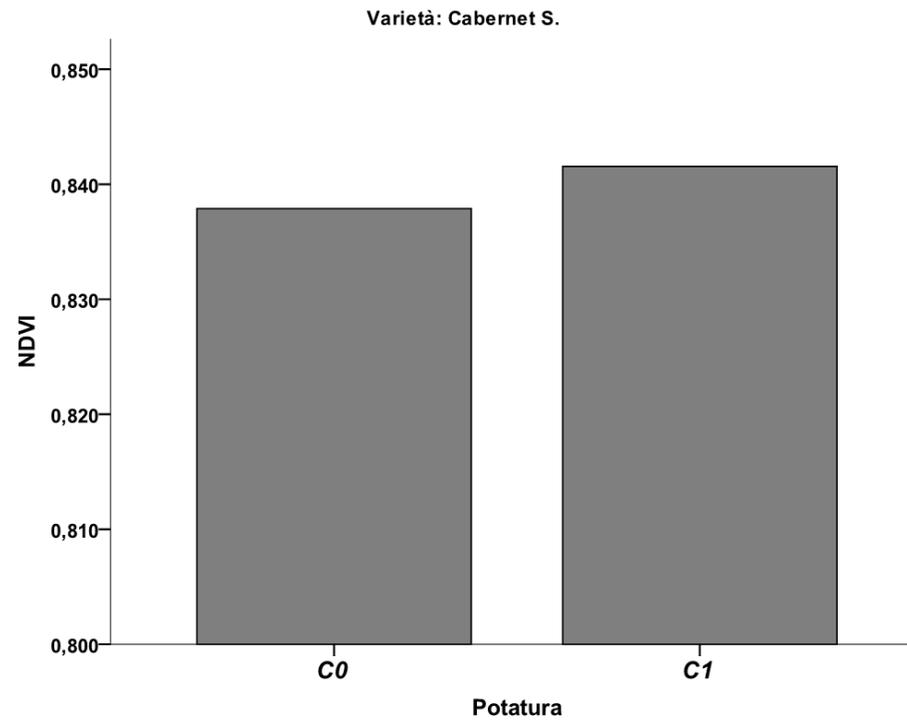


Figura 37: Valori medi di NDVI nelle parcelle con diversi livelli di potatura.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

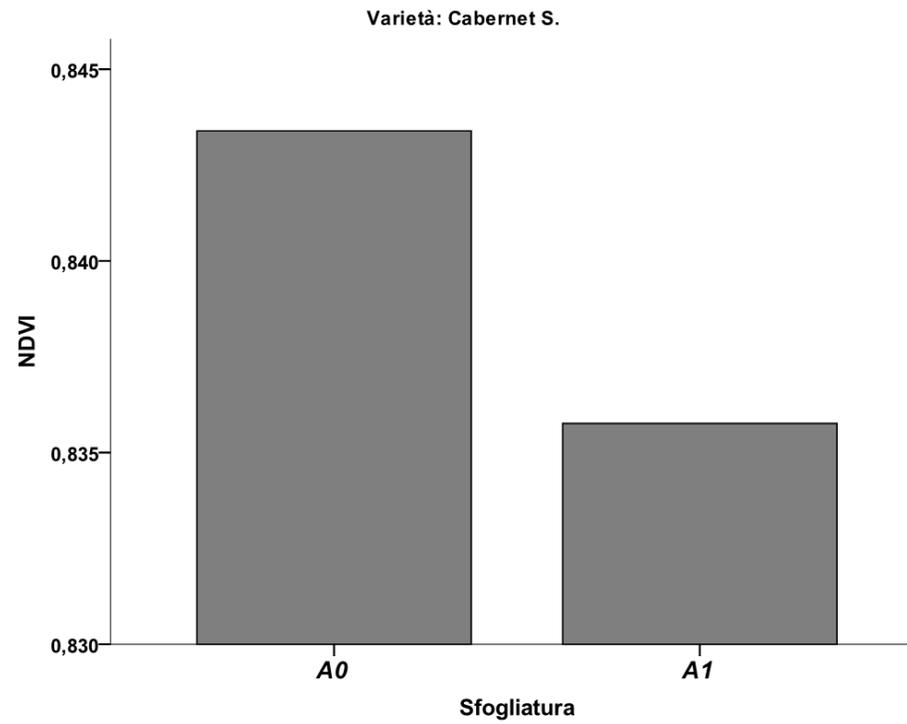


Figura 38: Valori medi di NDVI nelle parcelle con esecuzione o non di sfogliatura in prefioritura.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Infine nelle Figure 37 e 38 è possibile notare come vi siano delle differenze sostanziali di NDVI tra le tesi con potatura corta e potatura lunga degli speroni e, in particolar modo, tra tesi sfogliate e non sfogliate: ciò sottolinea come, grazie alla posizione da cui vengono effettuati i rilievi (ortogonale rispetto alle pareti), sia possibile individuare zone della *canopy* in cui la vegetazione è assente o in minor quantità; infatti, nel caso della sfogliatura eseguita per la prova, sono state asportate completamente le foglie dei primi sei nodi basali di ogni germoglio, creando una zona di parete completamente priva di vegetazione, a livello della fascia produttiva.

Lo stesso tipo di analisi è stato ripetuto per i vigneti coltivati a Sangiovese (Tabella 8).

Come già affermato per il Cabernet S., i fattori componenti il modello considerato risultano avere effetti altamente significativi nel determinare differenze nei valori di NDVI misurati. Nel caso del Sangiovese, l'effetto altamente significativo del "Vigneto" testimonia quanto affermato in precedenza, cioè le differenti caratteristiche di plasticità/elasticità dei due vitigni considerati.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Test degli effetti fra soggetti^b

Variabile dipendente:NDVI

Sorgente	Somma dei quadrati Tipo III	df	Media dei quadrati	F	Sig.
Modello corretto	75,520 ^a	35	2,158	1123,950	,000
Intercetta	34425,347	1	34425,347	1,793E7	,000
Vigneto	20,784	1	20,784	10826,462	,000
Blocco*Vigneto	16,335	6	2,723	1418,175	,000
Anno	3,321	2	1,660	864,908	,000
Mese	17,097	2	8,549	4453,011	,000
Potatura	,294	1	,294	153,186	,000
Sfogliatura	2,637	1	2,637	1373,470	,000
Vigneto * Anno	2,427	2	1,214	632,134	,000
Blocco*Vigneto * Anno	1,108	12	,092	48,075	,000
Potatura * Anno	,136	2	,068	35,306	,000
Sfogliatura * Anno	,202	2	,101	52,646	,000
Anno * Mese	6,542	4	1,635	851,923	,000
Errore	107,668	56084	,002		
Totale	36154,897	56120			
Totale corretto	183,188	56119			

a. R quadrato = ,412 (R quadrato corretto = ,412)

b. Varietà = Sangiovese

Tabella 8: Analisi della varianza univariata per la variabile dipendente NDVI.

Anche con il Sangiovese, così come avvenuto per il Cabernet S., sono stati disegnati grafici a barre per alcune variabili indipendenti ritenute di particolare interesse.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

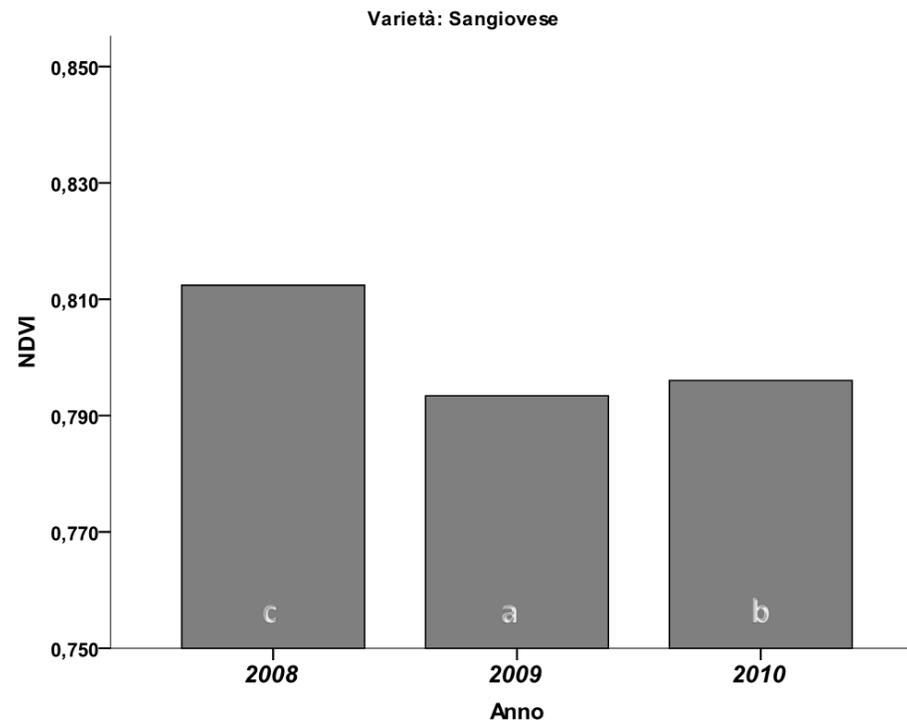


Figura 39: Grafico a barre relativo ai valori medi di NDVI nei tre anni di sperimentazione.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

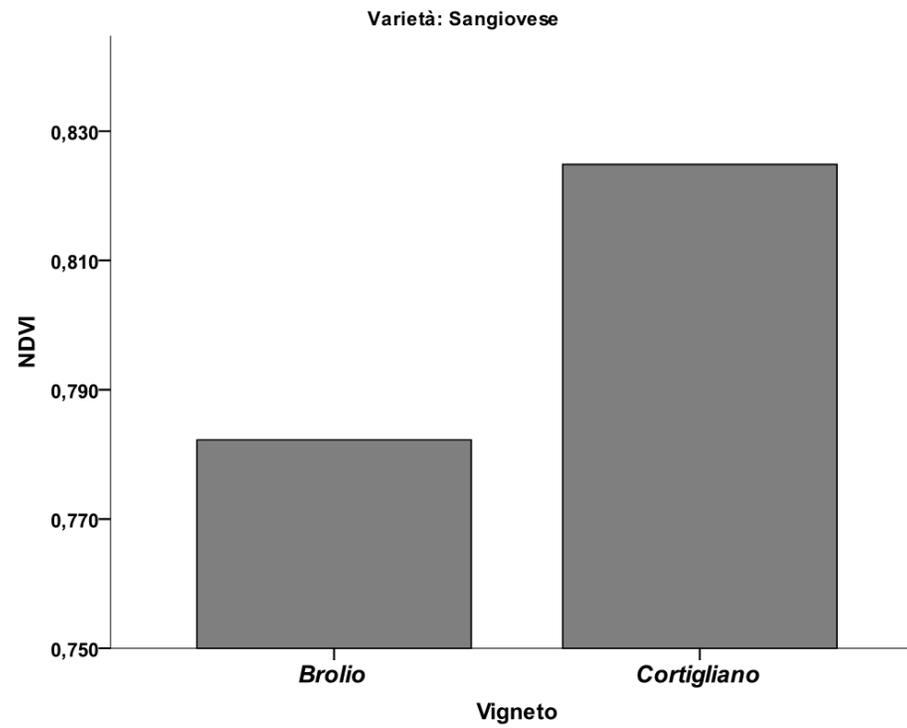


Figura 40: Valori medi di NDVI nei due vigneti a Sangiovese considerati.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

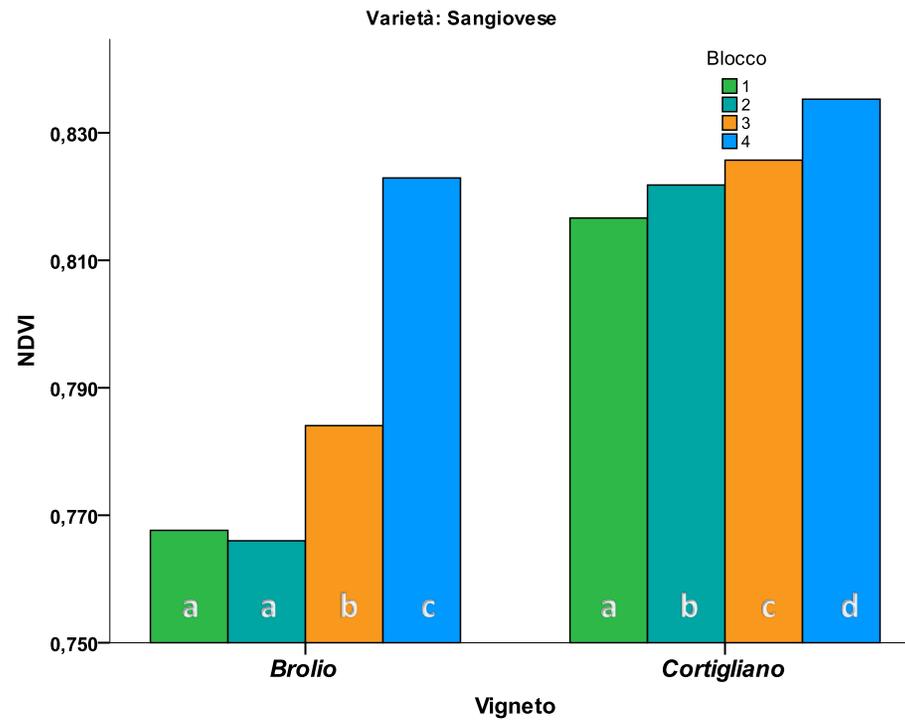


Figura 41: Valori medi di NDVI nei blocchi intravigneto del disegno sperimentale.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

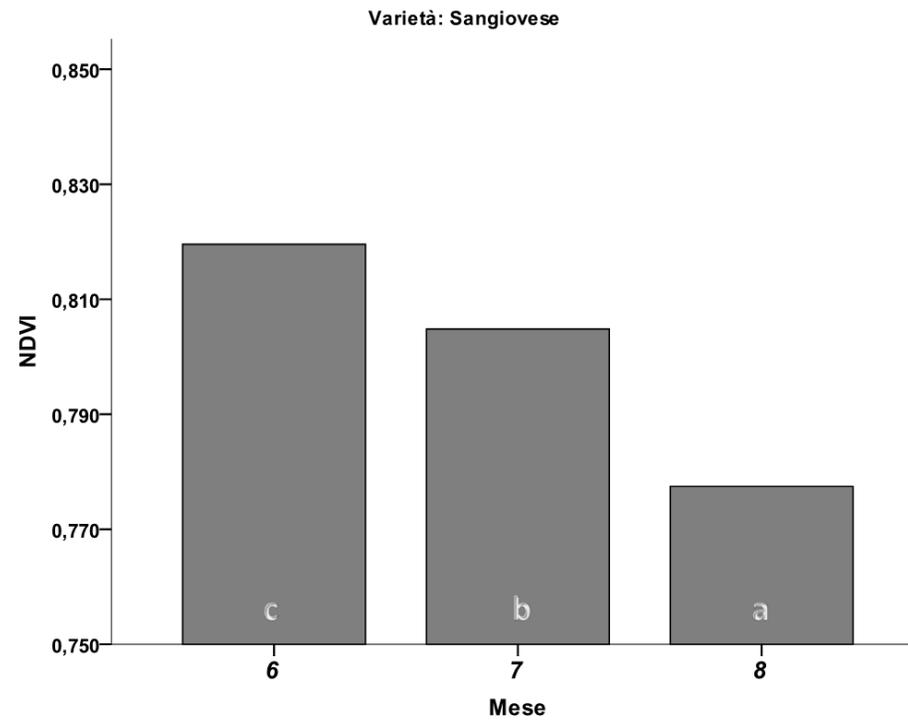


Figura 42: Valori di NDVI nei mesi di rilevamento dei dati strumentali.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

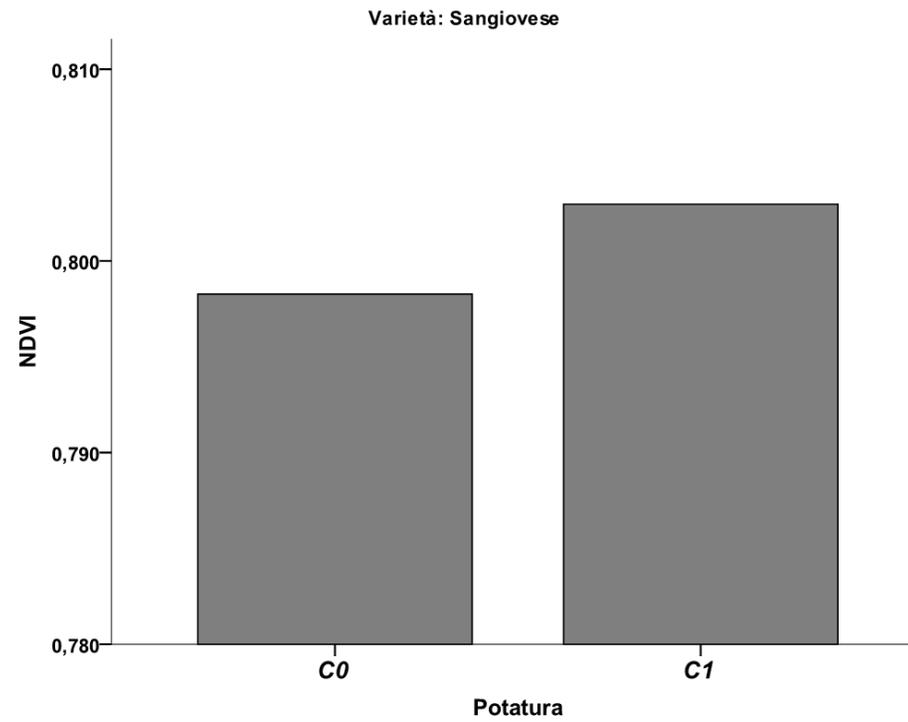


Figura 43: Grafico a barre relativo ai valori di NDVI nelle tesi con differente grado di potatura.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

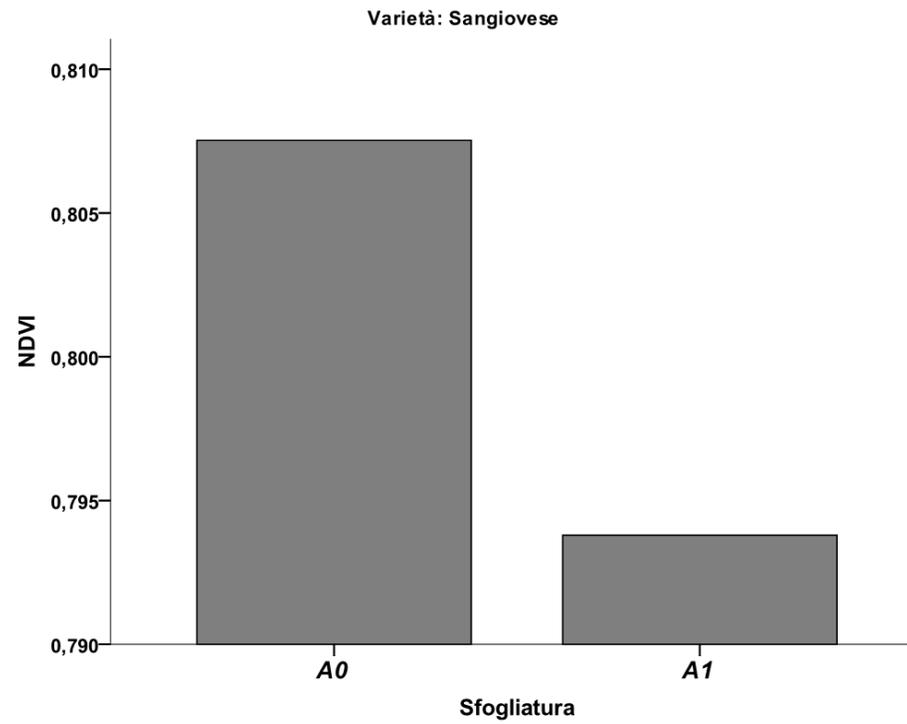


Figura 44: Grafico a barre delle medie di NDVI nelle tesi non defogliate e defogliate.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Nello specifico, in Figura 39 è possibile evidenziare come i vigneti coltivati a Sangiovese abbiano avuto un comportamento differente rispetto a quelli a Cabernet S., in quanto, a fronte di un 2008 con maggiore espressione vegetativa, il 2009 risulta essere l'anno mediamente meno vigoroso. Tale evidenza trova spiegazione in due distinti fenomeni caratterizzanti questa annata: il ritardo di germogliamento, causato da un inverno con alta piovosità e temperature mediamente più basse del precedente, che ha portato a valori di NDVI inferiori nella lettura di giugno, per un ritardo nella formazione della parete vegetale; inoltre, dalla seconda metà di luglio alla prima decade di agosto, tale annata è stata caratterizzata da basse precipitazioni che hanno dato luogo a stress idrici prolungati. Come è noto, le due cultivar possiedono meccanismi e tolleranze differenti nei confronti dello stress idrico ed il Sangiovese è una delle varietà che mostra sintomi più evidenti, con una sorta di autolimitazione della superficie traspirante e conseguente diminuzione dei valori di NDVI.

In Figura 40 si riportano le medie di NDVI dei due vigneti (Brolio e Cortigliano): come più volte riscontrato direttamente in vigneto e a causa della differente natura dei terreni su cui insistono (terreno a scheletro prevalente nel Chianti e sabbioso profondo nella Maremma grossetana) i due vigneti hanno mediamente un'espressione vegetativa completamente differente: si noti infatti come il vigneto di Brolio risulti essere più stentato rispetto a

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Cortigliano (come del resto risulta evidente dall'osservazione delle mappe di NDVI riportate nelle figure dalla 18 alla 23).

A conferma di quanto appena affermato, in Figura 41 si notano differenze di discreta entità tra i primi tre blocchi di Brolio rispetto al blocco a maggior vigore dello stesso vigneto e il vigneto di Cortigliano. Tali differenze, riferite ai blocchi del disegno sperimentale, sono da imputare a nostro avviso, alla differente conformazione del terreno, oltre alla succitata struttura dello stesso: il vigneto di Brolio presenta forti pendenze soprattutto nella prima metà del vigneto, zona su cui si posizionano i primi 3 blocchi ed una minore pendenza nella zona del blocco 4. Ciò, considerando la natura tendenzialmente sciolta del terreno, produce movimenti di acqua che dalle zone più alte del vigneto (mediamente poco dotate di riserve idriche) vengono accumulate nella zona più bassa, dotata di una maggior riserva e, di conseguenza, di una maggior espressione vegetativa. La conformazione pianeggiante di Cortigliano, unita alla natura argillo-sabbiosa del terreno, permettono alle piante del vigneto in questione di avere una maggior riserva idrica e, come visibile sia dalle mappe che dal grafico a barre, una maggiore omogeneità interna.

La Figura 42 riporta il decorso medio dell'NDVI nei mesi di rilievo: si può osservare un comportamento in linea con quanto riscontrato per il Cabernet S.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Analoga considerazione può essere effettuata per i valori medi di NDVI riscontrabili nelle tesi a potatura lunga e potatura corta e tra le tesi defogliate a confronto con le non sfogliate (Figure 43 e 44): le considerazioni effettuate in sede di analisi per il Cabernet S. risultano essere valide anche nel caso del Sangiovese.

Oltre alle mappe di NDVI precedentemente riportate, si è deciso di adottare un ulteriore approccio allo studio della variabilità, seguendo una logica di tipo “zonale”: nello specifico, si è optato per la rappresentazione e l’analisi non solo del dato di risposta vegetativa del vigneto, ma anche della stabilità di quest’ultima nei tre anni di sperimentazione. A tal fine, è stato creato un set di mappe specifico, relativo al numero di anni in cui il valore di NDVI è risultato superiore alla media osservata.

Il risultato è stato la produzione di mappe in cui si evidenziano le differenti zone omogenee riscontrabili in vigneto, ovviando agli effetti dovuti alle singole annate.

Nelle figure 45, 46 e 47 è possibile osservare quanto appena descritto applicato al vigneto Brolio.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

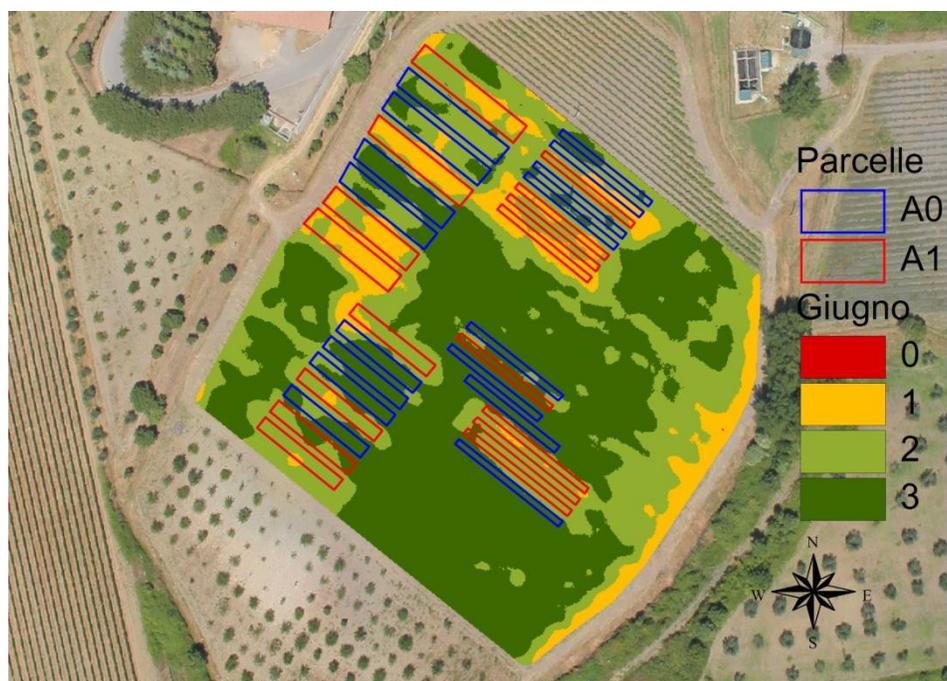


Figura 45: Mappa del numero di anni con valore di NDVI superiore alla media, relativa al vigneto di Brolio nel rilievo di giugno.

In Figura 45 è possibile notare come grazie a tale procedura le zone a differente risposta vegetativa nel mese di giugno si differenzino marcatamente: come si nota, tale rilievo risulta particolarmente utile nel discriminare le differenti parcelle, con particolare riferimento alla pratica della sfogliatura (le tesi sfogliate sono state riportate in rosso); tali tesi presentano valori di NDVI superiori alla media per uno o al massimo due anni, a differenza delle non defogliate, che mostrano valori superiori alla media anche per tutti i tre anni della sperimentazione.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

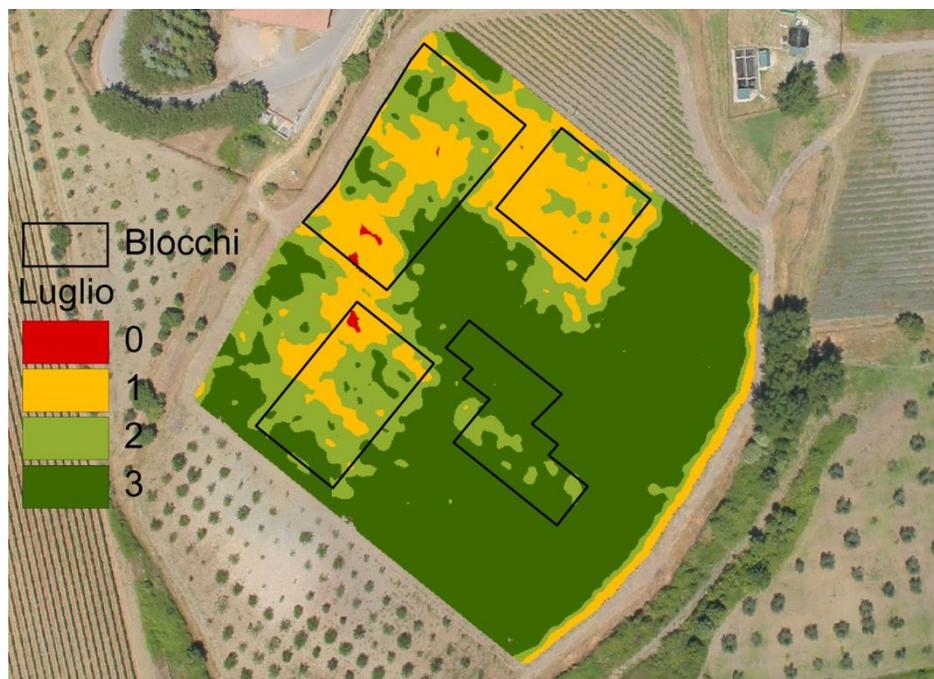


Figura 46: Mappa del numero di anni con NDVI superiore alla media, per il vigneto di Brolio nel rilievo di luglio.

La Figura 46 riporta lo stesso tipo di analisi, relativamente al mese di luglio. In questo caso si è deciso di sovrapporre l'ubicazione dei blocchi sperimentali, poiché l'informazione riportata dalla mappa risultava svincolata dall'effetto parcella e più utile a delineare le zone omogenee di vigore individuate dal piano sperimentale.

La distinzione dei blocchi risulta ancora più evidente in Figura 47, in cui si riporta l'analisi relativa al mese di agosto.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

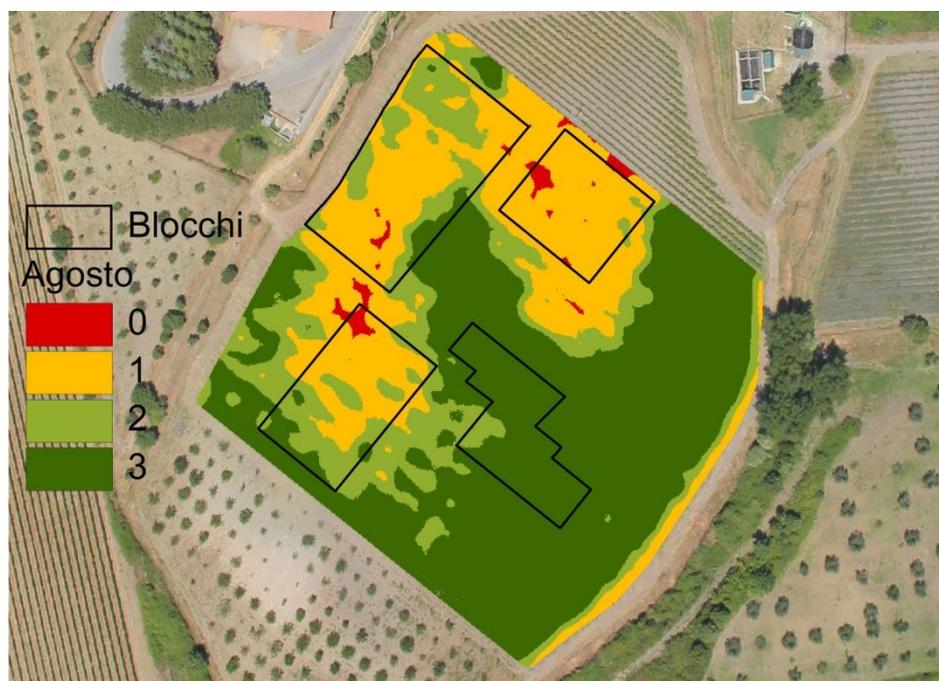


Figura 47: Mappa del numero di anni con NDVI superiori al valore medio, per Brolio nel mese di agosto.

Agli opposti, in tale caso, si pongono i blocchi 1 e 4, rispettivamente ritenuti il più stentato e quello con maggior sviluppo vegetativo; intermedi risultano essere i blocchi 2 e 3, giudicati in tal modo anche in fase di stesura del piano sperimentale.

Di seguito viene riportata la stessa procedura relativa al vigneto Cacciagrande (Cabernet S.) (Figure 48, 49 e 50).

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

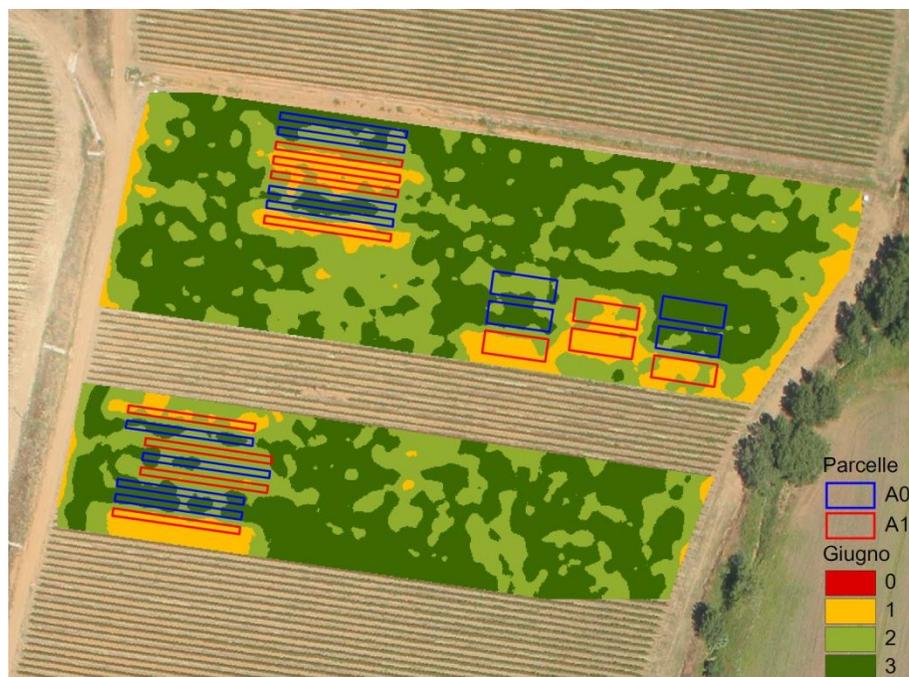


Figura 48: Mappa del numero di anni con NDVI superiore alla media, per il vigneto Cacciagrande nel rilievo di giugno.

Anche in questo caso (Figura 48) è possibile individuare con una certa accuratezza le tesi sfogliate (in rosso) distinguendole da quelle che non sono state sottoposte al trattamento in prefioritura (in blu).

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.



Figura 49: Mappa del numero di anni con NDVI superiore alla media, per Cacciagrande a luglio.

Così come per Brolio, nella mappa di luglio del vigneto Cacciagrande (Figura 49) non è possibile riconoscere i differenti trattamenti, ma solo le zone omogenee interne al vigneto, senza però, in questo caso, ottenere una netta discriminazione tra di esse, a differenza di quanto notato nel caso del vigneto a Sangiovese.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

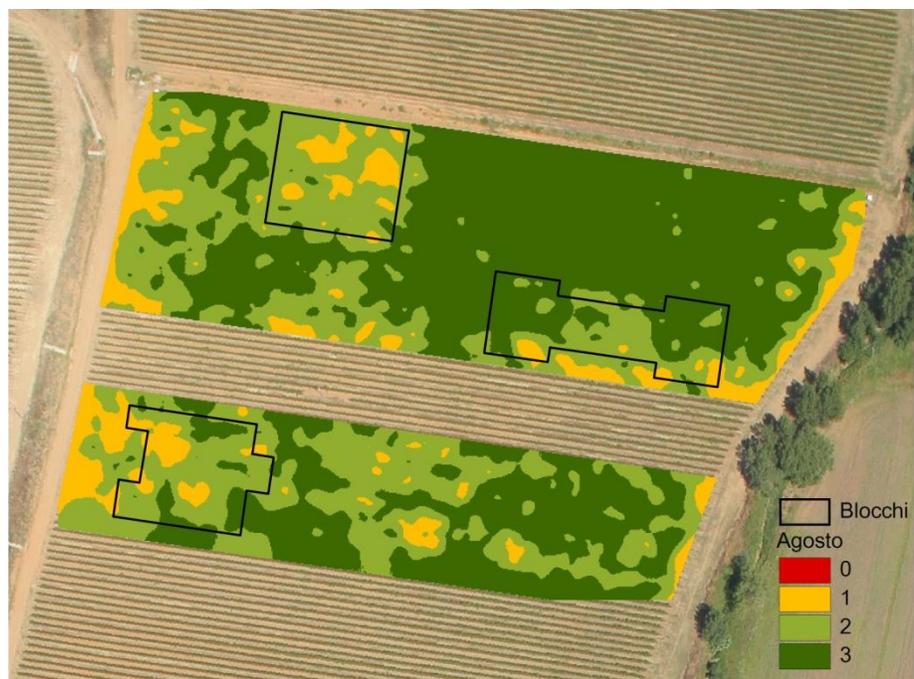


Figura 50: Mappa del numero di anni con $NDVI > \mu$, per il vigneto Cacciagrande nel rilievo di agosto.

In Figura 50 si riporta la mappa relativa al mese di agosto, in cui risulta evidente la distinzione tra i blocchi sperimentali individuati in tale vigneto.

Da tale analisi, risulta evidente come il rilievo di giugno costituisca un indicatore efficace nella descrizione delle differenze di carattere vegetativo imputabili alle pratiche agronomiche adottate, con particolare riferimento alla sfogliatura in prefioritura, la quale modifica in modo sostanziale la chioma nelle sue fasi di sviluppo precedenti alla completa formazione della parete vegetale; nonostante ciò, tale rilievo non risulta in grado di definire con

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

precisione le zone omogenee riscontrabili in vigneto, cosa che può essere effettuata avvalendosi dei periodi successivi alla completa formazione della parete vegetale. Infatti i rilievi di luglio e, ancora più marcatamente, quelli di agosto, permettono una distinzione netta delle zone omogenee per valore di PAB che possono essere individuate in vigneto.

Un ulteriore vantaggio dell'approccio poc'anzi adottato è che questo permette di effettuare considerazioni sulle zone omogenee in vigneti con varietà diverse, a differenza delle mappe di NDVI, che presentano la necessità di utilizzare scale differenti a causa della differente impronta spettrale di ogni singola cultivar.

3.4. Parametri produttivi e qualitativi.

In ultima analisi sono state considerate le relazioni intercorrenti tra i valori di PAB misurati attraverso i sensori e alcuni parametri quantitativi e qualitativi delle produzioni.

In prima istanza, sono stati correlati i valori di NDVI rilevata sulle singole piante con il peso della produzione per ceppo: è risultato che le migliori correlazioni sono state ottenute utilizzando l'NDVI di agosto, come mostrato in Tabella 9.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Correlazioni			NDVI agosto	Peso produzione/pianta /kg)
Cultivar				
Cabernet S.	NDVI agosto	Correlazione di Pearson	1	,471**
		Sig. (2-code)		,000
		N	328	313
	Peso produzione/pianta /kg)	Correlazione di Pearson	,471**	1
		Sig. (2-code)	,000	
		N	313	313
Sangiovese	NDVI agosto	Correlazione di Pearson	1	,619**
		Sig. (2-code)		,000
		N	443	421
	Peso produzione/pianta /kg)	Correlazione di Pearson	,619**	1
		Sig. (2-code)	,000	
		N	421	421

** La correlazione è significativa al livello 0,01 (2-code).

Tabella 9: Analisi delle correlazioni bivariate tra NDVI e peso della produzione/ceppo.

Per entrambe le cultivar si nota come le correlazioni siano altamente significative e, soprattutto nel caso del Sangiovese, vi siano alti valori del coefficiente di correlazione di Pearson.

Per meglio verificare la relazione esistente tra le due variabili, sono stati disegnati dei grafici a dispersione (Figura 51 e 52).

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

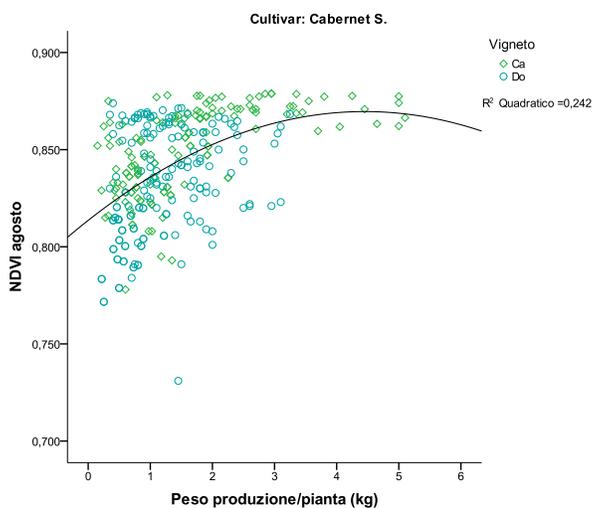


Figura 51: Grafico a dispersione tra le variabili NDVI di agosto e peso della produzione/pianta in Cabernet.

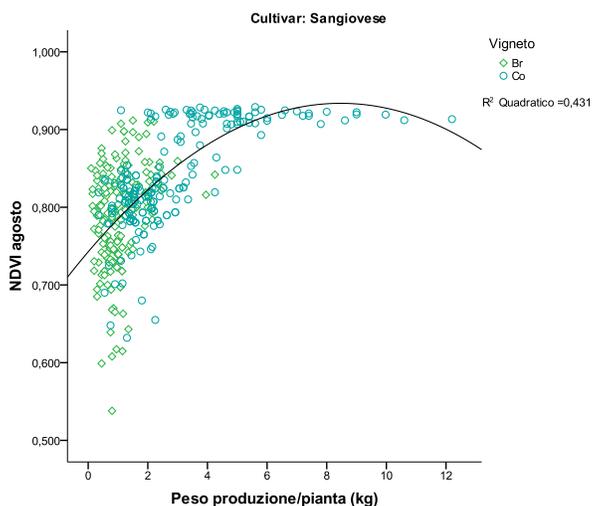


Figura 52: Grafico a dispersione tra le variabili NDVI del rilievo di agosto e la produzione/pianta in Sangiovese.

Nonostante gli R^2 che caratterizzano tali curve di regressione non siano ottimali, risulta interessante notare come le curve abbiano un

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

andamento che suggerisce come la produzione non abbia una relazione con la PAB lineare, ma, come tutti i fenomeni biologici, vada incontro ad una sorta di saturazione, giungendo a *plateau* per valori superiori ai 3 kg nel caso del Cabernet S. e di 4 kg nel caso del Sangiovese. Nel caso di realtà produttive con densità d'impianto confrontabili con quelle dei vigneti studiati, tali carichi produttivi risultano essere eccessivi e ne deriva una produzione che non è giustificata e supportata da un'adeguata superficie fogliare fotosinteticamente attiva; nel caso di produzioni ritenute idonee per le densità analizzate, quindi valori di produzione/ceppo di 1-2 kg (corrispondenti a circa 70-120 q/ha), e soprattutto per quanto riguarda il Sangiovese, l'andamento della relazione tra le due variabili risulta differente tra i due vigneti e quindi, presumibilmente, influenzato dalle caratteristiche pedo-climatiche.

Stesso approccio è stato utilizzato nella correlazione tra NDVI e peso della produzione/germoglio, variabile di ampio interesse per valutare le potenzialità vegeto-produttive di un vigneto; anche in questo caso, l'NDVI con un miglior *fitting* è stata quella di agosto (Tabella 10).

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Correlazioni			NDVI agosto	Peso produzione/germoglio (g)
Cultivar				
Cabernet S.	NDVI agosto	Correlazione di Pearson	1	,556**
		Sig. (2-code)		,000
		N	328	266
	Peso produzione/germoglio (g)	Correlazione di Pearson	,556**	1
		Sig. (2-code)	,000	
		N	266	266
Sangiovese	NDVI agosto	Correlazione di Pearson	1	,629**
		Sig. (2-code)		,000
		N	443	357
	Peso produzione/germoglio (g)	Correlazione di Pearson	,629**	1
		Sig. (2-code)	,000	
		N	357	357

** La correlazione è significativa al livello 0,01 (2-code).

Tabella 10: Analisi delle correlazioni bivariate tra NDVI rilevata in agosto e peso della produzione/germoglio.

L'analisi ha mostrato, come per le produzioni/ceppo, correlazioni altamente significative e indici di Pearson mediamente alti.

I grafici a dispersione mostrano andamenti simili a quanto descritto per le produzioni/pianta e si possono effettuare analoghe considerazioni (Figura 53 e 54).

Infine, sono stati correlati tra loro l'NDVI e i solidi solubili dei mosti alla vendemmia: l'NDVI con le migliori correlazioni è risultata essere quella di giugno (Tabella 11).

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

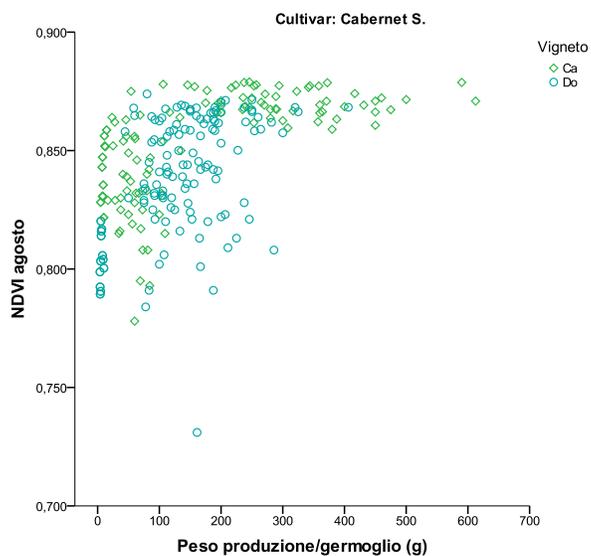


Figura 53: Grafico a dispersione tra le variabili produzione/germoglio ed NDVI di agosto in Cabernet S.

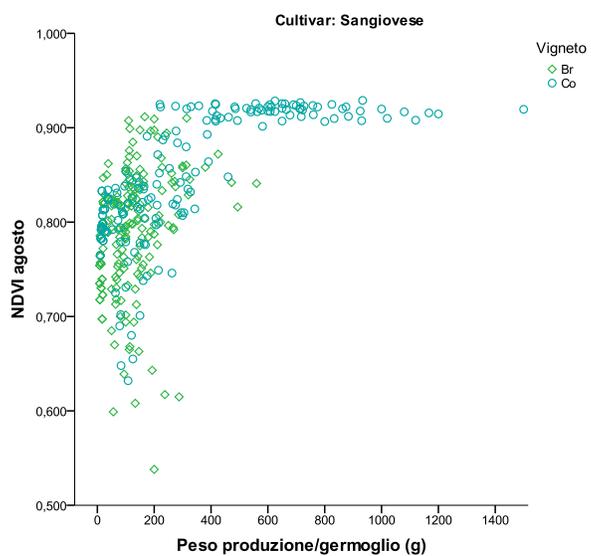


Figura 54: Grafico a dispersione tra le variabili produzione/germoglio ed NDVI di agosto in Sangiovese.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

Correlazioni			NDVI giugno	Solidi solubili (°Brix)
Cultivar				
Cabernet S.	NDVI giugno	Correlazione di Pearson	1	-,319**
		Sig. (2-code)		,000
		N	328	312
	Solidi solubili (°Brix)	Correlazione di Pearson	-,319**	1
		Sig. (2-code)	,000	
		N	312	312
Sangiovese	NDVI giugno	Correlazione di Pearson	1	-,344**
		Sig. (2-code)		,000
		N	443	421
	Solidi solubili (°Brix)	Correlazione di Pearson	-,344**	1
		Sig. (2-code)	,000	
		N	421	421

** La correlazione è significativa al livello 0,01 (2-code).

Tabella 11: Analisi delle correlazioni bivariate tra NDVI rilevato a giugno e solidi solubili.

I valori di NDVI risultano correlati in modo altamente significativo con gli zuccheri prodotti dalle bacche, mostrando una relazione inversa: all'aumentare dell'indice di vegetazione si assiste ad una diminuzione degli zuccheri accumulati.

Tale tendenza è proposta nei due grafici a dispersione riportati in Figura 55 e 56.

Osservando la nuvola di punti disegnata per il caso del Cabernet S., si nota come non vi sia una evidente relazione tra gli zuccheri e l'NDVI, probabilmente sia a causa del comportamento uniforme del vigneto Do (in azzurro) e per via delle caratteristiche ubiquitarie di tale varietà che più volte sono state richiamate in precedenza: in

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

questo caso è da sottolineare la stabilità produttiva del Cabernet S. per quanto riguarda i parametri qualitativi dei mosti.

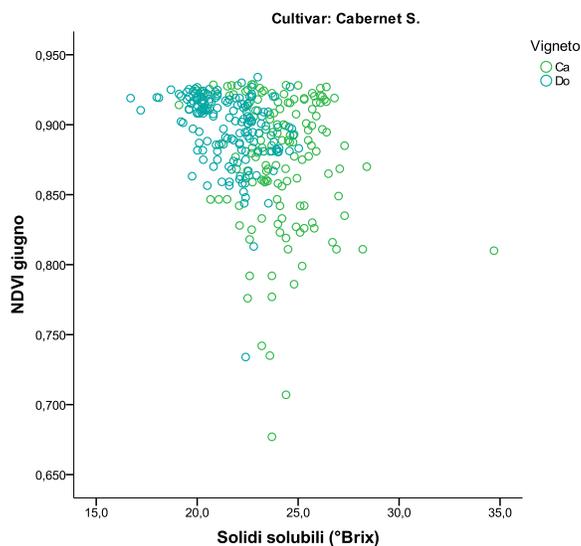


Figura 55: Grafico a dispersione tra le variabili solidi solubili e NDVI rilevata a giugno in Cabernet S..

Il Sangiovese, d'altra parte, mostra un comportamento differente: è evidente una relazione inversa tra zuccheri ed NDVI, dovuta a fenomeni di saturazione alla luce ed eccesso vegetativo con probabile instaurarsi di competizioni per gli assimilati, anche se è interessante notare come per valori di NDVI superiori a 0,85-0,9 si noti una sorta di plateau, a livello del quale l'accumulo zuccherino avviene indipendentemente dalla quantità di PAB presente, essendo probabilmente limitata da fattori di tipo pedologico e climatico, in maggior parte.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

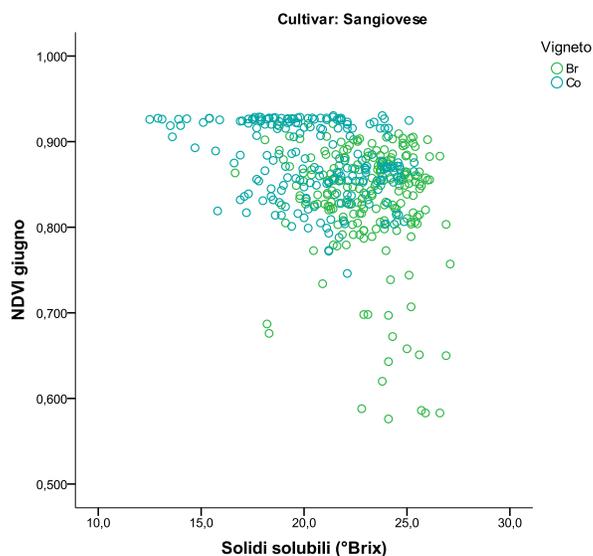


Figura 56: Grafico a dispersione per le variabili solidi solubili e NDVI di giugno nel caso del Sangiovese.

L'elevato numero di punti presi in considerazione per queste ultime analisi e la difficoltà nel trovare delle curve di regressione con R^2 convincenti, hanno suggerito l'ipotesi di effettuare tale tipo di analisi tralasciando l'effetto della variabilità intraparcellare e quindi l'effetto delle singole piante, ma di considerare i dati produttivi e di NDVI mediati per parcella.

Con l'obiettivo di ottenere delle relazioni maggiormente convincenti, si è operato nel modo appena descritto; in primo luogo si è potuto osservare come anche nel caso delle variabili quantitative considerate, il rilievo maggiormente correlato con tali parametri risulti essere quello di giugno, a differenza di quanto

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

osservato precedentemente. Ciò trova maggior riscontro in bibliografia rispetto ai risultati precedentemente espressi.

In Figura 57, 58 e 59 è possibile osservare i grafici a dispersione e le relative curve di regressione tra l'NDVI di giugno e la produzione/ceppo, la produzione/germoglio e i solidi solubili in Sangiovese.

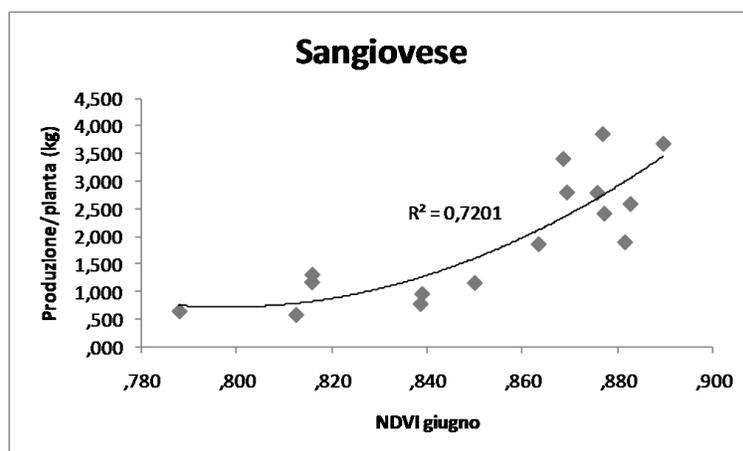


Figura 57: Grafico a dispersione tra la produzione/pianta e l'NDVI di giugno in Sangiovese.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

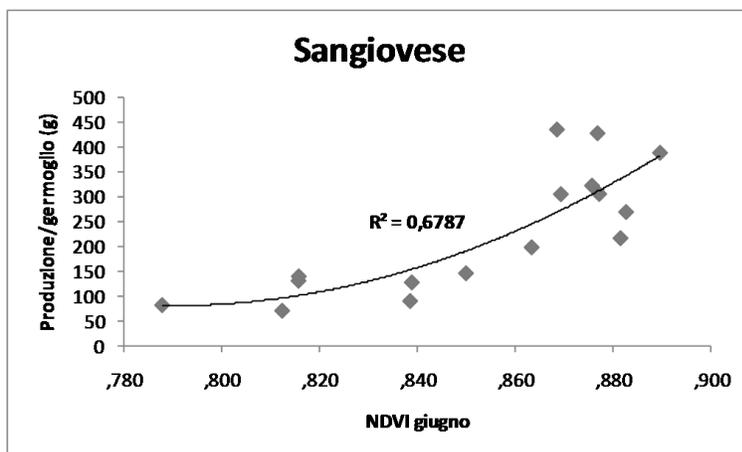


Figura 58: Grafico a dispersione tra NDVI di giugno e peso della produzione/germoglio in Sangiovese.

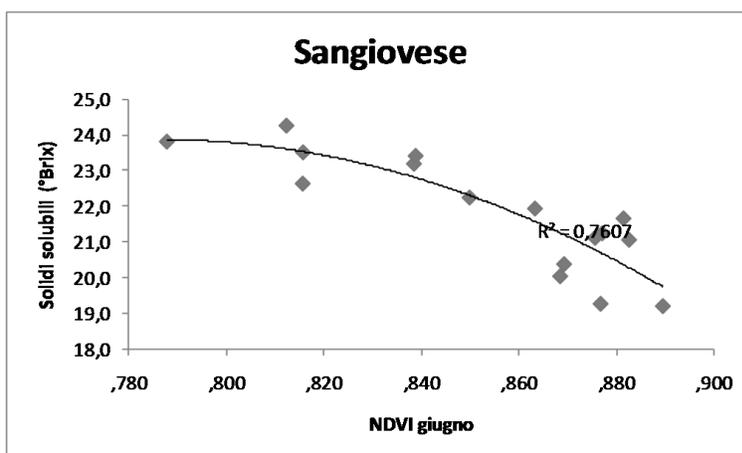


Figura 59: Grafico a dispersione tra NDVI di giugno e zuccheri in Sangiovese.

Allo stesso modo è possibile osservare nelle Figure 60, 61 e 62 le medesime relazioni nel caso del Cabernet S.

3. Risultati e discussione. Linea di ricerca A.2.

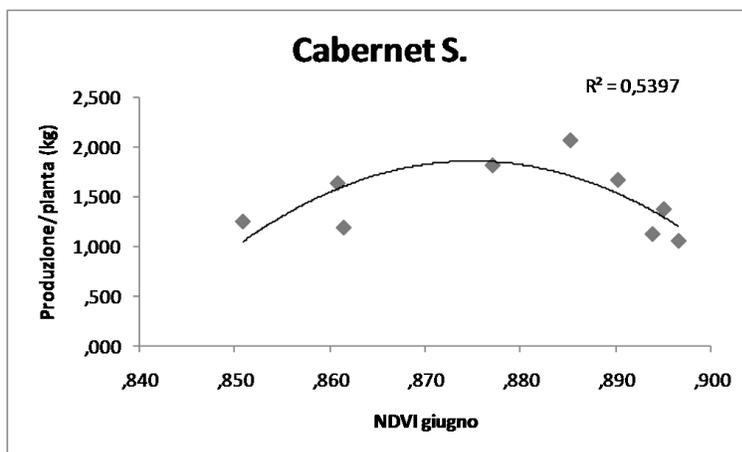


Figura 60: Grafico a dispersione tra la produzione/pianta e l'NDVI di giugno in Cabernet S.

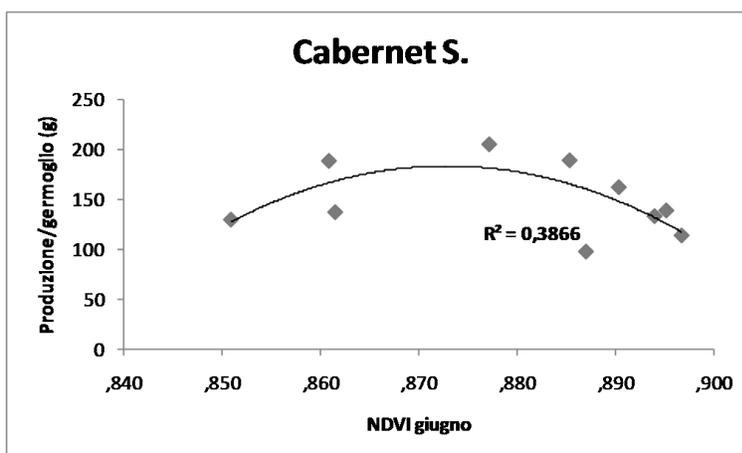


Figura 61: Grafico a dispersione tra NDVI di giugno e peso della produzione/germoglio in Cabernet S.

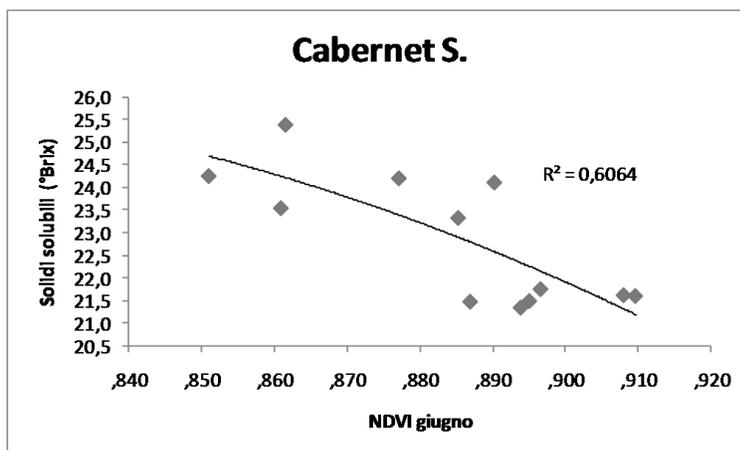


Figura 62: Grafico a dispersione tra NDVI di giugno e zuccheri in Cabernet S.

A differenza di quanto osservabile in Sangiovese, in cui l'NDVI non sembra limitare l'accumulo di sostanza secca a livello di singolo germoglio e di pianta in generale, nel caso del Cabernet S. si nota come la produzione/pianta e per germoglio tendano a raggiungere valori ottimali ad NDVI di circa 0,870, valore oltre il quale la competizione con i germogli per i fotosintati impedisce accumuli ulteriori.

4. Conclusioni.

La variabilità esistente in vigneto può essere descritta e monitorata utilizzando differenti tipi di rilievi, sia di tipo tradizionale e quindi manuale sia di nuova concezione e basati su strumenti di *remote* e *proximal sensing*. Le differenti risposte produttive riscontrabili tra differenti vigneti ed all'interno di uno stesso appezzamento sono perlopiù causate da fattori spaziali, a differenti

scaie di interesse, temporali e dall'insieme delle pratiche di gestione delle chiome utilizzate per modificare l'equilibrio vegeto-produttivo delle piante e il microclima della copertura vegetale. Da questo punto di vista, i rilievi eseguiti mediante strumenti di *proximal sensing* si sono rivelati adatti a descrivere con un notevole livello di dettaglio la situazione realmente osservabile in vigneto ed hanno permesso di evidenziare le differenti fonti di variabilità, spaziale, temporale ed antropica. Ciò permette, da un lato, di poter effettuare monitoraggi approfonditi del vigneto con metodi rapidi e durante le comuni operazioni colturali, in quanto è possibile equipaggiare con tali strumenti qualsiasi macchina operatrice, da un altro, di applicare in modo sito-specifico i differenti fattori della produzione e le varie operazioni di gestione della chioma, in funzione di una situazione osservabile in campo e di un obiettivo tecnologico desiderato.

Infine, le analisi legate ai parametri produttivi indicano un'ulteriore potenzialità di tali tipi di pratiche: la possibilità di effettuare delle stime precoci di produzione, sia a livello di peso della produzione per pianta, e di conseguenza valutare le rese/ha, sia a livello di parametri qualitativi raggiungibili dalle differenti zone omogenee in vigneto. Tali stime, effettuabili già in fase di pre-allegagione, offrono la possibilità di adottare azioni correttive nel caso di produzioni non confacenti agli obiettivi tecnologici preposti.

Gli indici di vegetazione utilizzati in tale studio si sono dimostrati delle valide alternative ad una serie di parametri comunemente

utilizzati nella descrizione delle *performance* vegeto-produttive del vigneto e delle caratteristiche delle chiome, i quali si rivelano nella maggior parte dei casi delle metodiche complesse e spesso troppo dispendiose, soprattutto perché richiedono tempi di esecuzione molto lunghi e conoscenze specifiche: i rilievi strumentali ovviano a tali carenze, permettendo di effettuare rilievi in continuo durante le comuni pratiche agronomiche e non richiedono particolari conoscenze; ciò, in ogni caso, deve essere considerato come uno strumento in grado di affiancare i tecnici nei processi decisionali aziendali, in quanto l'elaborazione dei dati e, soprattutto, la loro corretta interpretazione non può prescindere dalle professionalità tipiche di agronomi e tecnici del settore.

Bibliografia.

Balsari P, Scienza A., 2003. Forme d'allevamento della vite e modalità di distribuzione dei fitofarmaci. Milano, Edizioni L'Informatore agrario.

Bramley R.G.V., Hamilton R.P., 2004. Understanding variability in wine grape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10: 32-45

Brancadoro L. et al., 2006. Viticoltura di precision assistita da satellite in Franciacorta. *VQ*, 2: 23-33.

Dial G. et al., 2003. IKONOS satellite, imagery and products. *Remote Sensing of Environment*, 88: 23-36.

Dobrowsky S.Z. et al., 2002. Remote estimation of wine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: determining optimal vegetation indices. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8 (2): 117-125.

Dry, P.R., 2000. Canopy management for fruitfulness. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6: 109-115.

Fregoni M., 1998. Viticoltura di qualità. Ed. L'informatore agrario.

Gitelson A.A., 2004. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of Plant Physiology*, 161: 165-173.

Goutouly J.P. et al. 2006. Characterization of vine vigour by ground based NDVI measurements. 6th International Terroir Congress, Bordeaux (France).

Hall A. et al., 2002. Optical remote sensing application in viticulture – a review. Australian Journal of Grape and Wine Research, 8: 36-47.

Helder D. et al., 2003. IKONOS geometric characterization. Remote Sensing of Environment, 88: 69-79.

Huete A.R., 1988. A soil adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25: 295-309.

Profitt T. et al., 2006. Precision viticulture. A new era in vineyard management and wine production. Adelaide, WineTitles.

Roudie P., 2001. Vous avez dit "Terroir"? Essai sur l'évolution d'un concept ambigu. Un raisin de qualité: de la vigne à la cuve. V e V. P. Internationals. Bordeaux, France: 7-11.

Smart R. e Robinson M., 1991. Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management. Adelaide, WineTitles.