

Consorzio Tuscania – Del. CIPE 35/2004– Relazione scientifica 2008–2010



Relazione scientifica finale

Linee di ricerca A1–A2

L. Genesio, F.P.Vaccari, T. De Fillippis, A.Matese, E. Fiorillo,
S. Di Gennaro, L. Rocchi, J. Primicerio, F. Maselli, B. Gioli

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto di Biometeorologia (CNR IBIMET), Via G. Caproni 8,
50145, Firenze – Italia



6 dicembre 2010

Indice generale

Introduzione	3
1. Meteorologia e micrometeorologia del vigneto	7
1.1 Stato dell'arte ed obiettivi del progetto di ricerca	8
1.2 Sviluppo di una rete di rilevazione	15
1.3 Descrizione del dataset meteo Toscana	28
1.4 Caratterizzazione climatica delle annate e dei vigneti	35
1.5 Land e Proximity indicators	56
1.6 Caratterizzazione della micrometeorologia del vigneto in varie condizioni di gestione agronomica	67
1.7 Micrometeorologia e qualità	127
2. Valutazione Multiscala della potenzialità enologica del vigneto	130
2.1. Introduzione al telerilevamento in viticoltura	130
2.2 Analisi da telerilevamento aereo	141
2.3 Analisi multiscala	153
3. Geo-db e visualizzatore	174
3.1 Attività svolte	176
3.3 Test e debugging del sistema	192
3.3 Manutenzione ed aggiornamento	192
3.4 Integrazioni allo sviluppo del geodb	194
3.5 Criticità	195
3.6 Il geoportale ed il visualizzatore	196
4. Bibliografia	199

Introduzione

Il settore vitivinicolo italiano ha conosciuto nel corso degli ultimi 30 anni una profonda evoluzione, con l'ammodernamento degli assetti produttivi delle aziende finalizzato all'ottenimento di livelli qualitativi più elevati, che ha permesso una maggiore competitività delle produzioni italiane sui mercati internazionali.

Questi cambiamenti hanno comportato un radicale rinnovamento del patrimonio viticolo ed una revisione delle tecniche agronomiche con la finalità, da un lato, di massimizzare il potenziale enologico dei territori, e dall'altro, di ottimizzare gli input al vigneto in un'ottica di minimizzazione dei costi e di tutela ambientale.

È in questo contesto che si è fatto strada il concetto di viticoltura di precisione ovvero di un approccio gestionale e produttivo sito-specifico improntato alla ottimizzazione di ogni singolo vigneto o porzione di esso.

Questo approccio innovativo è stato possibile grazie allo sviluppo ed al perfezionamento di tecniche di monitoraggio e mappatura dei vigneti basate sul remote sensing aereo e satellitare, unitamente allo sviluppo di macchine operatrici basate sulla cosiddetta *Variable Rate Technology* (VRT), in grado di effettuare una gestione differenziata di varie porzioni del vigneto sulla base di input georiferiti.

Il concetto di *information based management*, ha in parallelo fornito un notevole impulso per lo sviluppo sia di ricerche mirate ad una miglior comprensione dei meccanismi eco-fisiologici della vite ed alla sua risposta alle diverse pratiche di

gestione agronomica, che di sistemi informativi finalizzati alla gestione dell'informazione geografica ed alla fornitura di strumenti decisionali per le aziende secondo una logica di sotto-zonazione.

La diffusione di queste tecnologie a costi sempre più accessibili, ha trovato terreno fertile nella necessità delle aziende di gestire estensioni territoriali sempre maggiori sulla base di criteri oggettivi.

In questo contesto si inserisce la sperimentazione portata avanti dal CNR IBIMET nell'ambito del progetto di ricerca Consorzio Tuscania nelle linee di ricerca A1 "Sperimentazione viticola integrata attraverso diverse modalità di gestione della chioma" ed A2 "Valutazione Multiscala della potenzialità enologica del vigneto".

Sulla base del disegno sperimentale del progetto, la ricerca portata avanti da IBIMET, in collaborazione con gli altri partner di progetto, si è concentrata sugli aspetti seguenti:

Per la linea di ricerca A1:

- Analizzare la variabilità inter ed intra-vigneti attraverso la caratterizzazione topoclimatica e pedologica;
- Monitorare i parametri meteorologici in modo da caratterizzare la variabilità dovuta all'annata;
- Monitorare i parametri micrometeorologici di foglia e grappolo e correlarli con le analisi ecofisiologiche svolte da IASMA.

Per la linea di ricerca A2

- analizzare la variabilità interna e tra i vigneti attraverso gli strumenti di telerilevamento fornendo informazioni per la caratterizzazione dei vigneti sperimentali;
- integrare i risultati con le analisi di tipo ecofisiologico e micrometeorologico svolte nel modulo A1 e confrontare la variabilità ottenuta con le analisi di qualità delle uve verificando la capacità degli strumenti impiegati di discriminare effettivamente i livelli qualitativi;
- definire in seguito a questa indagine dei nuovi indicatori telerilevati delle potenzialità enologiche;
- testare la validità degli indici arrivando ad orientare la vendemmia tramite l'individuazione di classi omogenee di raccolta.

Trasversalmente rispetto alle due linee di ricerca A1 e A2, IBIMET ha inoltre portato avanti una attività di servizio a tutte le linee di ricerca viticole ed enologiche, che visto gli elevati contenuti innovativi può essere considerata una ulteriore linea di ricerca: lo sviluppo di un geodatabase open source per la gestione dei dati di progetto e di un visualizzatore internet.

I risultati della sperimentazione presentati in questa relazione, sebbene non possano considerarsi esaustivi vista la notevole mole di dati raccolti ancora da analizzare, forniscono indicazioni importanti sulle nuove frontiere della ricerca in

viticoltura e sull'efficacia, sul piano operativo aziendale, dei nuovi strumenti di monitoraggio finalizzati alla viticoltura di precisione ed alla gestione dell'informazione.

Linea di ricerca A1

1. Meteorologia e micrometeorologia del vigneto

L'andamento meteorologico stagionale è fondamentale nel determinare la variabilità della qualità e quantità delle produzioni agricole.

In questo senso, nel settore della modellistica dello sviluppo fenologico sono stati profusi notevoli sforzi volti all'interpretazione delle relazioni esistenti tra i parametri ambientali e la dinamica dello sviluppo delle colture (Bindi, 1995). Tra i numerosi approcci proposti, i più semplici si basano sul concetto delle "unità termiche" e sull'assunzione dell'esistenza di una relazione lineare tra le sommatorie termiche e lo sviluppo (Gilmore, 1957; Monteith, 1977); mentre nei più dettagliati il concetto delle unità termiche è corretto per tener conto della diversa risposta varietale alla temperatura nelle varie fasi di sviluppo (Miglietta, 1996). Recentemente sono stati inoltre sviluppati nuovi approcci basati sull'applicazione delle reti neurali artificiali (Elizondo et al., 1998).

In ambito viticolo sono stati sviluppati numerosi indici sintetici quali (Winkler, Huglin, Sommatoria escursioni termiche, etc.). Alcuni autori hanno inoltre messo in relazione gli indici basati su parametri meteorologici con specifici aspetti qualitativi delle produzioni viticole (Fregoni, 2000; Gladstone, 1992; Ramos, 2008).

Nonostante il loro ampio utilizzo, un limite di questi indici è rappresentato dal fatto che essi vengono calcolati a partire da dati che hanno una risoluzione spaziale e temporale non adeguata a rappresentare la reale variabilità che può verificarsi all'interno di un comprensorio o anche di un singolo vigneto.

La sperimentazione portata avanti dal Consorzio Tuscania, grazie al sistema di monitoraggio implementato, ha permesso di mettere in evidenza, attraverso una valutazione oggettiva, come le condizioni microclimatiche presenti all'interno della vegetazione siano sostanzialmente diverse da quelle che possono essere registrate all'esterno del vigneto da stazioni meteorologiche tradizionali e come le stesse condizioni microclimatiche vengano influenzate dalle pratiche di gestione agronomica della chioma.

1.1 Stato dell'arte ed obiettivi del progetto di ricerca

Numerosi studi dimostrano come le variabili meteorologiche e micrometeorologiche ricoprano un importante ruolo sulla risposta vegeto-produttiva della vite e di conseguenza sulla qualità delle produzioni.

Fra le diverse componenti del terroir il clima riveste un ruolo di primaria importanza, infatti i fattori che determinano la qualità delle uve prodotte dal vigneto sono riconducibili all'ambiente di coltura. Possiamo definire il clima come la successione delle condizioni atmosferiche nell'anno, tipica di un dato punto della superficie terrestre. Gli elementi che lo definiscono, per quanto concerne i parametri fisici misurabili, sono: la radiazione solare, la temperatura, la pressione atmosferica, le precipitazioni. Diversi sono i metodi che hanno preso in considerazione le variabili climatiche più importanti al fine di stabilire la diversa predisposizione enologica dei territori, soprattutto allo scopo di individuare i vitigni che meglio vi si possono adattare.

In particolare la radiazione solare e la temperatura a livello del grappolo sono riconosciuti in bibliografia come parametri fondamentali per la composizione e il metabolismo degli acini, direttamente in relazione con la produzione degli zuccheri, ma anche di altri metaboliti secondari che caratterizzano la qualità delle uve (Spayd et al., 2002). Infatti la radiazione solare diretta sui grappoli aumenta la loro temperatura e, durante il giorno, questa può raggiungere valori più elevati di 11°C (o più) rispetto a quella di grappoli non esposti (Kliewer, Lider, 1968; Reynolds et al., 1986; Haselgrove et al., 2000; Spayd et al., 2002).

Poca radiazione intercettata può provocare una diminuzione delle dimensioni (Morrison, Noble, 1990) e un ritardo nella

maturazione dei frutti (Rojas-Lara, Morrison, 1989). Inoltre, il contenuto di solidi solubili totali (SST) risulta limitato, la concentrazione di potassio e il pH del succo più elevati (Smart et al., 1985; Rojas-Lara, Morrison, 1989; Morrison, Noble, 1990) e l'acidità titolabile più elevata (Crippen, Morrison, 1986; Kliewer, Lider, 1968; Morrison, Noble, 1990). Bergqvist (2001) ha attribuito la diminuzione dell'acidità titolabile, osservata in seguito all'aumento dell'esposizione alla radiazione solare, all'incremento nella degradazione dell'acido malico a causa delle temperature più elevate nei frutti esposti. Il minor accumulo di SST nei grappoli ombreggiati potrebbe essere il risultato di un effetto combinato di minori temperature degli acini (da 6 a 10 °C inferiori) (Smart et al., 1990) e della minore intensità luminosa su parte delle foglie, oppure potrebbe rappresentare soltanto un ritardo della maturazione (Kliewer, Lider, 1968; Smart et al., 1990). Diversi autori hanno evidenziato che l'ombreggiamento del grappolo può rallentare l'accumulo degli antociani (Rojas-Lara, Morrison, 1989; Morrison, Noble, 1990; Gao, Cahoon, 1994; Dokoozlian, Kliewer, 1996; Haselgrove et al., 2000; Bergqvist et al., 2001; Spayd et al., 2002; Jeong et al., 2004) poiché la carenza di luce può rivelarsi un fattore limitante soprattutto durante i primi stadi della maturazione (Haselgrove et al., 2000). Dokoozlian e Kliewer (1996) ipotizzavano che, per una massima produzione di pigmenti nelle bucce, sia necessaria l'esposizione dei grappoli alla luce prima dell'invasatura, mentre una volta iniziato l'accumulo dei pigmenti, la luce serve per mantenere la massima attività di diversi enzimi della biosintesi delle antocianine (Roubelakis-Angelakis, Kliewer, 1986; Dokoozlian,

Kliwer, 1996). Diversi studi sono d'accordo sul fatto che temperature eccessivamente elevate, quali quelle derivate dall'esposizione diretta dei grappoli alla luce, sono determinanti nel diminuire l'accumulo degli antociani nelle bucce (Haselgrove et al., 2000; Bergqvist et al., 2001; Spayd et al., 2002; Mori et al., 2005). Acini esposti ai primi stadi del loro sviluppo sono più resistenti, ma anche questi possono essere danneggiati se esposti a temperature superiori a 32 °C. Il danno può essere sotto forma di eritema solare oppure anche la metà del grappolo può essere distrutta (Jackson, 1997).

Quindi, l'effetto della temperatura può variare molto in funzione dello stadio di sviluppo (Yamane et al., 2006): variazioni di temperatura durante la fase immediatamente precedente l'invasatura hanno un effetto maggiore sull'espressione dei geni della via biosintetica delle antocianine e sull'accumulo degli antociani (Mori et al., 2005). Gli enzimi coinvolti nella via biosintetica degli antociani mostrano una temperatura ottimale per la loro attività tra i 17 e i 26 °C (Pirie, 1977). Infatti, in condizioni di temperature elevate, l'attività degli enzimi collegati alla biosintesi delle antocianine è stata inibita (Mori et al., 2005) e si ipotizza che temperature intorno ai 35 °C possano inibire la sintesi degli antociani e/o aumentarne la degradazione per un periodo del giorno più o meno prolungato (Haselgrove et al., 2000).

Numerosi studi hanno dimostrato che esiste un optimum di temperatura nel range tra 25°C e 32°C (Jackson, 2001). Qualsiasi temperatura sotto di questo range ottimale diventa fattore limitante per la crescita vegetativa. Temperature al di sopra del range ottimale riducono il tasso di fotosintesi per

l'aumento della respirazione (Gladstone, 1992). L'attività fotosintetica è ottimale a 24°C per i climi freschi e 28°C per i climi più caldi. La coltivazione della vite avviene principalmente tra le latitudini di 30° a 50°, il che equivale in genere a temperature medie annuali di 10° C e 20° C (Jackson, 2001). Studi hanno dimostrato che lo sviluppo di uva e l'inizio del germogliamento non inizia fino a quando non è stata raggiunta una temperatura compresa tra 7°C e 11°C (Jackson and Spurling, 1988; Fitzharris and Endlicher, 1996). Tuttavia, questa temperatura di soglia dipende anche dalla latitudine, dal vitigno e dall'annata (Galet, 2000). Con l'aumentare della temperatura al di sopra di questa soglia, la crescita avviene all'interno di tutte le parti della vite fino a quando si raggiunge il tasso di crescita ottimale. Qualsiasi temperatura più alta fa sì che la fase di crescita si fermi (Jackson, 2001).

Considerata l'importanza dei parametri micro-meteorologici ai fini del risultato qualitativo, in un contesto di viticoltura di precisione, la conoscenza della loro variabilità all'interno del vigneto e delle cause alla base di questa variabilità, diventa fondamentale per comprendere ed applicare la strategia di gestione migliore.

In questo quadro, le tecnologie che utilizzano reti di sensori wireless (WSN), possono essere utili ed efficaci per consentire il monitoraggio remoto e in tempo reale dei parametri micrometeorologici. Una WSN è composta da vari moduli sensore collegati ad un nodo attraverso un ponte radio, che trasmette i dati dai moduli ad una stazione base in cui sono

memorizzati i dati. Nella viticoltura di precisione la WSN può essere fondamentale in tutti quei casi in cui l'accesso per la misura dei parametri ambientali è difficile e quando si richiede la presenza di una stazione di monitoraggio multi-puntuale. I principali parametri micro meteorologici che svolgono un ruolo importante nella PV sono:

- il profilo di temperatura giornaliera, in particolare nel mese precedente alla maturazione che è uno dei fattori ambientali più importanti per la qualità delle uve e di conseguenza per la qualità del vino (Winkler et al, 1974.);
- la temperatura del grappolo che fornisce informazioni importanti sulla maturazione fenolica composti (Castia et al, 1992.);
- il potenziale idrico del suolo che consente di monitorare le disponibilità d'acqua per ogni fase fenologica, al fine di fornire irrigazione nei periodi di stress idrico (Sivilotti et al, 2005.);
- i dati di bagnatura fogliare che permettono di gestire con precisione i trattamenti in vigneto, dal momento che micro-aree con alta umidità sono più suscettibili alle malattie fungine (Johnson e Robinson, 2001);
- infine la radiazione solare che ha una notevole influenza sulla biosintesi dei composti fenolici (Downey et al., 2006).

Una panoramica dei recenti sviluppi nelle tecnologie di sensori wireless e standard per la comunicazione wireless hanno dimostrato che ne esistono molti tipi, Wi-Fi (IEEE 802.11b) (Pierce e Elliott, 2008) Bluetooth (IEEE 802.15.1), ZigBee (IEEE 802.15.4) (Morais et al., 2008) e comunicazione

radio a 433MHz. Lo standard di trasmissione a 433MHz fornisce una performance migliore tra i protocolli di trasmissione elencati in termini di portata del segnale, infatti consente la migliore copertura a distanza (433MHz 200m, Wi-Fi 100m, e ZigBee 70m e Bluetooth 10m (Wang et al., 2006)) che è un fattore molto importante in un sistema di monitoraggio del vigneto multi-puntuale.

A partire dagli obiettivi elencati nell'introduzione, gli obiettivi specifici su cui si sono concentrate le attività di ricerca sono strutturati come segue:

- Sviluppo di una rete di rilevazione WSN nel vigneto con descrizione delle problematiche riscontrate e soluzioni adottate;
- Creazione del dataset, consistenza e procedure di validazione;
- Caratterizzazione climatica delle annate e dei vigneti;
- Caratterizzazione micrometeorologia dell'eterogeneità all'interno di vigneti sperimentali;
- Caratterizzazione micrometeo in varie condizioni di gestione agronomica e successiva identificazione di best indices che caratterizzano e discriminano al meglio queste pratiche;
- Caratterizzazione Land e Proximity indicators: importanza della scala di rilevazione;
- Caratterizzazione di micro zone all'interno del vigneto utilizzando i dati di potenziale idrico della rete WSN implementata;

- Correlazione di questi indici micrometeorologici e qualità delle uve: analisi esplorativa utilizzando i dati 2008 e 2009 sui parametri micrometeo come indicatori della qualità delle uve (ovvero: quanta parte della variabilità della qualità riusciamo a spiegare con i parametri micrometeo);
- Risvolti operativi.

1.2 Sviluppo di una rete di rilevazione

Nell'ambito del progetto Consorzio Tuscania, è stato implementato un sistema WSN chiamato NAV (Network Avanzato per il Vigneto) per monitorare e raccogliere i dati agro e micrometeorologici del vigneto e capire l'influenza di diverse pratiche di gestione del canopy sulla qualità del vino.

Progettazione del sistema

Il sistema NAV comprende una stazione base (Master Unit) e una serie di nodi wireless periferici (Slave Unit) posizionati nella vigna. L'Unità Master (MU) è una tipica stazione di monitoraggio single-point che raccoglie i dati agrometeorologici. Le Unità Slave (SU) sono più stazioni collocate nel vigneto con sensori specifici per il monitoraggio dei dati agrometeorologici di precisione, utilizzando la tecnologia wireless per trasmettere alla MU. Un server remoto centrale è predisposto per la ricezione, la memorizzazione e

l'elaborazione dei dati provenienti dalla MU. Un software di gestione di rete fornisce la configurazione hardware e gestisce sia le funzioni di trasmissione che archiviazione dei dati.

L'Unità Master (MU)

La MU ha la capacità di gestire fino a 20 SU, con una copertura di segnale fino a 200m. La MU acquisisce dati con un intervallo di tempo di 5 minuti, e comprende sensori per la misurazione dei principali parametri agrometeorologici quali temperatura dell'aria, velocità e direzione del vento, precipitazione, pressione atmosferica, umidità dell'aria e la radiazione solare globale. I sensori sono conformi agli standard per le stazioni meteorologiche agrometeorologiche della *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* (World Meteorological Organization, 2008). L'hardware della MU si compone di una scheda con microprocessore a 16 bit con capacità di acquisizione di 3 canali digitali (TTL, CMOS, Open Collector Type), 8 canali di ingresso analogici (0-5V o 4-20mA) con risoluzione 16 bit, e 4 canali di input analogico (0-5V o 4-20mA) con 10 bit di risoluzione. I canali analogici sono regolabili per qualsiasi tipo di sensori, cambiando la posizione dei dip-switch che modificano il guadagno (x1, x10, x100). Tre dispositivi di memoria sono installati sulla scheda: una memoria flash per la memorizzazione del firmware, una memoria RAM per la gestione dello storage dei dati e una memoria EPROM non volatile per i parametri di configurazione. Uno slot USB è anche disponibile per ottenere una capacità

extra di memorizzazione dei dati. Il dispositivo senza fili è stato sviluppato utilizzando i moduli di trasmissione radio prodotti da AUREL (mod Aurel. XTR903) e può comunicare con un massimo di 255 nodi che operano nella banda di frequenza ISM 433MHz, con 10dBm (10mW) di potenza a disposizione e una distanza del segnale di circa 200m. Due tipi di attività di trasmissione sono gestiti dalla MU con una frequenza quotidiana: in primo luogo, il MU riceve i dati dalle SU e memorizza queste sulla memoria interna usando il dispositivo di trasmissione radio, in secondo luogo, la MU invia tutti i dati memorizzati al server centrale utilizzando il dispositivo GSM/GPRS (servizio GSM / GPRS a 900MHz e 1,8 GHz). Come porta di backup e manutenzione la stazione dispone di un'interfaccia seriale RS232 che consente il collegamento diretto con un PC in campo. La MU è alimentata da un pannello solare fotovoltaico da 50W e una batteria di backup (12Ah @ 12V) per il funzionamento notturno, assicurando una fornitura di potenza superiore a 3 giorni anche in caso di assenza di radiazione solare.

L'Unità Slave (SU)

La SU è specificamente costruita per l'installazione nel vigneto, per rimanere all'interno dei filari. E' contenuta in un piccolo contenitore metallico (15cm × 20cm × 8 cm) ed è stata sviluppata per ridurre al minimo l'ingombro e per essere compatibile con la gestione tradizionale del vigneto. La SU comprende una scheda a microprocessore RISC a 16 bit con un

singolo canale impulsivo e 5 canali di ingresso analogici a 12 bit di risoluzione. Una memoria da 64 kbit non volatile per l'immagazzinamento dei dati è installato a bordo e permette di registrare sette giorni di dati orari. Un'interfaccia parallela sulla scheda SU permette la configurazione dei parametri e una interfaccia seriale RS232 permette di scaricare i dati in campo. La SU è alimentata con un pannello solare fotovoltaico da 9W e una batteria di backup (@ 6V 4.5Ah). Le SU del sistema NAV sono equipaggiate con i sensori elencati nella tabella 2.

Protocollo di comunicazione

Il sistema prevede due tipi di protocolli di comunicazione. Per quanto riguarda le comunicazioni radio, i moduli sono ricetrasmittitori punto-punto per il trasferimento dati in modalità half-duplex. Essi sono una sorta di cavo virtuale che collega la MU ai nodi (SU). Pacchetti dati, con un massimo di 96 byte di lunghezza, vengono inviati al modulo di trasmissione da un microprocessore che gestisce la radio frequenza (RF) e sincronizza il protocollo con l'antenna. I moduli sono incapsulati in pacchetti speciali, conformi alla norma EN 61000-4-2. I pacchetti ricevuti dal modulo MU-RF vengono decodificati, memorizzati nel buffer di ricezione, confermati e trasmessi al microprocessore. Il microprocessore comunica con il modulo RF utilizzando una connessione RS232. Lo standard CMOS avviene senza controllo di parità, 1 bit di start, 8 bit dati, 1 bit di stop. Gli end bytes non sono necessari in quanto il modulo considera una stringa in entrata terminata

solo quando, per una lunghezza di tempo di 1,5 byte (e comunque non inferiore a 0,5 ms), non sono rivelati altri byte in arrivo alla porta seriale, il che significa che il timeout di scadenza varia a seconda della velocità di trasmissione scelta, da un massimo di 1.6ms (@ 9600 b / s) a un minimo di 0,5 ms (@ 115200 b / s). Il timeout in questa applicazione è stato fissato a 1.6ms in quanto la comunicazione tra i MU e SU è @ 9600 b / s. La trasmissione RF inizia quando la stringa di dati in entrata è terminata. Prima di inviare un nuovo pacchetto di dati alla porta seriale è necessario aspettare che la trasmissione del pacchetto RF precedente sia finita. Tutti i dati che entrano nella porta seriale durante la fase di trasmissione RF sono destinati ad essere irrimediabilmente persi. Il tempo di trasmissione T del pacchetto RF è dato da:

$$T = 3.6\text{ms} (\text{NumByte} / 2) + 0.156\text{ms} \quad (1)$$

dove NumByte è il numero di byte trasmessi. Il modulo è solitamente tenuto in ricezione RF e, una volta che la ricezione della stringa in entrata è finita, passa immediatamente in modalità trasmissione attraverso la porta seriale (pin 5 del connettore di dati). I moduli RF sono concepiti per essere applicati in un sistema di MU-SU (255 SU numero massimo). Per quanto riguarda il Global System for Mobile Communications (GSM), un modem GSM CPE installato sulla MU trasferisce i dati dalla MU al server remoto centrale. Il modem GSM CPE è basata sulla versione OEM di un Siemens TC-35 GSM dual band 900-1.800, integrato sulla scheda madre della MU. Un modem industriale GSM / GPRS (Audiotel-

linea di ricerca A1

Urmet, Bologna, Italia) è utilizzato per la ricezione dei dati sul server remoto centrale. Il modem della MU è in attesa e aspetta il segnale di linea dal server remoto centrale. Quando la connessione è attiva, è possibile ricevere i dati e resettare o programmare la MU, tramite il set di comandi modem AT.

Software

Il firmware caricato nelle CPU delle SU e delle MU è stato sviluppato per ottimizzare il consumo di energia, principalmente attraverso la trasmissione radio dei dati che si attiva una volta al giorno alle 12:00 AM. Il firmware controlla anche l'efficienza del sistema monitorando il livello della batteria. Se il livello di tensione scende al di sotto di una soglia di riferimento il firmware imposta il sistema in modalità di sospensione. Il firmware riattiva il sistema solo dopo un tempo fisso che considera l'isteresi della tensione della batteria. Per ottimizzare l'uso della batteria, tipi diversi di gestione sono stati applicati a diversi tipi di sensori: sensori passivi, come quelli per la radiazione solare e la temperatura possono essere acquisiti ogni 5 s, mentre il sensore del potenziale del suolo, che deve essere riscaldato e alimentato può essere acquisito una volta ogni ora in accordo con la dinamica lenta dell'acqua nel terreno. La MU è inizializzata con il caricamento del codice del firmware tramite collegamento seriale RS232, mentre le SU vengono inizializzate tramite una connessione su porta parallela. Utilizzando le configurazioni di due software, Masterconfig.exe per la MU e Slaveconfig.exe per le SU, entrambi sviluppati con il linguaggio C Borland Builder, è possibile caricare il firmware sui dispositivi e settare le

seguenti funzioni: data e ora, il download e il reset dei dati memorizzati, l'impostazione dei valori di taratura span e offset dei sensori, l'input dei fattori di conversione, la soglia per i parametri dati agrometeorologici, la sincronizzazione e la frequenza di comunicazione MU SU, la frequenza di acquisizione dati e il controllo in tempo reale dei parametri acquisiti. Il software Masterconfig permette all'utente di impostare le funzioni di cui sopra da connessione remota. La procedura di memorizzazione dei dati è gestita mediante il software Scheduler.exe, anche esso sviluppato con il linguaggio C Borland Builder, che è installato sul server remoto centrale e consente l'acquisizione dei dati dalla MU con tecnologia GSM in modalità automatica o manuale. I dati MU e SU sono memorizzati e organizzati. Il software CTuscania.exe, sviluppato nel linguaggio Microsoft Visual Basic 6.0, esegue la procedura di elaborazione dei dati. Esso fornisce le seguenti funzioni accessibili attraverso un'interfaccia user-friendly sia per la MU che per le SU:

- grafici delle serie temporali delle misurazioni dei sensori per periodi selezionati;
- stato della batteria di alimentazione;
- rapporto testuale dei record di dati;
- analisi statistica di base per i parametri selezionati (varianza, media, regressione).

Questo software è necessario al fine di monitorare lo stato corretto del sistema e verificare l'acquisizione in tempo reale dei vari parametri agrometeorologici rilevati dai sensori. Questa caratteristica permette verificare qualsiasi danno o potenziale malfunzionamento dei sensori in modo che possa essere risolto con tempestività.

Sviluppo del sistema

Il sistema N.A.V. è stato installato e testato tra il giugno 2007 e il marzo 2008 su tre vigneti sperimentali del progetto di ricerca "Consorzio Toscana", in tre aree viticole tipiche della Toscana (Italia). Il primo vigneto è Chianti Classico (SI) a 420m slm (sul livello del mare), il secondo a Bolgheri (LI) vicino alla costa a 8m slm, il terzo a Monteregio di Massa Marittima (GR) a 15m slm. Una singola MU e 10 SU sono state installate in ogni vigneto. (Fig. 1.1, 1.2, 1.3) La MU è stata posta al di fuori della vigna in un sito rappresentativo, mentre ogni SU è stata installata all'interno del vigneto, in accordo con la disposizione sperimentale del progetto, al fine di valutare la variabilità microclimatica associata alle pratiche di gestione della chioma. Prima dell'installazione in vigna sono stati realizzati i seguenti test funzionali:

- test di funzionalità hardware e acquisizione dei dati;
- test di alimentazione;

- test di comunicazione radio MU-SU;
- test di trasmissione GSM MU-server centrale.

Per il primo test, l'analisi preliminare è stata eseguita in una camera climatica in laboratorio. Una serie di segnali di riferimento sono stati generati da un calibratore di tensione (Fluke mod.715, Fluke Corporation, Everett, WA, USA) per testare la precisione e la risoluzione dei canali delle schede MU-SU. Le seguenti tarature sono poi state eseguite:

- i sensori a termocoppia sono stati confrontati con un sensore di temperatura standard (PT100, SIT 00.000.238);
- la sensibilità dei sensori di bagnatura fogliare è stato testato con la regolazione dei trimmer sulle schede delle SU;
- i sensori di radiazione del grappolo sono stati calibrati con un sensore di radiazione solare globale (mod Eppley psp 20298F3 sn, Il Eppley Laboratory, Inc., Newport, Rhode Island, USA.);
- i sensori di potenziale del terreno sono stati calibrati con la metodologia descritta da Flint (Flint et al., 2002).

Le prove di alimentazione sono state effettuate con una valutazione preliminare della richiesta di potenza del sistema. Il livello della batteria è stato poi monitorato in mancanza di carica dal pannello solare, mentre il sistema era funzionante. Il controllo della comunicazione radio è stato effettuato con un

trasferimento continuo di dati dalla MU a un ricevitore radio collegato ad un computer portatile al fine di monitorare le prestazioni del segnale radio, in termini di dati raccolti senza perdita, in aree diverse del vigneto. Per quanto riguarda la comunicazione GSM, un test di connettività è stato svolto per confrontare diversi operatori di telefonia mobile, scegliere la migliore copertura disponibile e verificare il trasferimento dati dalla MU al server remoto centrale. Il sistema è stato poi installato in campo una volta completate le procedure di prova. Ogni SU ha le stesse caratteristiche in termini di posizionamento dei sensori e delle apparecchiature. I fili conduttori che collegano i sensori con gli ingressi alle SU sono stati schermati da tubi in PVC per proteggerli dalle normali operazioni di vigneto. I sensori di temperatura sono stati posizionati all'interno della zona di fruttificazione dei filari con uno schermo di protezione dalla radiazione per garantire una migliore accuratezza del sensore. Una volta che i test sul campo e le installazioni sono stati completati, il software CTuscania.exe è stato creato per l'elaborazione dati. Il software permette di generare un file di rapporto completo personalizzabile con esigenze dell'utente in termini di precisione e di calcolare altri dati come gli indici bioclimatici.

Risultati soddisfacenti sono stati raggiunti in termini di consumo di energia e di trasmissione. La prova di alimentazione è stata effettuata sulle batterie delle SU durante 4 giorni di acquisizione dati senza alimentazione.

linea di ricerca A1



Fig. 1.1 Master Unit (MU).

linea di ricerca A1



Fig. 1.2. Slave Unit (SU).

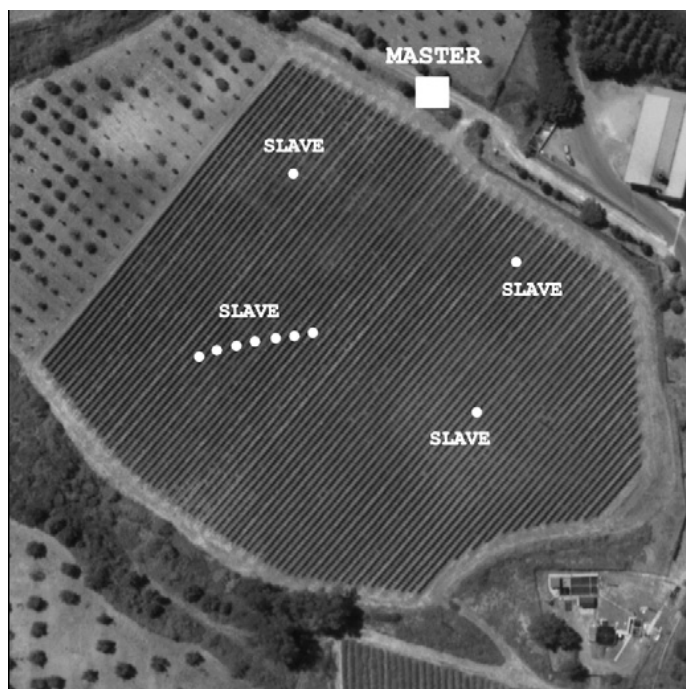


Fig. 1.3. Localizzazione della stazione Master (MU) e delle 10 stazioni Slave (SU) nel vigneto sperimentale di Brolio.

Il test ha confermato che un nodo del sistema NAV potrebbe funzionare per almeno 3 giorni senza carica dal pannello solare durante i periodi di scarsa radiazione solare causata da cielo coperto. Quando il livello della batteria è sceso a 4800mV, il software mette il sistema in modalità sospensione fino a quando il pannello solare ha ricaricato la batteria al di sopra di questa soglia. Il software ha permesso un monitoraggio del sistema in tempo reale, e ha segnalato quando la batteria non reggeva più la carica e ha avuto bisogno di essere sostituita. I test di trasmissione radio tra SU e MU hanno dimostrato che

questo tipo di tecnologia senza fili è in grado di garantire una performance soddisfacente in termini di rapporto tra pacchetti dati ricevuti e inviati all'interno della distanza di connessione di 200m. Tuttavia le prestazioni di trasmissione radio è diminuita rapidamente al di sopra di tale distanza. L'elaborazione dei dati di output ha prodotto file di testo con il riassunto dei parametri agrometeorologici acquisiti; il software fornisce anche grafici orari, giornalieri o dati e tendenze ad intervalli temporali più lunghi.

1.3 Descrizione del dataset meteo Tuscania

La consistenza del dataset meteo corrisponde al disegno sperimentale predisposto dal progetto Consorzio Tuscania per le linee di ricerca A1 ed A2. Le reti di rilevazione sono state quindi implementate nei 4 vigneti sperimentali di Brolio, Donna Olimpia, Cacciagrande e Cortigliano, in modo da monitorare le diverse tesi di gestione della chioma:

1. differenti cariche di gemme nella forma di allevamento del cordone speronato;
2. sfogliatura della parte basale del tralcio in fioritura-allegagione (codice BBCH: 69-71);
3. diradamento dei grappoli ad inizio invaiatura (BBCH: 81).

Inoltre, utilizzando le immagini multispettrali dei voli aerei preliminari, descritte in dettaglio nella linea A2, sono state

individuare delle aree omogenee di alta, media e bassa vigoria o efficienza fotosintetica. Queste sono state delimitate creando dei blocchi sperimentali e al loro interno sono state disegnate delle parcelle su cui applicare una diversa pratica di gestione della chioma (differenti carichi di gemme, sfogliatura, carico di diradamento dei grappoli). La combinazione dei tre trattamenti ha fornito 8 tesi da applicare ad ogni blocco di vigoria, 85 piante per tesi quindi 680 piante per blocco, per un totale di 9520 piante gestite secondo il disegno sperimentale.

Considerando la vastità del disegno sperimentale, si è ritenuto opportuno di concentrare la rilevazione dei parametri micro meteorologici sulle aree di alta vigoria, per le quali sono stati monitorati i parametri di tutte le tesi (8 tesi). In un'ottica di sotto-zonazione viticola è stata inoltre monitorata una tesi per ogni blocco di bassa e media vigoria.

Il dataset completo della sperimentazione comprende 4 anni di dati (2007, 2008, 2009, 2010) per i parametri delle stazioni Master con una risoluzione a 15 minuti, e 3 anni di dati (2008, 2009, 2010) per le stazioni Slave con una risoluzione di 30 minuti. I parametri monitorati e acquisiti sono di seguito descritti e riepilogati nell'allegato (Allegato 1.1)

Descrizione dei sensori delle stazioni Slave

I sensori utilizzati per le stazioni Slave sono i seguenti:

- temperatura interna del grappolo misurata con una termocoppia tipo T schermata in resina. Questo tipo di

sensores è stato scelto in base a caratteristiche non invasive, economiche e di efficienza.

- temperatura superficiale della cortina fogliare misurata con un sensore infrarosso a termocoppia tipo K. Questo sensore permette una misura della temperatura con una buona precisione nel range di temperatura della cortina fogliare nel periodo vegetativo.
- potenziale idrico del suolo a 2 profondità (30-60 cm) stimato con sensori Campbell 229-L a dispersione termica dotati al loro interno di un sensore di temperatura che fornisce anche una misura di temperatura del terreno. Questo sensore ci permette di avere una duplice misura delle caratteristiche del suolo (temperatura e potenziale idrico) a differenza di quelli classici per l'umidità, utilizzando un solo canale di acquisizione nella scheda.
- bagnatura fogliare di tipo standard.
- temperatura dell'aria misurata con termocoppia tipo T con schermo antiradiazione, sensore standard per efficienza ed economicità.
- velocità del vento nell'interfilare stimato con sensore ad impulsi (reed). Questa tipologia di sensore è quella più indicata per l'installazione in vigneto, in quanto presenta caratteristiche di robustezza e resistenza agli agenti atmosferici.
- sensore di radiazione all'interno della cortina (installato in prossimità del grappolo). Il sensore utilizzato è un prototipo realizzato per le esigenze di

linea di ricerca A1

progetto. Esso ha la forma di un “acino” realizzato in teflon con affogato al suo interno un sensore a fotocella. Questa tecnologia permette di monitorare la radiazione assorbita dal grappolo simulando in maniera ottimale la superficie esposta.

Il protocollo di installazione dei sensori delle stazioni slave è all'allegato 1.2.

Nel nostro studio si è data molta importanza al monitoraggio del grappolo rispetto agli studi di micrometeorologia in bibliografia, che vengono fatti utilizzando dei sensori per monitorare la temperatura dell'aria (Cola et al., 2009). Infatti, il sensore di temperatura dell'aria, essendo installato nella posizione descritta (sopra la sesta foglia), non risente dell'influenza delle tesi di gestione e possiamo quindi dire che è una misura caratteristica della canopy. Il sensore sul grappolo, invece, è significativo della tesi anche se è bene precisare che il grappolo scelto, nel corso della stagione, può perdere la rappresentatività della tesi per vari motivi (accrescimento pianta, passaggio di trattori, patologie).

Per quanto concerne la disposizione dei due sensori nel grappolo dobbiamo premettere che il grappolo campione è stato scelto come rappresentativo di una media della condizione in un determinata pratica di gestione e non come massima espressione della pratica stessa. Quindi, a titolo di esempio, per il grappolo rappresentativo della pratica di gestione sfogliata non è stato scelto il grappolo più esposto ma quello caratteristico di una media esposizione nella area

defogliata. Molti autori nei loro studi (Chorti et al., 2007) usano tesi diverse come condizioni di illuminazione indotte mediante sfogliatura od apposizione di reti ombreggianti in modo da accentuare le diversità di ricezione della radiazione solare.

L'obiettivo degli esperimenti che riguardano gli effetti della esposizione solare sulla composizione dei grappoli dovrebbe essere quello di chiarire l'effetto della variazione della radiazione in ambiente naturale. Utilizzando reti ombreggianti si ha una riduzione della radiazione in termini quantitativi e non a livello di qualità della luce. Infatti tre starti di reti al 50% riducono il rapporto R:FR (red/far-red photon flux ratio) da 1.07 a 0.99 (Smart et al, 1987). Quindi trattamenti che utilizzano le reti ombreggianti simulano efficacemente l'effetto dell'aumento della copertura nuvolosa senza variare la qualità della luce incidente che può portare ad implicazione per le performance della pianta.

Test della sensoristica:

Durante la stagione invernale e prima della ripresa vegetativa i sistemi NAV sono stati rimossi dai vigneti sperimentali per una settimana al fine di eseguire una cross-calibration delle stazioni ed il confronto con i sensori di riferimento, test dei sistemi di acquisizione e di trasferimento dati. Nell'ambito di questa procedura si sono ottenuti i coefficienti di calibrazione (valori di span ed offset) per ogni singolo canale delle stazioni slave, gli stessi valori sono stati integrati nella procedura di importazione dei dati nel geodb che

linea di ricerca A1

dunque archivia sia il dato grezzo che quello calibrato.
(Allegato 1.3)

Validazione dei dati

I dati grezzi provenienti dalle stazioni di monitoraggio vengono analizzati usando una procedura realizzata con il programma Matlab® chiamata CheckCT_year.m (Allegati 1.4 – 1.5 – 1.6).

In questa procedura sono implementati i fattori span e offset di conversione per ogni anno, seguendo le indicazioni delle procedure di cross-calibrazione delle slave che vengono effettuate ogni anno, prima della messa in vigna (1° Marzo).

Per i sensori di temperatura sono comunque state applicate delle soglie di tolleranza del dato tra -20°C e $+50^{\circ}\text{C}$. Anche per il sensore di radiazione è stata settata una soglia di tolleranza che per i valori inferiori a 25 Wm^{-2} il dato è da considerarsi uguale a 0.

Poi sono state controllate le serie di dati in maniera “visual” cercando di individuare degli outlier e spike (es. ci sono alcune slave che di giorno hanno $4-5^{\circ}\text{C}$ in più di quella con lo stesso trattamento, in questo caso può darsi un mal posizionamento del sensore).

Una volta appurata la bontà del dato sono state create le serie dei dati, per ogni stazione meteo, utilizzando la procedura chiamata Matrix_HY_Year.m. (Allegati 1.7 – 1.8 – 1.9). In questo modo è stato possibile visualizzare i periodi in cui il dato era mancante. Successivamente sono state utilizzate delle

linea di ricerca A1

procedure di gap-filling. Per i dati Master sono state utilizzate le stazioni agro-meteorologiche ARSIA vicine, mentre per le stazioni Slave sono state utilizzate le serie di dati delle stazioni Master dello stesso vigneto come covariata. Infatti sono stati ricreati i dati mancanti applicando una funzione lineare di regressione tra serie Master e Slave.

1.4 Caratterizzazione climatica delle annate e dei vigneti

Caratterizzazione bioclimatica

La caratterizzazione climatica dei vigneti sperimentali su 4 annate (2007–2010), ha permesso di descrivere le rispettive zone a vocazione vitivinicola ed in particolare: una zona del comprensorio del Chianti Classico, prossima a Gaiole in Chianti (Siena), rappresentata dall'azienda Castello di Brolio; la zona di Bolgheri (Livorno) presso l'azienda Donna Olimpia 1898, ed infine la zona di Monteregio di Massa Marittima, in cui l'azienda Tenuta le Mortelle ha ospitato due vigneti sperimentali, Cacciagrande e Cortigliano.

Prendendo in esame il fattore anno si evidenzia una distribuzione delle sommatorie termiche (DD – Degree Days) che vede il 2007 come l'anno con valori più bassi (5552 DD), ed il 2009 come l'annata più calda tra quelle monitorate (5880 DD). Le annate 2008 e 2010 si collocano ad un livello intermedio con 5850 DD e 4490 DD rispettivamente, tuttavia il dato dell'anno in corso è incompleto dato che è aggiornato al 31 Ottobre. I profili delle sommatorie termiche annue sono illustrati in fig. 1.4.

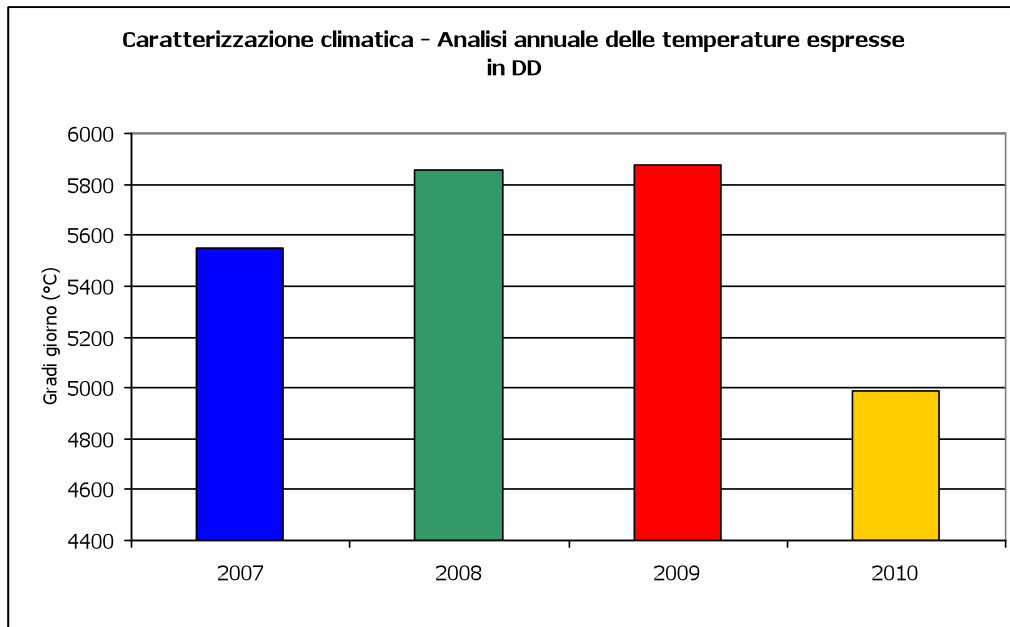


Fig. 1.4. Profilo delle sommatorie termiche annue.

Le precipitazioni hanno seguito anch'esse una variabilità descrivibile annualmente (fig. 1.5), con una piovosità minima nel 2007. Il 2008 è stato caratterizzato da intense precipitazioni nei mesi di novembre e dicembre. Nel 2009 i valori di precipitazione cumulata annua si abbassano, per incrementare poi nell'annata in corso che nonostante sia valutata per il periodo gennaio-ottobre, presenta già valori simili al 2009 in soli 10 mesi.

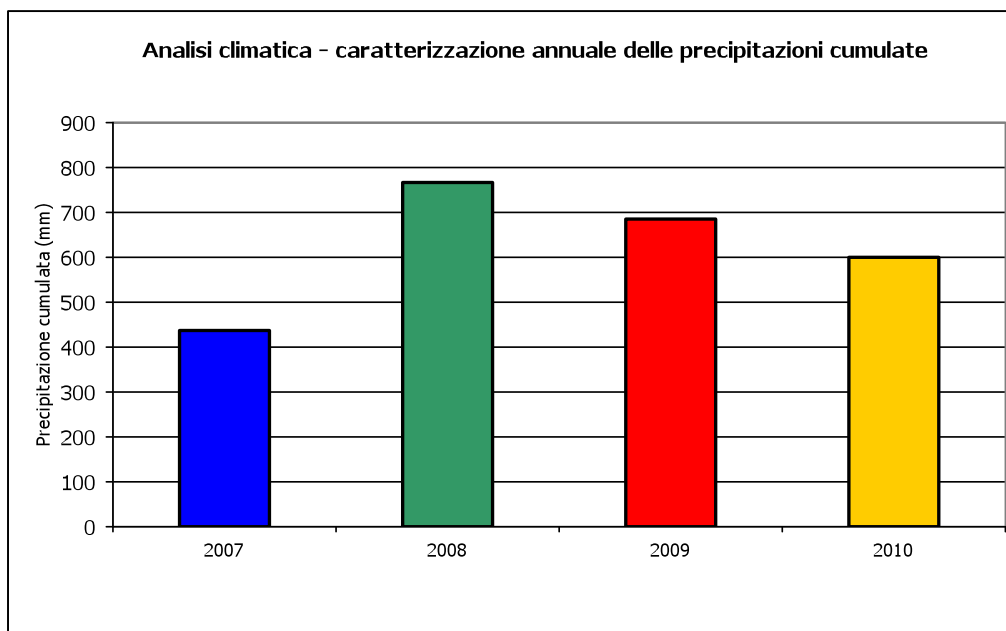


Fig. 1.5. Variazione annua delle precipitazioni cumulate.

Il profilo radiativo delle ultime 3 annate (fig. 1.6) presenta valori di radiazione globale massimi nell'annata 2009, minimi invece nel 2008. L'annata in corso si presenta con tenori radiativi intermedi tra le due annate precedenti.

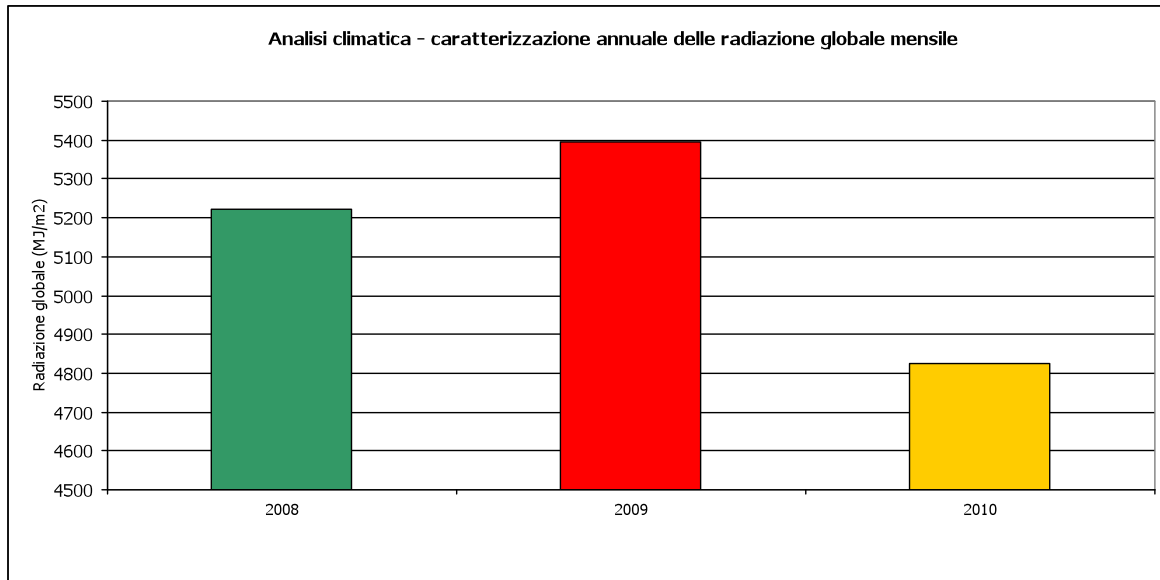


Fig. 1.6. Caratterizzazione annuale della radiazione cumulata.

In figura 1.7 sono sintetizzati i valori annuali appena illustrati, schematizzati per ciascuna delle zone viticole che sono state oggetto di studio.

Parametro	Azienda	2008	2009	2010
Radiazione cumulata (MJ/m²)	Castello di Brolio (Chianti Classico)	4821	4890	4528
	Donna Olimpia 1898 (Bolgheri)	5129	5272	4625
	Tenuta Le Mortelle (Monteregio di Massa Marittima)	5720	6027	5321
Precipitazione cumulata (mm)	Castello di Brolio (Chianti Classico)	797	687	577
	Donna Olimpia 1898 (Bolgheri)	738	656	656
	Tenuta Le Mortelle (Monteregio di Massa Marittima)	771	710	570
DD (°C)	Castello di Brolio (Chianti Classico)	5453	5545	4776
	Donna Olimpia 1898 (Bolgheri)	6078	6034	5183
	Tenuta Le Mortelle (Monteregio di Massa Marittima)	6035	6053	4996

Fig. 1.7. Sintesi dei principali parametri espressi per ciascuna delle zone viticole prese in esame.

Il dataset generato utilizzando i dati raccolti da ciascuna stazione agrometeorologica Master del sistema di monitoraggio N.A.V. nella linea A.1 della sperimentazione del progetto Consorzio Toscana, con acquisizione ad alta risoluzione (intervallo di campionamento pari a 5 minuti), ha permesso di realizzare una dettagliata analisi di caratterizzazione di ciascun “terroir” elaborando un quadro della variabilità tra vigneti. Questa elaborazione è stata effettuata applicando le formule

dei principali indici bioclimatici proposti in letteratura che utilizzano dati medi giornalieri. Gli indici calcolati sono sostanzialmente di carattere termico, tra questi troviamo:

Indice di Winkler, calcolato dal primo aprile al 31 ottobre, per ogni giorno si determinano delle unità termiche utili alla crescita della vite come differenza tra la temperatura media giornaliera e 10°C, dato quest'ultimo che rappresenta lo zero termico vegetativo per la coltura. I valori positivi di questo delta termico vengono poi cumulati durante tutto il periodo di analisi:

$$IW = \sum 01.04/31.10 (T_{med} - 10)$$

Indice di Huglin, calcolato dal primo aprile al 30 settembre, in cui viene dato maggior peso alle temperature massime giornaliere e si tiene conto della durata del giorno secondo un coefficiente K che varia in funzione della latitudine. I valori positivi giornalieri vengono poi cumulati durante tutto il periodo di analisi, con la seguente formula, in cui K è un coefficiente calcolato in funzione della latitudine (1.03 per la Toscana):

$$IH = \sum 01.04/30.09 [(Temperatura\ media - 10) + (Temperatura\ massima - 10)] K/2$$

Indice di Gladstone, calcolato dal primo aprile al 31 ottobre, per ogni giorno si determinano delle unità termiche utili alla crescita della vite o Biologically Effective Degree-Days, ossia la cumulata delle temperature attive comprese tra 10° e 19°C, secondo la formula:

linea di ricerca A1

$$IG = \Sigma 01.04/31.10 (T_{med} - 10), \text{ con } T_{med} \text{ cut off a } 19^{\circ}\text{C}$$

Indice di Ribereau-Gayon-Peynaud, calcolato dal primo aprile al 31 ottobre, in cui sulla sommatoria delle temperature attive giornaliere viene fatta incidere la precipitazione cumulata del giorno stesso, secondo la formula:

$$RPG = \Sigma 01.04/31.10 (T_{med} - 10) - \text{Precipitazione cumulata}$$

Sommatoria delle escursioni termiche, calcolata dal primo giugno al 30 settembre, in cui si calcola giornalmente il delta termico tra temperatura massima e minima giornaliera, secondo la formula:

$$ET = \Sigma 01.04/30.09 (T_{max} - T_{min})$$

Sommatorie termiche, calcolate dal primo aprile al 31 ottobre, che vanno a valutare le temperature cumulate medie, massime e minime giornaliere:

$$\text{Sum of daily temperature} = \Sigma 01.04/31.10 T_{med}, T_{max}, T_{min}$$

Precipitazioni cumulate, calcolate dal primo aprile al 30 settembre, con la formula:

$$\text{Precipitazione cumulata} = \Sigma 01.04/30.09 \text{ Precipitazione cumulata giornaliera}$$

Cool night Index, calcolato dal primo settembre al 30 settembre, in cui si calcola la media delle temperature minime giornaliere con la seguente formula:

linea di ricerca A1

Cool night index = 01.09/30.09 (Tmin media)

Sommatorie mensili del dato giornaliero di temperature medie, precipitazioni cumulate e radiazione globale, sono calcolati dal primo gennaio al 31 dicembre.

Vengono di seguito comparati gli indici calcolati per le tre zone in esame per le annate 2008-2009-2010, sintetizzati in fig. 1.8.

	2008			2009			2010		
Vigneto	Castello di Brolio (Chianti Classico)	Donna Olimpia 1898 (Bolgheri)	Tenuta Le Mortelle (Monteregio di Massa Marittima)	Castello di Brolio (Chianti Classico)	Donna Olimpia 1898 (Bolgheri)	Tenuta Le Mortelle (Monteregio di Massa Marittima)	Castello di Brolio (Chianti Classico)	Donna Olimpia 1898 (Bolgheri)	Tenuta Le Mortelle (Monteregio di Massa Marittima)
IW 01.04/31.10	1954	2186	2210	2103	2314	2294	1845	2113	2003
IH 01.04/30.09	2320	2403	2522	2563	2598	2660	2267	2376	2374
ET 01.04/30.09	1646	1420	1650	1630	1482	1607	1555	1376	1592
IG 01.04/31.10	1502	1712	1695	1594	1723	1699	1443	1654	1582
RGP Index 01.04/31.10	1577	1948	1919	1772	2015	1985	1434	1639	1698
Precipitazioni 01.04/30.09	336	200	275	249	259	273	366	372	260
Cool night index 01.09/30.09	14	15	16	16	18	18	14	15	15
Sommatoria termica med 01.04/31.10	4092	4326	4350	4240	4454	4434	3949	4253	4133
Sommatoria termica max 01.04/31.10	5242	5269	5519	5450	5448	5635	5067	5171	5234
Sommatoria termica min 01.04/31.10	3060	3306	3215	3181	3390	3273	2967	3266	3079

Fig. 1.8. Sintesi degli indici Bioclimatici calcolati per le 3 annate.

linea di ricerca A1

Indice di Winkler

Le temperature attive nel periodo aprile-ottobre (fig. 1.9) aumentano nel 2009 rispetto al 2008, seguendo il trend dell'annata sopra descritto, per poi diminuire nel 2010 a tenori inferiori a quelli del primo anno monitorato. Nel particolare, presso il vigneto sperimentale di Brolio si registrano valori fino a 200 DD inferiori rispetto alle altre due zone, che nei primi 2 anni si presentano con cumulate termiche attive simili (delta di circa 20 DD), per poi differenziarsi nell'annata in corso in cui presso l'azienda di Donna Olimpia 1898, si è calcolato un IW più elevato, superando i valori registrati nella Tenuta Le Mortelle con 2113 DD contro i 2003 DD di quest'ultima.

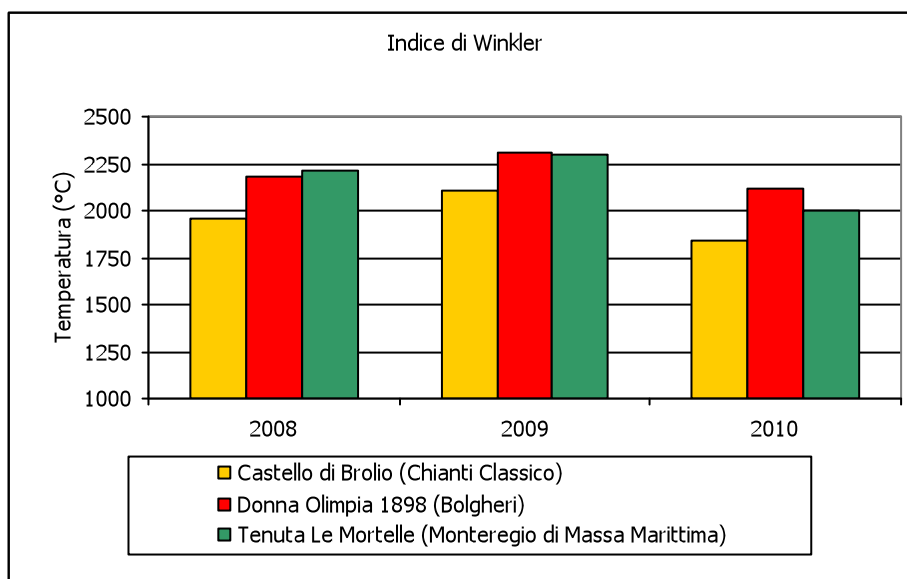


Fig. 1.9. Grafico dei valori dell'indice di Winkler nei 3 anni di sperimentazione sulle 3 aziende monitorate.

Indice di Huglin

Anche questo indice caratterizza il 2009 come anno più caldo e il 2010 come quello in cui si registrano temperature inferiori rispetto ai 3 anni (fig. 1.10). Nel vigneto sperimentale di Brolio, le sommatorie termiche sono inferiori rispetto alle altre zone, tuttavia è qui che si riscontra un maggior incremento dovuto all'impatto delle temperature massime sulle sole temperature attive analizzate invece con l'IW. Questo si concretizza in un incremento medio nelle 3 annate di circa 400 DD, che nell'annata più calda del 2009 arriva ad essere di 450 DD. Presso Donna Olimpia, invece si riscontra l'incremento medio più basso (250 DD circa), mentre presso l'azienda Tenuta Le Mortelle si rileva un indice di Huglin maggiore in termini assoluti (incremento medio di 350 DD circa).

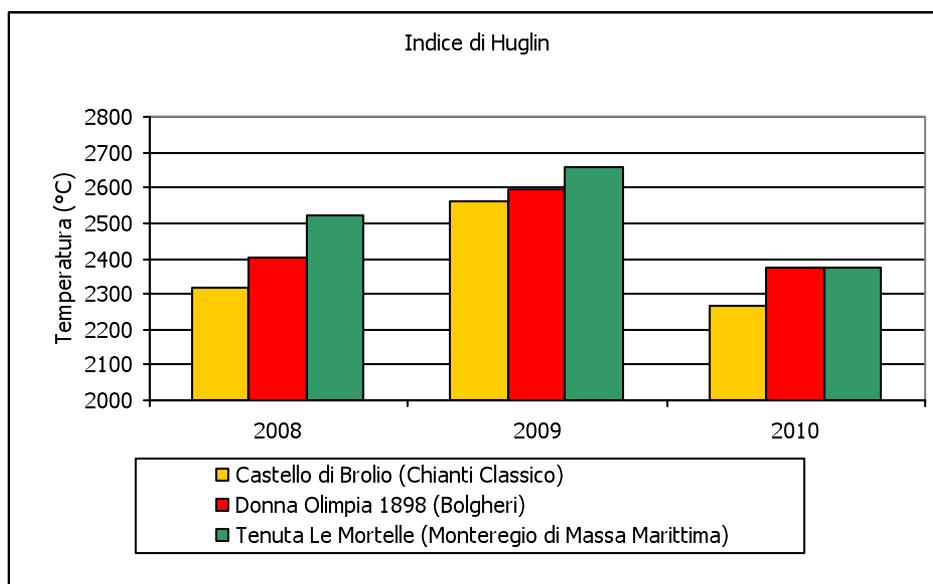


Fig. 1.10. Grafico dell'Indice di Huglin.

Indice di Gladstone

Questo indice fornisce un dato particolare, infatti se nel caso del monitoraggio dell'azienda Castello di Brolio si ripropone il trend annuale, nelle altre due aziende si osservano temperature attive sogliate a 19°C simili (scarto di 15 DD circa) nel 2008, valori che poi restano pressoché identici nell'annata 2009 (fig. 1.11). Nel dettaglio si osserva che nel 2008 in tutte le zone si riscontra un decremento rispetto all'IW. Nel 2009 invece le stazioni Master delle aziende di Donna Olimpia 1898 e Tenuta Le Mortelle vedono un alto calo nella sommatoria termica calcolata dall'IG (circa 100 DD maggiore che nel caso di Castello di Brolio). Questo può essere spiegato dal fatto che i terroirs di Bolgheri e Montereale di Massa Marittima, sono caratterizzati da un maggior numero di giorni in cui la temperatura giornaliera supera i 19°C, rispetto a quello che caratterizza il Chianti Classico, come sarà successivamente illustrato dai risultati delle analisi sulle sommatorie termiche.

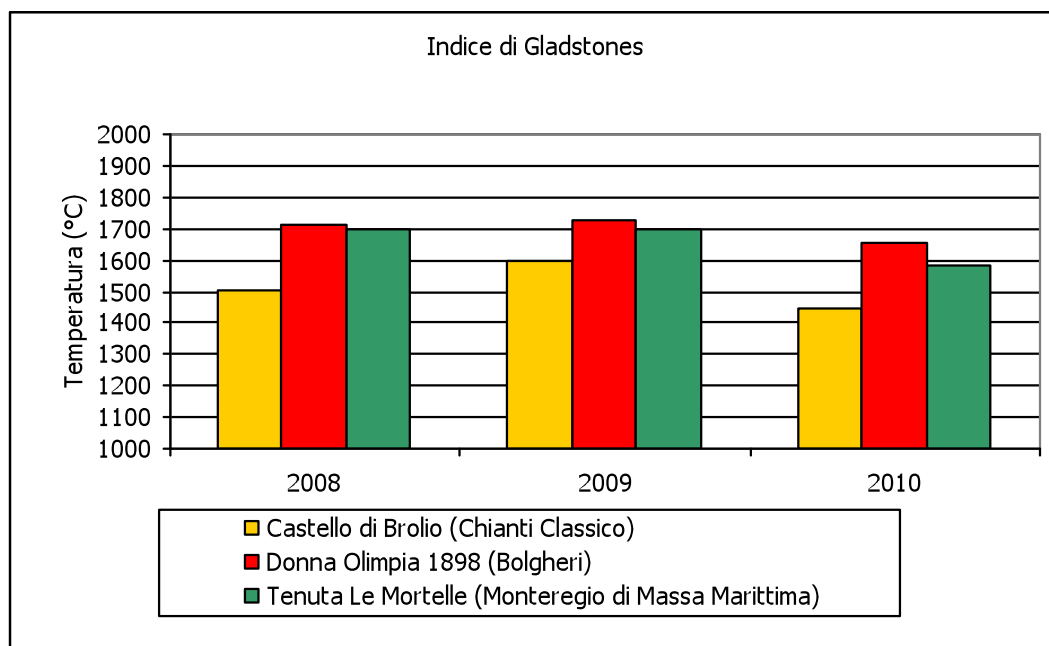


Fig. 1.11. Grafico relativo all'indice di Gladstone nelle 3 annate sui vigneti sperimentali.

Precipitazioni cumulate

Per quanto riguarda le precipitazioni cumulate (fig. 1.12) registrate nei diversi vigneti monitorati nel periodo vegetativo aprile-settembre, non si riscontrano particolari trend tra i vigneti e le diverse annate. Si può comunque sottolineare come nel 2008 si rilevi la massima variabilità tra le diverse zone, con un delta fino a 140 mm circa; nel 2009 si ottengono dati simili per tutte le zone monitorate (260 mm circa), mentre il 2010 si presenta come l'anno con maggior piovosità dei 3 anni di studio

linea di ricerca A1

Nel vigneto dell'azienda Castello di Brolio si sono registrate le massime precipitazioni nel 2008 (336 mm), che scendono nel 2009, per poi risalire nell'anno 2010 (366 mm). Presso Donna Olimpia 1898 si osserva un trend crescente dal 2008, in cui si sono avute le precipitazioni più basse rispetto alle altre zone (200 mm), al 2010 in cui al contrario si hanno i valori maggiori (372 mm). Per quanto riguarda la Tenuta Le Mortelle si riscontra un andamento delle precipitazioni praticamente costante nei 3 anni, che si attesta intorno 270 mm.

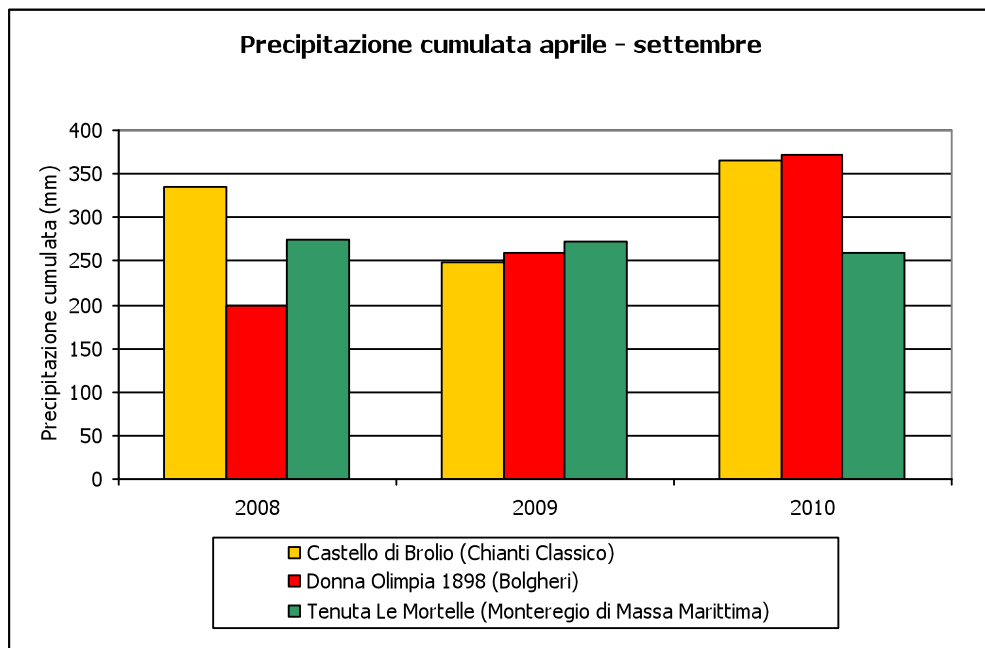


Fig. 1.12. Grafico delle precipitazioni cumulate nel periodo aprile-settembre.

Indice di Ribereau-Gayon-Peynaud

Si osserva come nel 2009, anno in cui si sono registrate cumulate di piogge simili nelle 3 zone, si ritrovi un profilo dell'indice di RGP (fig. 1.13) identico a quello dell'IW, dato che in tutte le zone vengono sottratti i medesimi tenori di pioggia. Nel caso del Castello di Brolio in particolare si osserva come gli importanti valori di precipitazione nel 2008 e nel 2010 comportino un notevole abbassamento dell'indice di RGP rispetto alle altre zone nel confronto con le sommatorie delle temperature attive.

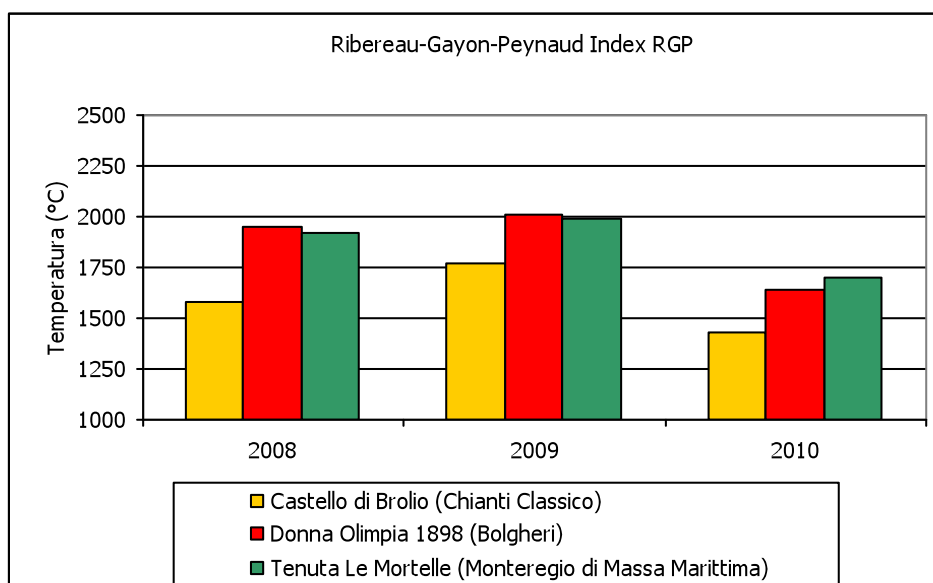


Fig. 1.13 Grafico relativo all'indice di Ribereau-Gayon-Peynaud.

Sommatoria delle escursioni termiche (SET)

linea di ricerca A1

La sommatoria delle escursioni termiche (SET) prende in esame il peso degli sbalzi termici giorno/notte sulla fisiologia della vite, elemento fondamentale in particolar modo per lo sviluppo di aromi nella bacca. L'indice (fig. 1.14) mostra che nel periodo compreso tra aprile e settembre le zone del Chianti Classico e di Monteregio di Massa Marittima sono caratterizzate da valori simili nelle 3 annate, con un leggero trend decrescente dal 2008 al 2010. Nel 2010 tuttavia, presso la Tenuta Le Mortelle si sono mantenuti delta tra temperature massime e minime, costanti rispetto all'anno precedente. Per quanto riguarda la zona di Bolgheri, troviamo invece valori che seguono il trend termico annuale, nettamente inferiori rispetto alle altre due, a causa dell'effetto mitigatore per vicinanza al mare.

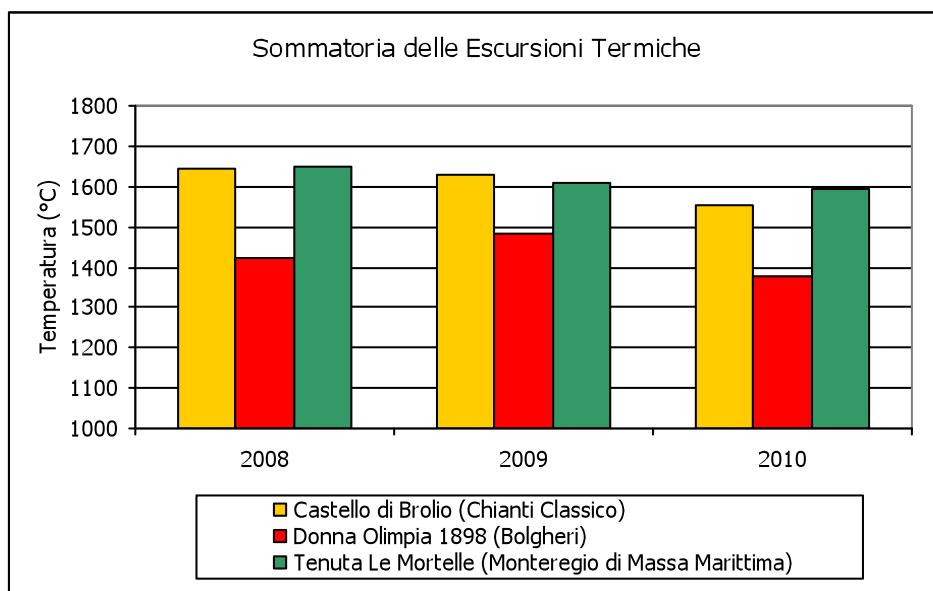


Fig. 1.14. Grafico della sommatoria delle escursioni termiche annue.

Sommatorie Termiche

Le sommatorie termiche (Fig. 1.15.a, 1.15.b, 1.15.c) seguono il trend annuale precedentemente descritto con valori massimi nel corso del 2009 e minimi nel 2010. In particolare le sommatorie minime (fig. 1.15.a) vedono presso il Castello di Brolio i valori più bassi (2980–3180 DD), e in Donna Olimpia 1898 temperature minime giornaliere più elevate (3260–3370 DD), mentre nella zona relativa alla Tenuta Le Mortelle valori intermedi tra le tre. Un andamento simile si ritrova nelle sommatoria delle temperature medie giornaliere (fig. 1.15.b), che differisce per il fatto che nelle annate 2008 e 2009 si sono registrati valori più bassi a Bolgheri e più alti nella zona di Montereio di Massa Marittima, per cui in tali annate queste due zone presentano valori molto simili (delta 20 DD). Un profilo diverso emerge dal calcolo delle sommatorie termiche massime giornaliere (fig. 1.15.c), in cui nei primi anni 2008 e 2009 nei vigneti di Castello di Brolio e Donna Olimpia 1898 si hanno valori simili (circa 5300 DD), mentre nel 2010 si differenziano con un incremento di 100 DD nella seconda azienda (rispettivamente 5070 DD e 5170 DD). In tutte le annate presso l'azienda Tenuta Le Mortelle si sono tuttavia rilevate le temperature massime giornaliere più elevate (delta di circa 200 DD in media ogni anno).

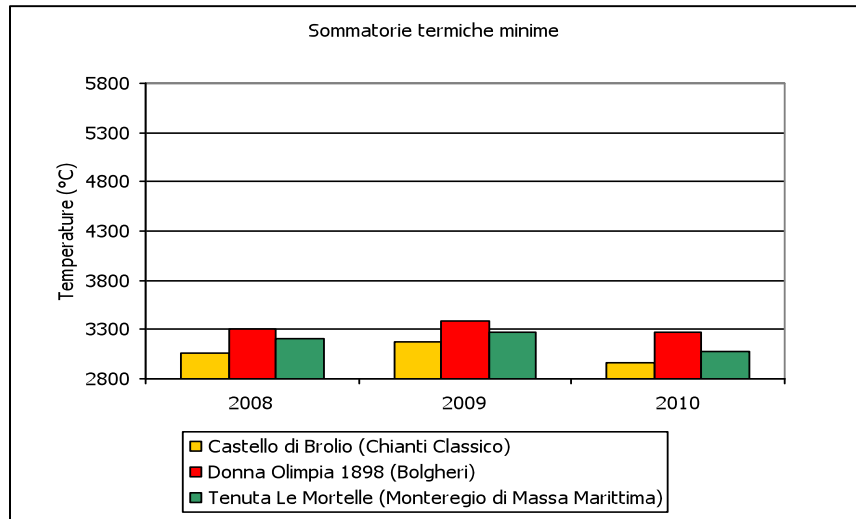


Fig. 1.15.a. Sommatoria delle temperature minime giornaliere.

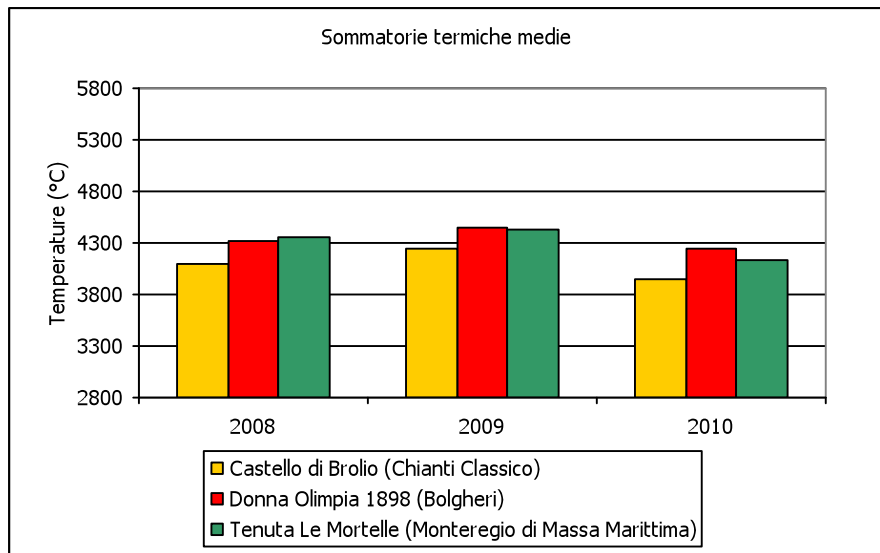


Fig. 1.15.b. Sommatoria delle temperature medie giornaliere.

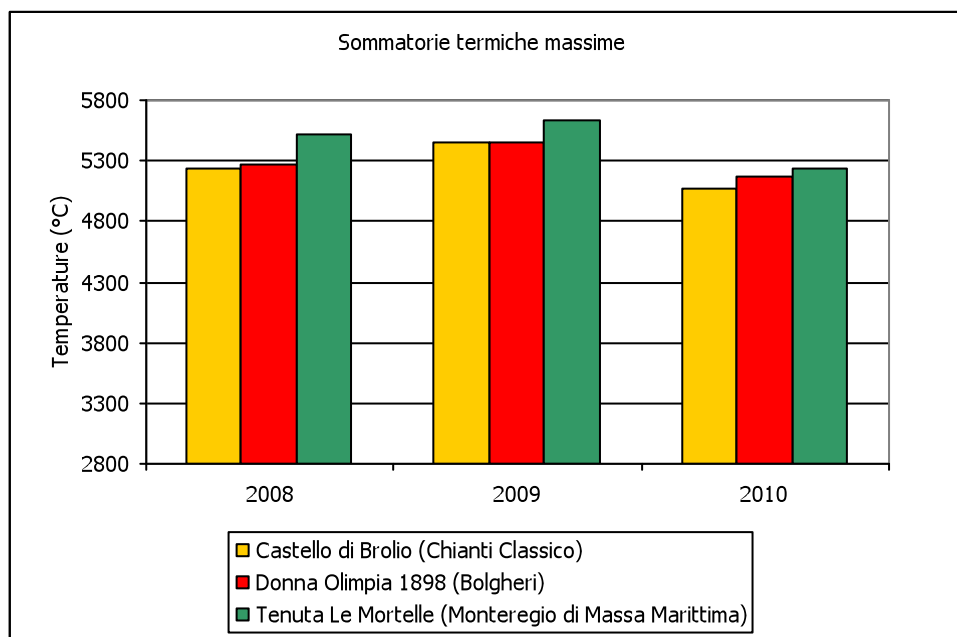


Fig. 1.15.c. Sommatoria delle temperature massime giornaliere.

Potenziale Idrico Matriciale

Il sistema di monitoraggio micrometeorologico applicato nei vigneti sperimentali, grazie all'installazione di stazioni periferiche (Slave) dislocate tra le diverse parcelle monitorate, ha consentito di caratterizzare la variabilità intrinseca al vigneto stesso.

L'acquisizione oraria del dato micrometeorologico ha fornito un vasto dataset per ciascun vigneto sperimentale che ha

permesso numerose elaborazioni. Tra queste il dato del potenziale idrico matriciale (fig. 1.16) ha fornito interessanti indicazioni sulla disponibilità d'acqua e in particolare sullo stress idrico nella vite nei diversi vigneti. Prendendo in esame i dati annuali registrati presso il vigneto di Castello di Brolio (Chianti Classico), si osserva un andamento comune nelle 3 annate, in cui nella seconda e terza settimana di luglio si verifica un drastico calo del potenziale idrico matriciale, che lascerà fino alla metà di settembre il terreno in uno stato idrico al di sotto del punto di appassimento, considerato come -1.5 MPa. Nel dettaglio si ritrovano nel 2009 un decremento dei valori di potenziale idrico che inizia già dalla prima settimana del mese di giugno, e procede lentamente, mentre nel 2008 e soprattutto nel 2010 tra la seconda e la terza settimana di luglio si hanno cali repentini. Nel vigneto di Donna Olimpia 1898, si osservando le tre annate emerge il 2008 in rapida scesa verso il punto di appassimento nel mese di luglio, il 2009 decresce più lentamente e il 2010 addirittura benché risenta del decremento, non scende mai a valori prossimi al punto di appassimento.

I vigneti sperimentali dell'azienda Tenuta Le Mortelle presentano curve di potenziali idrici simili nel periodo marzo-settembre preso in esame in questa elaborazione. Il decremento dei valori vede un trend comune, dove il 2010 è l'anno che per primo inizia ad avvicinarsi al punto di appassimento, seguito dal 2008 e infine dal 2009 in cui il decremento corre più lento. Il mese di agosto vede in entrambi i vigneti un comportamento anomalo rispetto alle precipitazioni, il che può essere spiegato dagli interventi irrigui

linea di ricerca A1

effettuati sul vigneto per limitarne lo stress idrico in periodo eccessivamente siccitosi. In entrambi i vigneti nel 2009 e nel 2010 il potenziale idrico si è abbassato notevolmente, ma non si sono avuti valori inferiori a quelli del punto di appassimento. Una differenza tra i due vigneti si riscontra nel fatto che tutte le annate hanno raggiunto valori prossimi al punto di appassimento in tempi diversi, infatti in Cacciagrande mediamente precede Cortigliano di una decina di giorni.

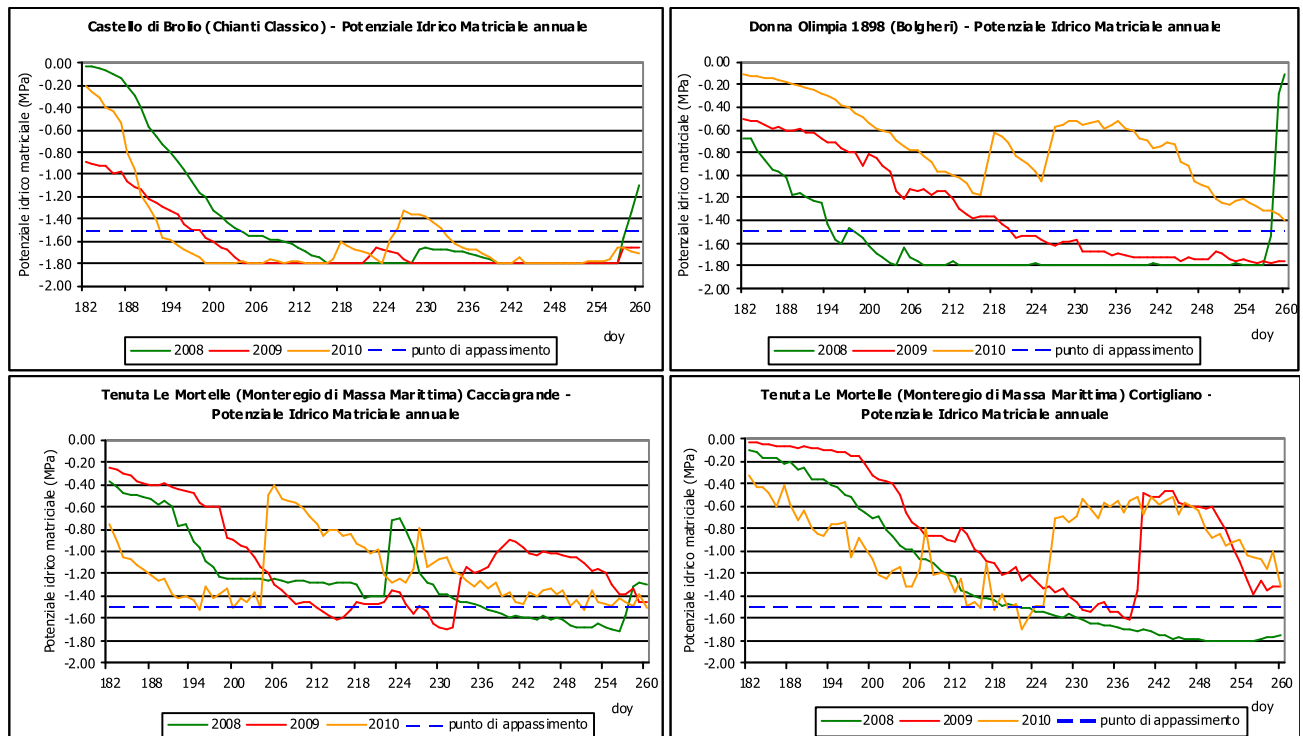


Fig. 1.16. Andamento del potenziale idrico matriciale nelle 3 annate 2008-2010, nei 4 vigneti sperimentali del progetto.

linea di ricerca A1

I sensori per la misura del potenziale idrico sono stati collocati a due diverse profondità 30 e 60cm al fine di valutare le diverse dinamiche idriche che si vengono a creare lungo il profilo del terreno. Dai risultati ottenuti emerge chiaramente come il sensore più superficiale tenda più velocemente a raggiungere il punto di appassimento, e come sia quello in grado di rispondere più rapidamente ad un evento piovoso (fig. 1.17).

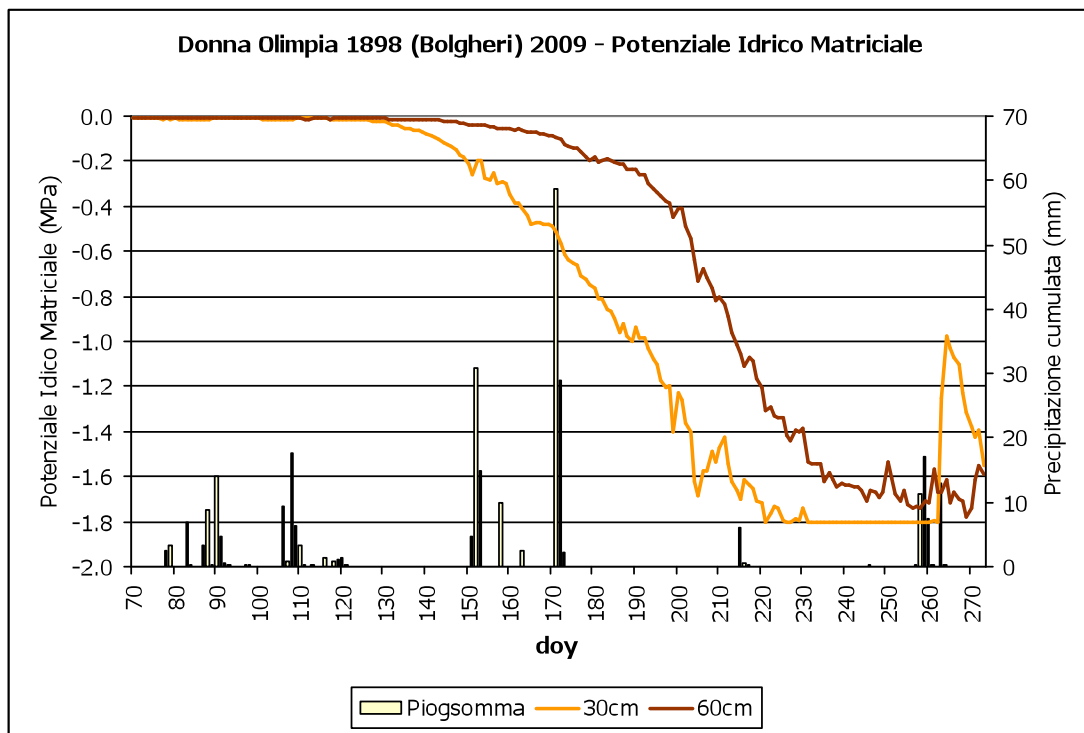


Fig. 1.17. Cinetica del potenziale idrico matriciale a 30 e 60 cm.

1.5 Land e Proximity indicators

La sperimentazione portata avanti dal Consorzio Tuscania ha permesso di mettere in evidenza, attraverso una valutazione oggettiva, come le condizioni microclimatiche presenti all'interno della vegetazione siano sostanzialmente diverse da quelle che possono essere registrata all'esterno del vigneto da stazioni meteorologiche tradizionali e come le stesse condizioni microclimatiche vengano influenzate dalle pratiche di gestione agronomica della chioma.

La comparazione di Land Indicators (indici calcolati a partire dal dato meteo territoriale proveniente da una stazione meteo tradizionale situata al di fuori del vigneto) e Proximity Indicator (indici calcolati dal dato meteo prossimale rilevato all'interno del vigneto) fa emergere come le due scale di indagine offrano una caratterizzazione del terroir significativamente diversa.

Da un confronto tra un indicatore classico quale la sommatoria termica (DD) risulta evidente che il dato proximity registrato a livello della canopy (DD Tair) mostri un ampio spread rispetto al dato Land della stazione Master ed anche uno meno evidente a seconda delle tesi di gestione.

linea di ricerca A1

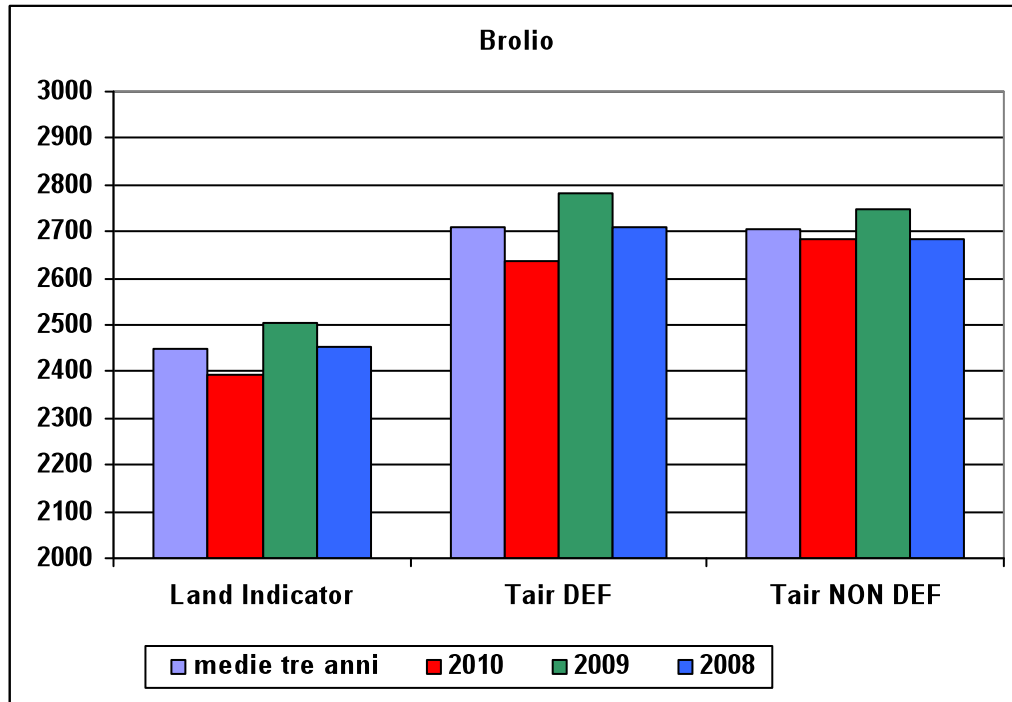


Fig.1.18. Differenza tra land indicator e proximity indicator (Temperatura dell'aria della canopy) per il vigneto di Brolio mostrata come media e nei tre anni di sperimentazione.

linea di ricerca A1

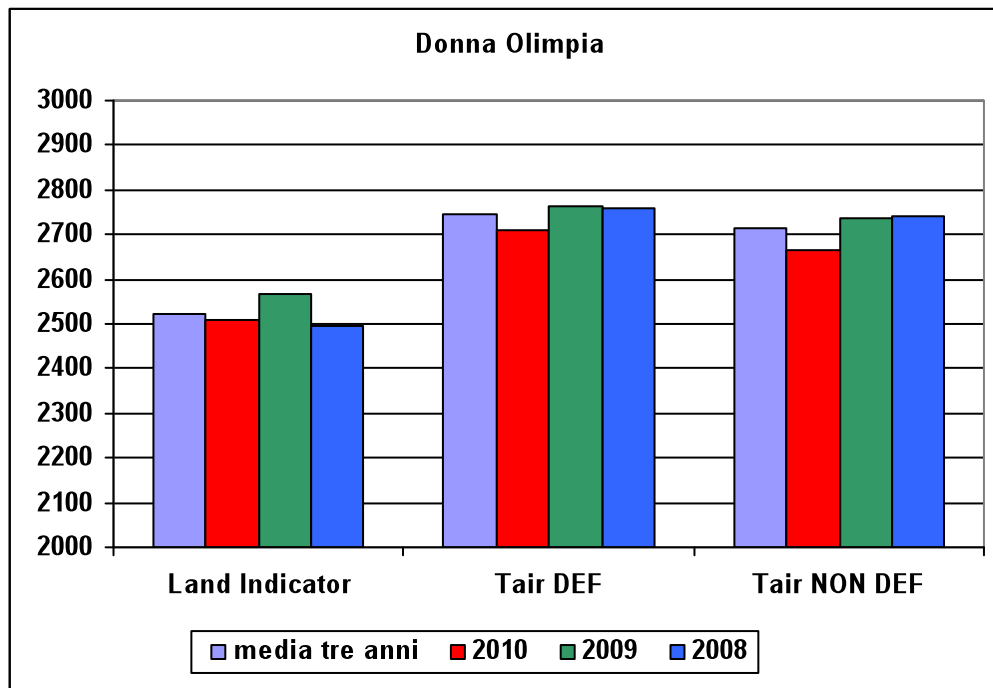


Fig.1.19 Differenza tra land indicator e proximity indicator (Temperatura dell'aria della canopy) per il vigneto di Donna Olimpia mostrata come media e nei tre anni di sperimentazione.

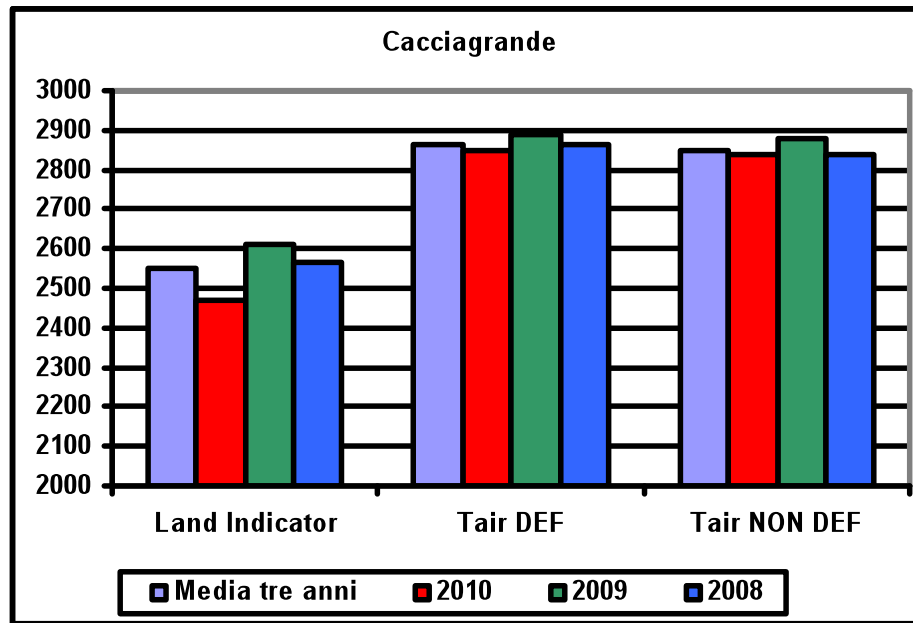


Fig.1.20. Differenza tra land indicator e proximity indicator (Temperatura dell'aria della canopy) per il vigneto di Cortigliano mostrata come media e nei tre anni di sperimentazione.

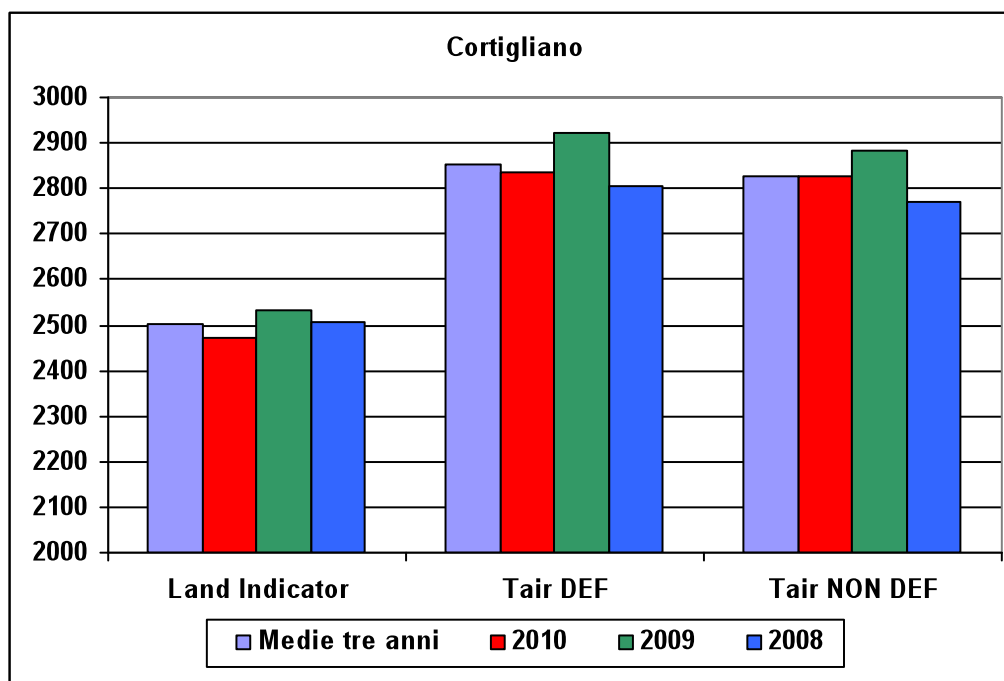


Fig.1.21 Differenza tra land indicator e proximity indicator (Temperatura dell'aria della canopy) per il vigneto di Cortigliano mostrata come media e nei tre anni di sperimentazione.

Le precedenti figure evidenziano come il dato di temperatura dell'aria espresso come DD sia notevolmente diverso se monitorato al di fuori del vigneto (Land Indicator) o all'interno del vigneto a livello della canopy (Proximity Indicator). In tutti i vigneti si vedono differenze di oltre 200 DD. Questo ovviamente da imputare al fatto che all'interno della canopy si ha un effetto protettivo da parte della

linea di ricerca A1

vegetazione che preserva il microclima da rimescolamenti d'aria derivati dal vento.

Nei grafici è possibile vedere anche che ci sono piccole differenze tra i proximity indicator misurati in due diverse pratiche di gestione della tesi (in questo caso defogliazione).

È inoltre interessante notare come il ciclo giornaliero della temperatura registrata a livello del cordone (T.air) e del grappolo (T.grape) mostri a sua volta uno spread abbastanza significativo nei vari mesi di rilevazione. In questo caso siamo nella condizione di confrontare a scala spaziale ancora più dettagliata due tipologie di proximity indicator.

linea di ricerca A1

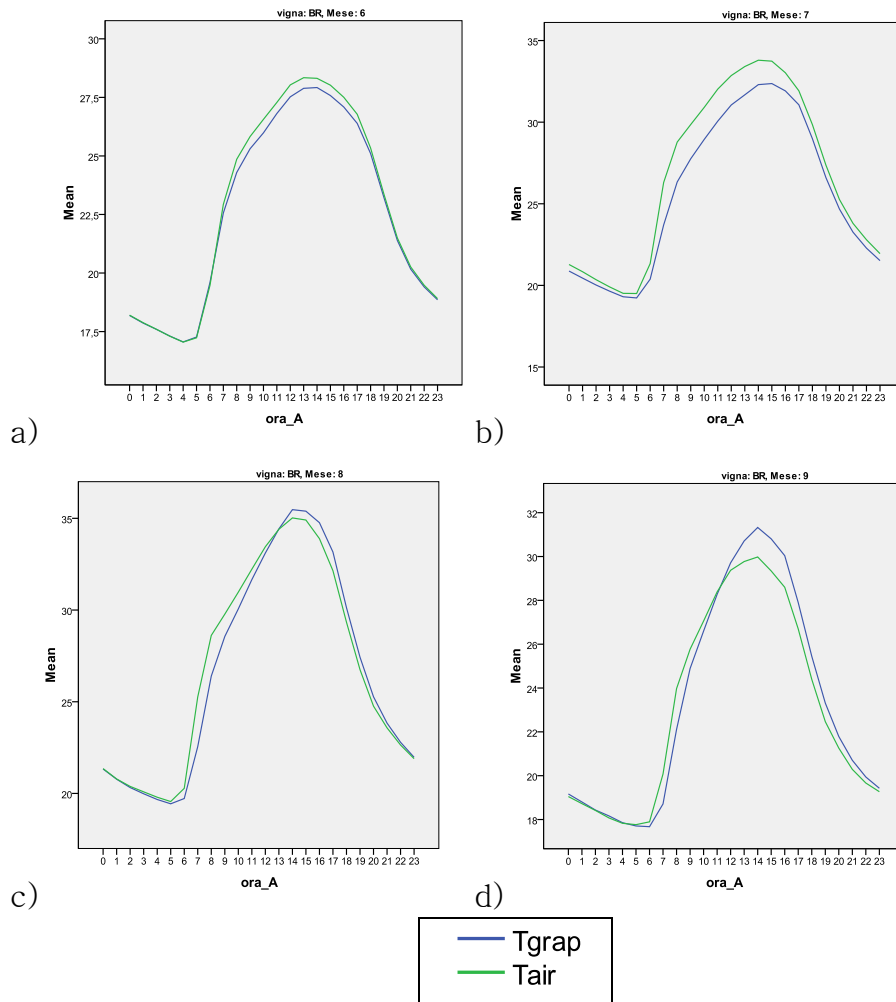


Fig.1.22 Differenze tra temperatura della canopy (T_{air}) e del grappolo (T_{grap}) per quanto riguarda il ciclo giornaliero medio nei mesi di a)Giugno, b)Luglio, c)Agosto e d)Settembre nel vigneto di Brolio.

linea di ricerca A1

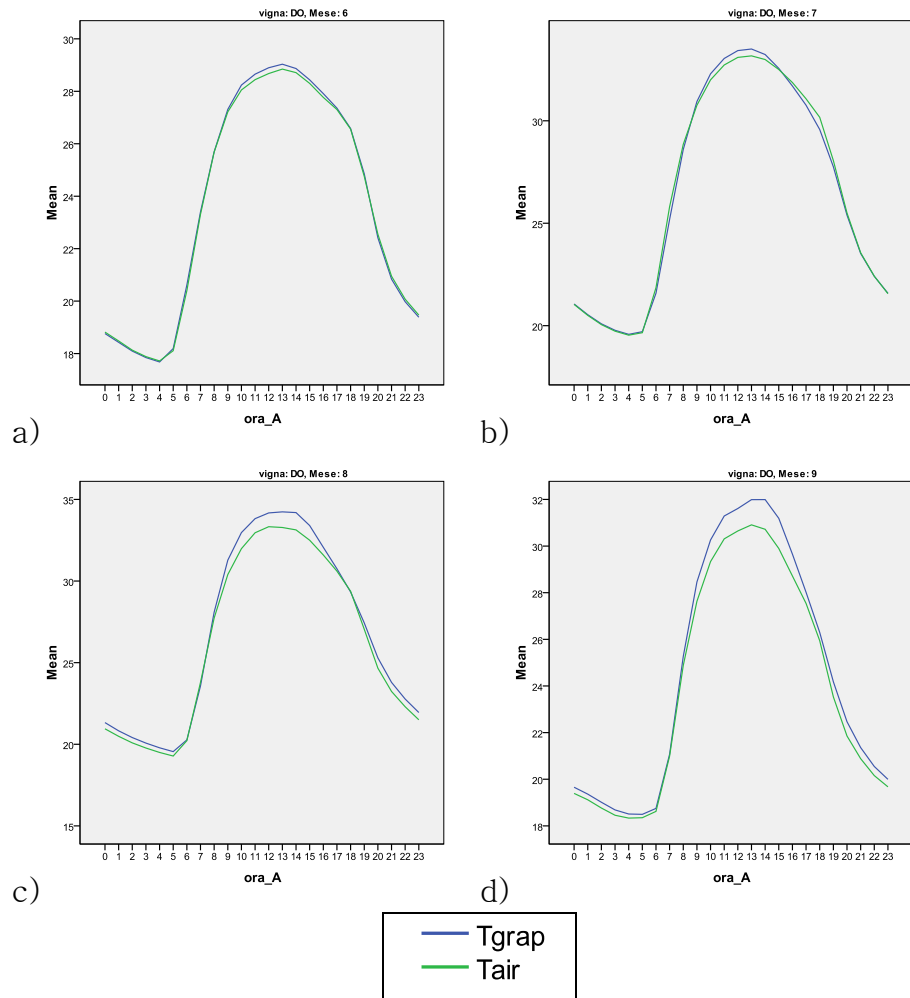


Fig.1.23 Differenze tra temperatura della canopy (T_{air}) e del grappolo (T_{grap}) per quanto riguarda il ciclo giornaliero medio nei mesi di a)Giugno, b)Luglio, c)Agosto e d)Settembre nel vigneto di Donna Olimpia.

linea di ricerca A1

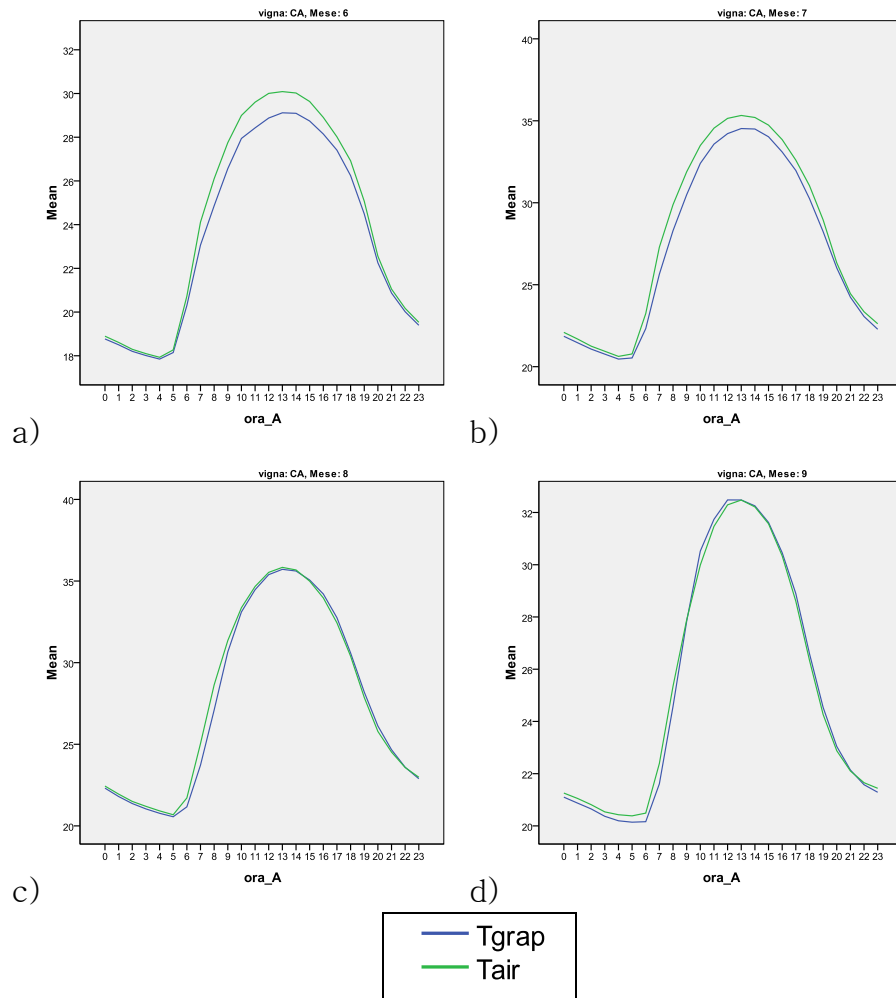


Fig.1.24 Differenze tra temperatura della canopy (Tair) e del grappolo (Tgrap) per quanto riguarda il ciclo giornaliero medio nei mesi di a)Giugno, b)Luglio, c)Agosto e d)Settembre nel vigneto di Cacciagrande.

linea di ricerca A1

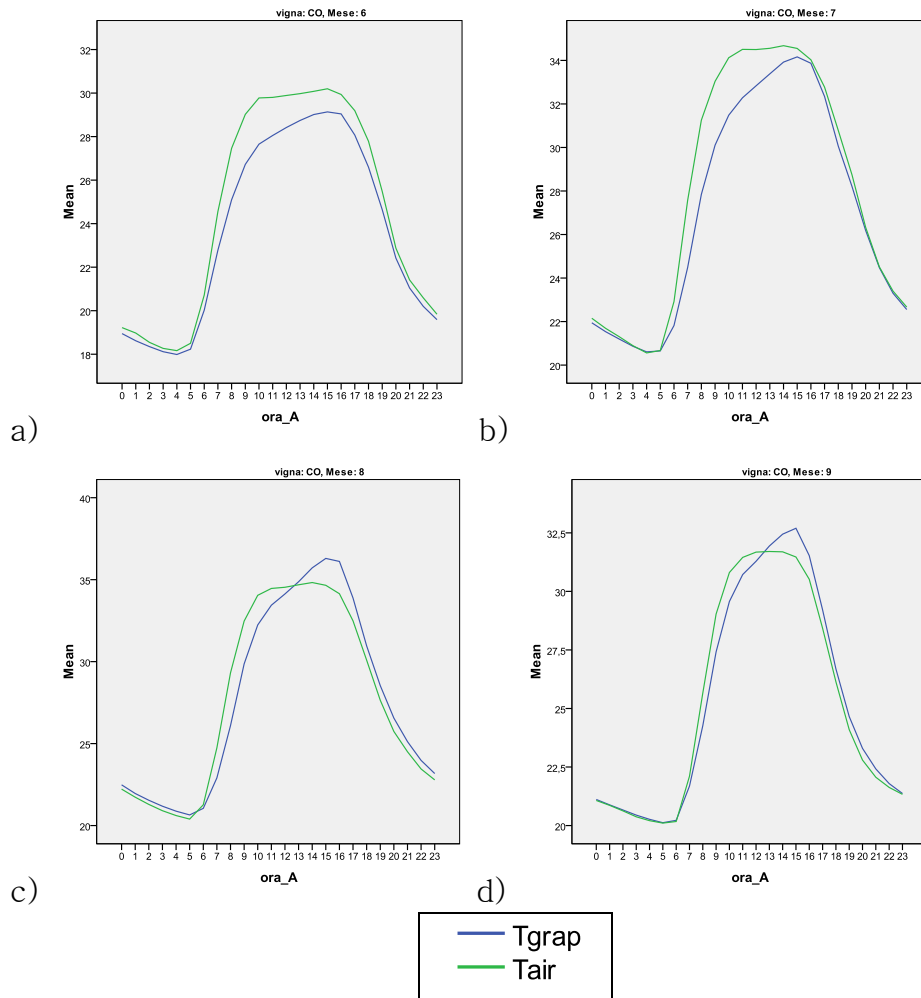


Fig.1.25 Differenze tra temperatura della canopy (T_{air}) e del grappolo (T_{grap}) per quanto riguarda il ciclo giornaliero medio nei mesi di a)Giugno, b)Luglio, c)Agosto e d)Settembre nel vigneto di Cortigliano.

Le figure precedenti mostrano come la differenza tra temperatura della canopy (Tair) e temperatura del grappolo si discosti in maniera diversa nei vari mesi. Infatti si nota per tutti i vigneti (Cacciagrande in maniera meno evidente) che da Giugno la Tair rilevata è maggiore della Tgrape, mentre spostandosi verso Agosto e Settembre si vede che la tendenza si inverte e la Tgrape diventa più calda della canopy. Interessante notare come la temperatura del grappolo rilevata a Cortigliano mostri un ciclo giornaliero diverso dagli altri vigneti, questo da imputare al diverso orientamento filari. Sembra che questa caratteristica del vigneto non venga evidenziata nei dati di Tair.

Questi risultati indicano che:

- 1- le condizioni ambientali che si verificano all'interno del vigneto sono sostanzialmente diverse da quelle che vengono misurate dalle stazioni meteo tradizionali e quindi gli indici calcolati a partire da stazioni meteo tradizionali sono solo parzialmente rappresentativi delle condizioni che si possono verificare all'interno del vigneto
- 2- I parametri micrometeorologici mostrano una elevata variabilità all'interno di un singolo vigneto da imputarsi sia a eterogeneità strutturale (orografia, suolo, orientamento) che congiunturale (gestione agronomica)
- 3- I parametri micrometeorologici possono essere usati per effettuare sotto-zonazioni viticole e quindi differenziare diversi vigneti all'interno di comprensori

aziendali o diverse aree all'interno dello stesso vigneto

1.6 Caratterizzazione della micrometeorologia del vigneto in varie condizioni di gestione agronomica

Un ulteriore obiettivo del progetto è stata la caratterizzazione del micro-clima all'interno della canopy in funzione delle tesi di gestione applicate seguendo il disegno sperimentale

Il lavoro si è concentrato sulle due pratiche di gestione della chioma sfogliatura e differente carica di gemme. La pratica diradamento non è stata considerata in quanto si ipotizza che nell'immediato non abbia un effetto sensibile sul micro-clima della canopy. Quindi sulle 8 tesi combinazione delle tre pratiche di gestione sono state analizzate quattro macro-tesi con ognuna due repliche.

Il sistema di rilevazione implementato è riuscito a identificare delle differenze significative nel disegno sperimentale (tesi, vigneto, anno), confermando quindi la replicabilità del disegno sperimentale e l'efficacia del sistema di rilevazione.

Il passo ulteriore è stato quello di identificare e verificare dei nuovi indici agro-meteorologici capaci di caratterizzare efficacemente il microclima del vigneto e discriminare le differenze tra tesi di gestione. Con questa finalità è stata svolta un'analisi statistica su di un set complesso di indici

linea di ricerca A1

estrapolando quelli con significatività più elevata per poi esaminare la variabilità spiegata da ciascun indice.

Lo studio qui descritto si concentra sui parametri di radiazione e temperatura del grappolo ed è stata effettuata solo sulle zone di alta vigoria, in quanto le uniche con un monitoraggio micro-meteorologico completo per ogni singola tesi di gestione.

Quindi, riassumendo, il dataset sul quale è stata svolta l'analisi comprende:

- Dati orari di temperatura del grappolo (Tgrap), radiazione del grappolo (Rad), temperatura dell'aria (Tair);
- Dati dei 4 vigneti sperimentali (Brolio, Donna Olimpia, Cacciagrande e Cortigiano);
- Dati delle 8 tesi del blocco di alta vigoria;
- Dati rilevati in continuo nei tre anni (2008 – 2009 – 2010)
- Dati che vanno dal periodo di installazione dei sensori (1° Giugno) a vendemmia (18 Settembre).

Analisi statistiche:

Uno schema di inferenza statistica lineare è stato realizzato per valutare se i fattori strutturali del disegno generale sono stati capaci di influenzare significativamente, nelle quattro località di indagine, gli indici e le variabili micro-meteorologiche elencate nei paragrafi precedenti. L'indagine

statistica quindi ha uno scopo prettamente di conferma dei fattori nel caso dei parametri micrometeo, mentre nei confronti degli indici l'indagine ha carattere esplorativo, tale da fare emergere la capacità discriminativa degli indici in relazione a variabili strutturali di gestione agronomica. La tecnica utilizzata, in ambiente R STAT, è stata quella dei modelli lineari generalizzati (GLM) dove viene ipotizzata, per le variabili dipendenti, e verificata a priori con il test di normalità di Shapiro-Wilks, sempre una risposta di tipo gaussiano (link = gaussian). Nello schema GLM è agevole l'immissione di fattori categorici. Questi sono rappresentati dai flags indicanti rispettivamente due gruppi di fattori distinti, che concorrono a caratterizzare ciascuna tesi del disegno sperimentale. I primi sono in modalità alternativa e sono relativi alle modalità di gestione agronomica: nei confronti dell'operazione di sfogliatura (SI/NO) e del carico di gemme (1-3). Il secondo gruppo afferisce sia all'anno di indagine (2008-2009-2010) che al mese (Giugno-Luglio-Agosto), trattati come fattori distinti.

Una ulteriore segmentazione dei dati è fornita da quattro livelli che individuano univocamente quattro periodi del giorno (Mattina, Pieno giorno, Sera e Notte) seguendo due criteri di segmentazione: (i) uno statico basato su intervalli determinati da ore fisse del giorno ed (ii) uno dinamico o astronomico basato dal valore dell'angolo solare.

In particolare il criterio di categorizzazione astronomico si basa sul valore dell'angolo solare (h) calcolato al momento della misura micrometeo. Se h è superiore a 30° il livello afferisce Pieno giorno, mentre se $h < 0$ il livello è quello Notte.

L'assegnazione agli altri due livelli è data per complementarità, grazie all'informazione sull'ora di misura. All'interno di questi quattro livelli l'illuminazione può essere considerata geometricamente omogenea rispetto alla forma della pianta, mentre la variabilità dell'insolazione, ovvero del dato radiativo integrato è controllato nello schema GLM dal fattore mese.

Ogni modello viene ripetuto con lo stesso set di indipendenti e per le singole indipendenti per ogni livello. Il risultato generale oggetto di valutazione è una griglia esaustiva di oggetti GLM dove l'intercetta è sempre considerata. Successivamente in ciascun modello, si è proceduto all'accertamento della significatività di ciascuna variabile indipendente rispetto alla variabile dipendente grazie alla p associata del Wald Test, usato tipicamente per esaminare se un effetto esiste oppure no, che è normalmente fornito dalla funzione GLM in ambiente R. L'ipotesi $H(0)$ è in questo caso l'assenza di effetto, quindi, quando la probabilità p associata alla indipendente è minore di 0.05 è riconosciuto un legame significativo.

Riconosciuta la significatività, l'impatto quantitativo del fattore viene assunto empiricamente dalla stima del coefficiente, comprensivo di intervallo di confidenza,. Solo nel caso della temperatura del grappolo sono state indagate anche le interazioni fra carico di gemme e defogliazione (gemme*def), come quella della defogliazione e del carico di gemme nei confronti della radiazione interna alla pianta (def*Rad,gemme*Rad). Per ogni modello è stato calcolato il grado di saturazione della varianza spiegata con una misura

analoga al coefficiente di determinazione (R-quadro), che nei modelli regressivi ordinari è una proporzione tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato. Questo fornisce una informazione ulteriore sulla fitness dei modelli rispetto al set di variabili sotto indagine.

Indici calcolati:

I seguenti indici sono stati calcolati utilizzando i dati orari dei parametri di radiazione, temperatura del grappolo e temperatura dell'aria:

- **Indici con metodo #1 a finestre temporali dinamiche:**
 - Morning = indice calcolato utilizzando le ore con inclinazione solare da 0-30°
 - Full_day = indice calcolato utilizzando le ore con inclinazione solare da 30°-30°
 - Evening = indice calcolato utilizzando le ore con inclinazione solare da 30-0°
 - Notte = indice calcolato utilizzando le ore con inclinazione solare minore di 0°
- **Indici con metodo #2 a finestre temporali statiche:**
 - avg = media giornaliera
 - sum = cumulata giornaliera
 - et = escursione giornaliera
 - morning_03_10_index = media tra le ore 3-10

linea di ricerca A1

- o diurnal_11_18_index= media tra le ore 11-18
- o night_19_02_index= media tra le ore 19-02
- o dmorn_stderr_5_10 = errore standard mattutino tra le ore 5-10
- o dmorn_var_5_10 = varianza mattutina tra le ore 5-10
- o dtwi_stderr_15_20 = errore standard serale tra le ore 15-20
- o dtwi_var_15_20 = varianza standard serale tra le ore 15-20

Risultati

I risultati ottenuti sono stati strutturati nei seguenti passaggi, descritti in seguito in modo dettagliato:

- 1- Scelta degli indici che meglio descrivono la tesi sfogliatura (DEF/NON DEF) e carica gemme (UNA GEM/TRE GEM) in termini di significatività del modello GLM sopra descritto;
- 2- Studio dei migliori indici vigneto per vigneto considerando il dato medio dei tre anni di sperimentazione (2008-2009-2010);
- 3- Andamento degli indici lungo tutto l'arco dell'anno (considerando l'anno medio tra 2008-2009-2010);
- 4- Tabella riassuntiva con le statistiche descrittive degli indici migliori (media, deviazione standard e mediana) vigneto per vigneto e nei vari anni;
- 5- Studio dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sugli indici eseguito anno per anno;

1.6.1. Scelta dei migliori indici che meglio descrivono la tesi sfogliatura (DEF/NON DEF) e carica gemme (UNA GEM/TRE GEM) in termini di significatività del modello GLM sopra descritto;

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati del modello GLM applicato ad alcuni indici, selezionati tra tutti quelli su cui è stata fatta l'analisi che si trova nell'allegato 1.10 di questa relazione.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	395.363687	1.889261	209.2689	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	3.746665	1.286701	2.9118	0.003604	**
as.factor(gemme)[T.3]	-0.098081	1.286701	-0.0762	0.939241	
as.factor(dirad)[T.1]	7.475624	1.286701	5.8099	6.507e-09	***
AnnoF[T.A2009]	-25.751243	1.575901	-16.3406	< 2.2e-16	***
AnnoF[T.A2010]	-18.238632	1.576059	-11.5723	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.7]	-10.651164	1.705154	-6.2465	4.429e-10	***
as.factor(Mese)[T.8]	-28.389874	1.733208	-16.3800	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	-1.961249	2.065716	-0.9494	0.342434	

*Tabella 1.1 – Brolio: Risultati modello GLM per indice Rad Evening
(Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)*

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	388.33810	1.59271	243.8219	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	9.85150	1.07324	9.1792	< 2.2e-16	***
as.factor(gemme)[T.3]	-7.17768	1.07324	-6.6879	2.437e-11	***
as.factor(dirad)[T.1]	2.90559	1.07324	2.7073	0.0068	**
AnnoF[T.A2009]	-6.79975	1.31377	-5.1757	2.332e-07	***
AnnoF[T.A2010]	0.55466	1.31502	0.4218	0.6732	
as.factor(Mese)[T.7]	-13.84207	1.45171	-9.5350	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	-39.86784	1.44267	-27.6348	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	-25.57781	1.72784	-14.8033	< 2.2e-16	***

Tabella 1.2 – Donna Olimpia: Risultati modello GLM per indice Rad Evening (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	395.54306	1.87614	210.8279	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	12.76763	1.27859	9.9857	< 2.2e-16	***
as.factor(gemme)[T.3]	-5.09815	1.27859	-3.9873	6.746e-05	***
as.factor(dirad)[T.1]	-4.80012	1.27859	-3.7542	0.0001752	***
AnnoF[T.A2009]	0.18013	1.56608	0.1150	0.9084323	
AnnoF[T.A2010]	-5.65149	1.56608	-3.6087	0.0003098	***
as.factor(Mese)[T.7]	-26.82115	1.69180	-15.8536	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	-49.21764	1.71943	-28.6243	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	-22.89764	2.06384	-11.0947	< 2.2e-16	***

Tabella 1.3 – Cacciagrande: Risultati modello GLM per indice Rad Evening (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	400.9112	1.8220	220.0441	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	10.9953	1.2406	8.8627	< 2.2e-16	***
as.factor(gemme)[T.3]	3.3058	1.2406	2.6646	0.007724	**
as.factor(dirad)[T.1]	3.4495	1.2408	2.7801	0.005449	**
AnnoF[T.A2009]	-14.1294	1.5360	-9.1986	< 2.2e-16	***
AnnoF[T.A2010]	-2.7665	1.5360	-1.8011	0.071736	.
as.factor(Mese)[T.7]	-24.8194	1.6541	-15.0051	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	-51.8322	1.6711	-31.0168	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	-31.5933	1.9868	-15.9017	< 2.2e-16	***

Tabella 1.4 – Cortigliano: Risultati modello GLM per indice Rad Evening
(Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	19.8375834	0.1249705	158.7381	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.2404122	0.0851675	2.8228	0.004773	**
as.factor(gemme)[T.3]	-0.0994415	0.0851675	-1.1676	0.243006	
as.factor(dirad)[T.1]	-0.4224085	0.0851675	-4.9597	7.215e-07	***
AnnoF[T.A2009]	0.7921477	0.1043168	7.5937	3.488e-14	***
AnnoF[T.A2010]	0.0012369	0.1043168	0.0119	0.990540	
as.factor(Mese)[T.7]	1.3129257	0.1142102	11.4957	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	2.7632262	0.1132815	24.3926	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	-0.3679966	0.1365208	-2.6955	0.007043	**

Tabella 1.5 – Brolio: Risultati modello GLM per indice Tgrape Morning
(Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	21.026513	0.130760	160.8029	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.594926	0.089103	6.6768	2.617e-11	***
as.factor(gemme)[T.3]	-0.311818	0.089103	-3.4995	0.0004688	***
as.factor(dirad)[T.1]	-0.030383	0.089103	-0.3410	0.7331222	
AnnoF[T.A2009]	-0.601297	0.109109	-5.5110	3.687e-08	***
AnnoF[T.A2010]	-0.513167	0.109109	-4.7033	2.606e-06	***
as.factor(Mese)[T.7]	1.893705	0.120116	15.7656	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	3.194905	0.117962	27.0841	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	1.038117	0.142906	7.2643	4.128e-13	***

Tabella 1.6 – Donna Olimpia: Risultati modello GLM per indice Tgrape Morning (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	20.874023	0.118591	176.0176	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.264341	0.081537	3.2420	0.001192	**
as.factor(gemme)[T.3]	-0.356176	0.081537	-4.3683	1.270e-05	***
as.factor(dirad)[T.1]	0.053019	0.081537	0.6503	0.515550	
AnnoF[T.A2009]	-0.125984	0.101194	-1.2450	0.213181	
AnnoF[T.A2010]	-0.586676	0.101118	-5.8019	6.838e-09	***
as.factor(Mese)[T.7]	2.603224	0.109553	23.7621	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	3.349035	0.107063	31.2809	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	1.562435	0.129614	12.0545	< 2.2e-16	***

Tabella 1.7 – Cacciagrande: Risultati modello GLM per indice Tgrape Morning (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	19.958008	0.120799	165.2170	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.734746	0.081437	9.0222	< 2.2e-16	***
as.factor(gemme)[T.3]	-0.108216	0.081437	-1.3288	0.1839	
as.factor(dirad)[T.1]	0.011733	0.081437	0.1441	0.8854	
AnnoF[T.A2009]	0.420359	0.099963	4.2052	2.64e-05	***
AnnoF[T.A2010]	0.011198	0.099881	0.1121	0.9107	
as.factor(Mese)[T.7]	2.178058	0.110409	19.7273	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	2.972163	0.107903	27.5447	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	1.704053	0.130436	13.0643	< 2.2e-16	***

Tabella 1.8 – Cortigliano: Risultati modello GLM per indice Tgrape Morning (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	26.952550	0.088702	303.8546	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.626291	0.061013	10.2649	< 2.2e-16	***
as.factor(gemme)[T.3]	-0.401544	0.061013	-6.5813	4.771e-11	***
as.factor(dirad)[T.1]	-0.203146	0.061013	-3.3296	0.0008713	***
AnnoF[T.A2009]	0.251382	0.074730	3.3639	0.0007700	***
AnnoF[T.A2010]	-0.646639	0.074710	-8.6554	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.7]	3.439895	0.078981	43.5533	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	5.938208	0.081194	73.1359	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	2.401841	0.104111	23.0699	< 2.2e-16	***

Tabella 1.9 – Brolio: Risultati modello GLM per indice Tgrape Full-Day (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	28.987795	0.064284	450.9310	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.350235	0.044414	7.8858	3.273e-15	***
as.factor(gemme)[T.3]	-0.680913	0.044414	-15.3312	< 2.2e-16	***
as.factor(dirad)[T.1]	-0.321498	0.044414	-7.2387	4.680e-13	***
AnnoF[T.A2009]	-0.558459	0.054405	-10.2649	< 2.2e-16	***
AnnoF[T.A2010]	-0.660580	0.054389	-12.1456	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.7]	3.886892	0.057160	67.9998	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	5.012977	0.059112	84.8050	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	2.978880	0.075649	39.3777	< 2.2e-16	***

Tabella 1.10 – Donna Olimpia: Risultati modello GLM per indice Tgrape Full-Day (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	28.597296	0.073282	390.2365	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.099355	0.050812	1.9553	0.05056	.
as.factor(gemme)[T.3]	-0.624504	0.050812	-12.2904	< 2.2e-16	***
as.factor(dirad)[T.1]	-0.044047	0.050812	-0.8668	0.38604	
AnnoF[T.A2009]	-0.473297	0.063042	-7.5077	6.264e-14	***
AnnoF[T.A2010]	0.026326	0.063042	0.4176	0.67624	
as.factor(Mese)[T.7]	4.660588	0.065408	71.2538	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	6.097259	0.067313	90.5804	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	3.467416	0.085859	40.3849	< 2.2e-16	***

Tabella 1.11 – Cacciagrande: Risultati modello GLM per indice Tgrape Full-Day (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	28.377217	0.072237	392.8373	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.567788	0.049111	11.5612	< 2.2e-16	***
as.factor(gemme)[T.3]	0.077555	0.049111	1.5792	0.1143104	
as.factor(dirad)[T.1]	0.190957	0.049111	3.8882	0.0001013	***
AnnoF[T.A2009]	-0.521578	0.060266	-8.6546	< 2.2e-16	***
AnnoF[T.A2010]	-1.310622	0.060266	-21.7472	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.7]	4.109339	0.063801	64.4084	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	5.994868	0.065611	91.3703	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	3.009559	0.083541	36.0248	< 2.2e-16	***

Tabella 1.12 – Cortigliano: Risultati modello GLM per indice Tgrape Full-Day (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	1.585967	0.028161	56.3180	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.089343	0.019144	4.6668	3.218e-06	***
as.factor(gemme)[T.3]	0.010407	0.019144	0.5436	0.5868	
as.factor(dirad)[T.1]	-0.079580	0.019144	-4.1569	3.333e-05	***
AnnoF[T.A2009]	-0.230511	0.023447	-9.8312	< 2.2e-16	***
AnnoF[T.A2010]	-0.111683	0.023447	-4.7632	2.013e-06	***
as.factor(Mese)[T.7]	0.186933	0.025460	7.3423	2.815e-13	***
as.factor(Mese)[T.8]	0.427067	0.025460	16.7740	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	0.135081	0.031343	4.3097	1.697e-05	***

Tabella 1.13 – Brolio: Risultati modello GLM per indice dmorn_5_10_stderr_Tgrape (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	1.878287	0.038863	48.3306	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.084896	0.026420	3.2133	0.0013285	**
as.factor(gemme)[T.3]	-0.135730	0.026420	-5.1374	2.998e-07	***
as.factor(dirad)[T.1]	-0.092860	0.026420	-3.5148	0.0004478	***
AnnoF[T.A2009]	-0.229451	0.032358	-7.0911	1.719e-12	***
AnnoF[T.A2010]	-0.165578	0.032358	-5.1171	3.335e-07	***
as.factor(Mese)[T.7]	0.443965	0.035136	12.6357	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	0.705027	0.035136	20.0657	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	0.445855	0.043255	10.3076	< 2.2e-16	***

Tabella 1.14 – Donna Olimpia: Risultati modello GLM per indice *dmorn_5_10_stderr_Tgrape* (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	1.616871	0.035765	45.2088	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.182442	0.024506	7.4447	1.341e-13	***
as.factor(gemme)[T.3]	-0.035131	0.024506	-1.4335	0.1518	
as.factor(dirad)[T.1]	-0.039766	0.024506	-1.6227	0.1048	
AnnoF[T.A2009]	-0.163214	0.030406	-5.3678	8.726e-08	***
AnnoF[T.A2010]	-0.038545	0.030406	-1.2677	0.2050	
as.factor(Mese)[T.7]	0.339548	0.032404	10.4787	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	0.543577	0.032404	16.7751	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	0.221830	0.039892	5.5608	2.979e-08	***

Tabella 1.15 – Cacciagrande: Risultati modello GLM per indice *dmorn_5_10_stderr_Tgrape* (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	1.5584899	0.0347237	44.8825	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.0967527	0.0233354	4.1462	3.493e-05	***
as.factor(gemme)[T.3]	0.1338559	0.0233354	5.7362	1.084e-08	***
as.factor(dirad)[T.1]	0.0179924	0.0233354	0.7710	0.4408	
AnnoF[T.A2009]	0.0044696	0.0286356	0.1561	0.8760	
AnnoF[T.A2010]	-0.1188234	0.0286356	-4.1495	3.443e-05	***
as.factor(Mese)[T.7]	0.2533081	0.0311382	8.1350	6.401e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	0.3901844	0.0311382	12.5307	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	0.0200703	0.0382439	0.5248	0.5998	

*Tabella 1.16 – Cortigliano: Risultati modello GLM per indice dmorn_5_10_stderr_Tgrape(Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)*

L'elevata significatività registrata dimostra l'efficacia degli indici di discriminare le tesi. Al contrario, come evidenziato dalle tabelle che seguono, l'analisi con indici classici basati su medie e sommatorie non evidenzia significatività nel discriminare le tesi, soprattutto la sfogliatura, con l'unica eccezione di Cortigliano.

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	22.66832	0.16169	140.1999	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.27962	0.10992	2.5439	0.0110205	*
as.factor(gemme)[T.3]	-0.32817	0.10992	-2.9857	0.0028567	**
as.factor(dirad)[T.1]	-0.12222	0.10992	-1.1120	0.2662591	
AnnoF[T.A2009]	0.75185	0.13462	5.5850	2.587e-08	***
AnnoF[T.A2010]	-0.20110	0.13462	-1.4938	0.1353450	
as.factor(Mese)[T.7]	2.86117	0.14618	19.5731	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	3.72093	0.14618	25.4548	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	0.65208	0.17996	3.6236	0.0002963	***

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	544.0399	3.8805	140.1999	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	6.7108	2.6380	2.5439	0.0110207	*
as.factor(gemme)[T.3]	-7.8762	2.6380	-2.9857	0.0028566	**
as.factor(dirad)[T.1]	-2.9334	2.6380	-1.1120	0.2662586	
AnnoF[T.A2009]	18.0442	3.2309	5.5849	2.587e-08	***
AnnoF[T.A2010]	-4.8264	3.2309	-1.4938	0.1353438	
as.factor(Mese)[T.7]	68.6680	3.5083	19.5731	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	89.3023	3.5083	25.4547	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	15.6500	4.3190	3.6235	0.0002963	***

Tabella 1.17 – Brolio: Risultati modello GLM per indici avg e sum (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	23.958749	0.119296	200.8348	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.266977	0.081099	3.2920	0.001009	**
as.factor(gemme)[T.3]	-0.394331	0.081099	-4.8623	1.231e-06	***
as.factor(dirad)[T.1]	-0.093111	0.081099	-1.1481	0.251030	
AnnoF[T.A2009]	0.059571	0.099326	0.5998	0.548724	
AnnoF[T.A2010]	-0.208540	0.099326	-2.0996	0.035867	*
as.factor(Mese)[T.7]	2.743011	0.107854	25.4326	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	2.925041	0.107854	27.1204	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	0.841721	0.132777	6.3394	2.722e-10	***

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	575.0100	2.8631	200.8348	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	6.4074	1.9464	3.2919	0.001009	**
as.factor(gemme)[T.3]	-9.4639	1.9464	-4.8623	1.231e-06	***
as.factor(dirad)[T.1]	-2.2347	1.9464	-1.1481	0.251028	
AnnoF[T.A2009]	1.4297	2.3838	0.5998	0.548714	
AnnoF[T.A2010]	-5.0050	2.3838	-2.0996	0.035866	*
as.factor(Mese)[T.7]	65.8323	2.5885	25.4326	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	70.2010	2.5885	27.1204	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	20.2013	3.1866	6.3394	2.722e-10	***

Tabella 1.18 – Donna Olimpia: Risultati modello GLM per indici avg e sum (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	23.882070	0.119376	200.0580	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	-0.055107	0.081797	-0.6737	0.5005634	
as.factor(gemme)[T.3]	-0.281736	0.081797	-3.4443	0.0005822	***
as.factor(dirad)[T.1]	0.038914	0.081797	0.4757	0.6343079	
AnnoF[T.A2009]	0.191056	0.101490	1.8825	0.0598869	.
AnnoF[T.A2010]	-0.093189	0.101490	-0.9182	0.3586001	
as.factor(Mese)[T.7]	3.556645	0.108158	32.8838	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	3.784285	0.108158	34.9885	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	1.689462	0.133151	12.6883	< 2.2e-16	***

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	573.16974	2.86502	200.0581	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	-1.32253	1.96313	-0.6737	0.5005759	
as.factor(gemme)[T.3]	-6.76168	1.96313	-3.4443	0.0005822	***
as.factor(dirad)[T.1]	0.93391	1.96313	0.4757	0.6343130	
AnnoF[T.A2009]	4.58532	2.43577	1.8825	0.0598880	.
AnnoF[T.A2010]	-2.23658	2.43577	-0.9182	0.3585918	
as.factor(Mese)[T.7]	85.35942	2.59579	32.8838	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	90.82278	2.59579	34.9885	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	40.54704	3.19562	12.6883	< 2.2e-16	***

Tabella 1.19 – Cacciagrande: Risultati modello GLM per indici avg e sum
(Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

linea di ricerca A1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	24.0687220	0.1158534	207.7515	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	0.3559555	0.0778570	4.5719	5.067e-06	***
as.factor(gemme)[T.3]	-0.1600430	0.0778570	-2.0556	0.03992	*
as.factor(dirad)[T.1]	-0.0021214	0.0778570	-0.0272	0.97826	
AnnoF[T.A2009]	-0.0086430	0.0955407	-0.0905	0.92793	
AnnoF[T.A2010]	-0.9327639	0.0955407	-9.7630	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.7]	3.2567641	0.1038905	31.3481	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	3.7968266	0.1038905	36.5464	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	1.6277012	0.1275983	12.7564	< 2.2e-16	***

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	577.64930	2.78048	207.7515	< 2.2e-16	***
as.factor(def)[T.1]	8.54295	1.86857	4.5719	5.066e-06	***
as.factor(gemme)[T.3]	-3.84099	1.86857	-2.0556	0.03993	*
as.factor(dirad)[T.1]	-0.05095	1.86857	-0.0273	0.97825	
AnnoF[T.A2009]	-0.20741	2.29298	-0.0905	0.92793	
AnnoF[T.A2010]	-22.38627	2.29298	-9.7630	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.7]	78.16240	2.49337	31.3481	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.8]	91.12382	2.49337	36.5464	< 2.2e-16	***
as.factor(Mese)[T.9]	39.06484	3.06236	12.7565	< 2.2e-16	***

Tabella 1.20 – Cortigiano: Risultati modello GLM per indici avg e sum
(Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

Quindi, anche se in termini generali, possiamo affermare che gli indici di radiazione e temperatura del grappolo sono significativi nel discriminare le tesi di gestione. Si evidenzia inoltre come le tesi defogliate siano generalmente più calde rispetto alle non defogliate e le patate a tre gemme siano più fresche delle patate ad una gemma. Gli indici classici più comunemente usati, basati sulle medie (avg) e sommatorie

linea di ricerca A1

giornaliere (sum) sono meno performanti rispetto agli indici statici o dinamici in termini di significatività.

Gli indici calcolati dai parametri di Tair non mostrano livelli elevati di significatività.

Pertanto lo studio si è concentrato sui 4 indici che hanno dato i risultati maggiormente significativi:

- Radiazione Evening dinamico
- Tgrape Morning dinamico
- Tgrape Full-Day dinamico
- Dmorning_5_10_stderr_Tgrape statico

1.6.2 Studio dei migliori indici vigneto per vigneto considerando il dato medio dei tre anni di sperimentazione (2008-2009-2010);

In questa sezione si analizzano le medie calcolate per ogni indice selezionato e mediato per i tre anni utilizzando lo strumento statistico box-plot. I commenti ai grafici sono riportati in fondo al paragrafo:

linea di ricerca A1

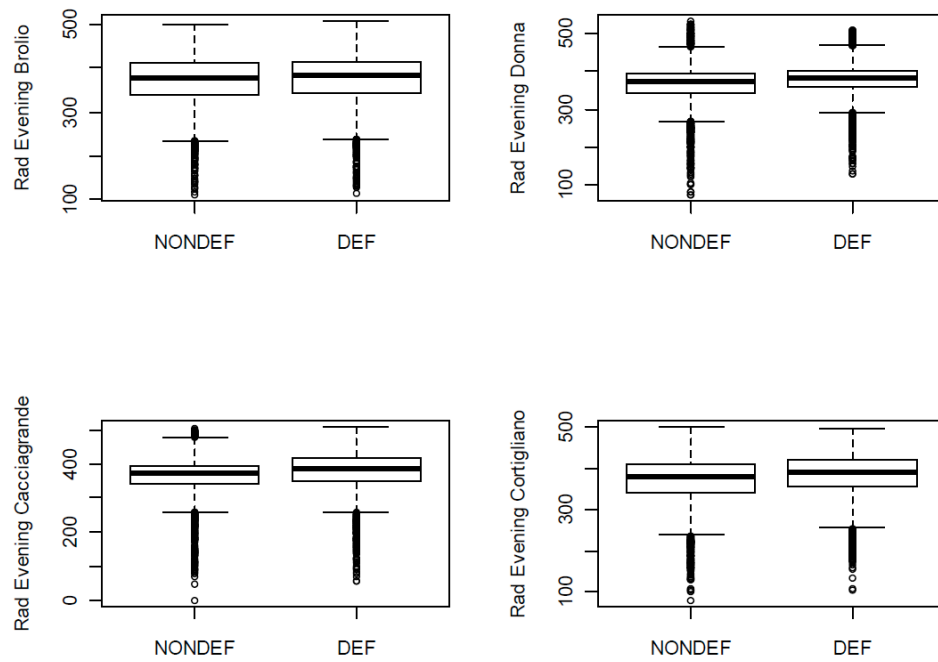


Fig.1.26 Effetto della tesi sfogliatura (DEF=sfogliato:NON DEF=non sfogliato) sull'indice Rad Evening (radiazione del grappolo di sera) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

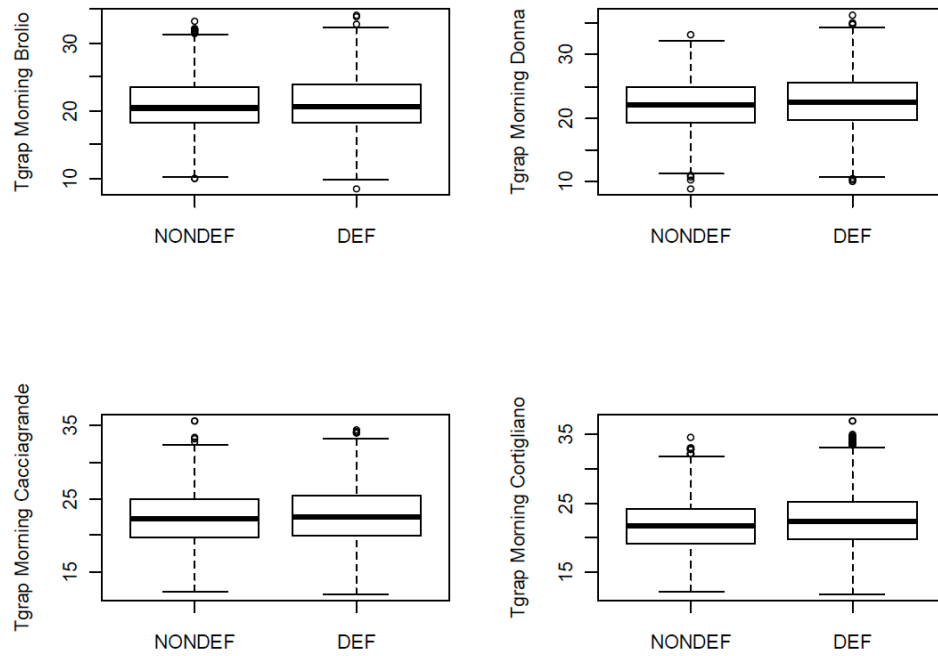


Fig.1.27 Effetto della tesi sfogliatura (DEF=sfogliato;NON DEF=non sfogliato) sull'indice Tgrap Morning (temperatura del grappolo di mattina) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

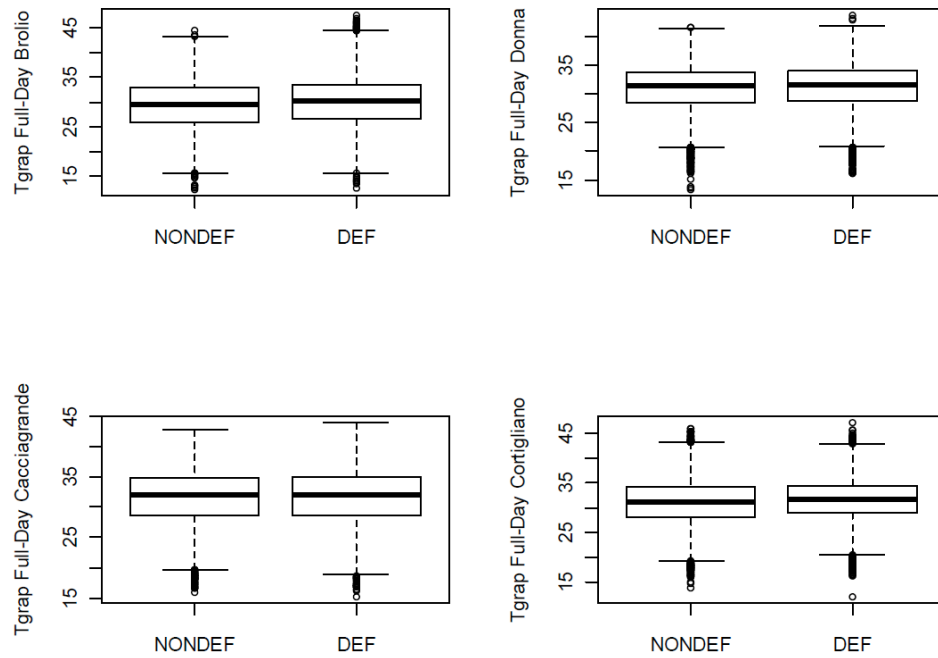


Fig.1.28 Effetto della tesi sfogliatura (DEF=sfogliato;NON DEF=non sfogliato) sull'indice Tgrap Full-Day (temperatura del grappolo in pieno giorno) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

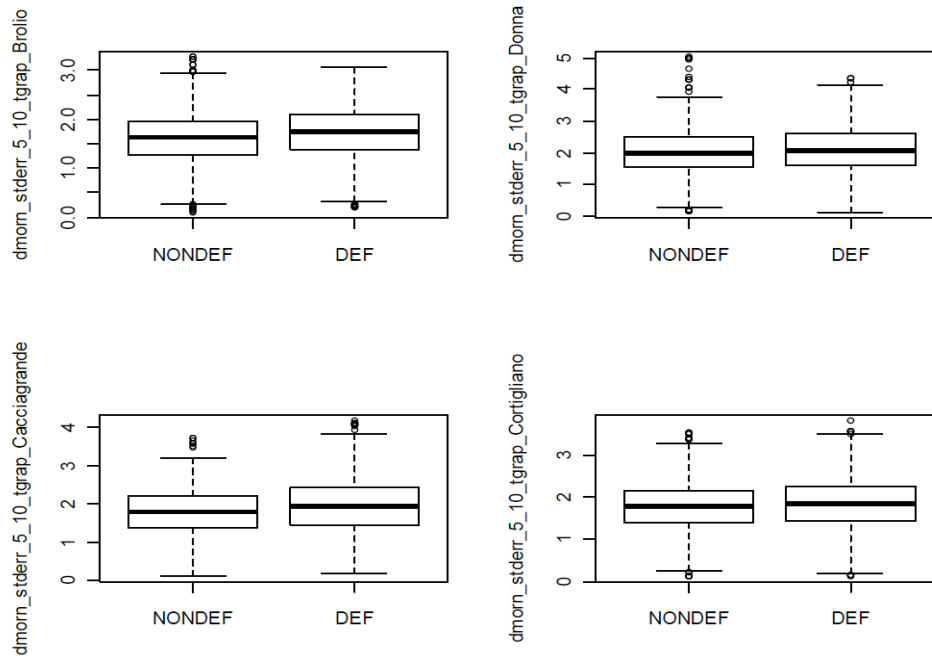


Fig.1.29 Effetto della tesi sfogliatura (DEF=sfogliato;NON DEF=non sfogliato) sull'indice dmorn_stderr_5_10_tgrap (errore standard per temperatura del grappolo nella finestra oraria statica che va dalle 5 alle 10 di mattina) per i quattro vigneti.

L'effetto della sfogliatura:

- Le differenze che si riscontrano tra le tesi sfogliate e non, sono basse anche se significative, visto che in questi grafici sono considerate le medie di tutto il periodo;
- La radiazione serale (indice Rad Evening) in media è maggiore nelle tesi sfogliate in tutti i vigneti;

l'ampiezza della distribuzione è maggiore nei vigneti di sangiovese (Brolio-Cortigliano) e più contenuta in quelli di cabernet sauvignon (Donna Olimpia-Cacciagrande). Anche il range dei valori è più ampio nel sangiovese rispetto al cabernet.

- La temperatura mattutina (indice Tgrape Morning) a seguito del minor ombreggiamento è maggiore per le tesi sfogliate con distribuzioni simili per tutti i vigneti e per entrambe le tesi. Invece il range di valori tra massimo e minimo è maggiore nelle tesi sfogliate rispetto alle non sfogliate fatto riconducibile alla minor protezione della cortina fogliare.
- L'effetto della sfogliatura per quanto riguarda la temperatura in pieno giorno (Tgrape Full-Day) è più evidente nei vigneti a sangiovese, in particolare nel vigneto di Brolio. L'ampiezza del range di valori tra tesi è distribuito uniformemente tra i vigneti con valori più ampi per Brolio e Cacciagrande nei quali anche il range dei valori è più ampio.
- L'indice dmorn_stderr_5_10_tgrape evidenzia la forma dell'incremento mattutino della temperatura. Le tesi sfogliate mostrano in tutti i casi un incremento della temperatura di mattina più rapido. In tutti i vigneti il range dei valori è superiore nelle tesi sfogliate.

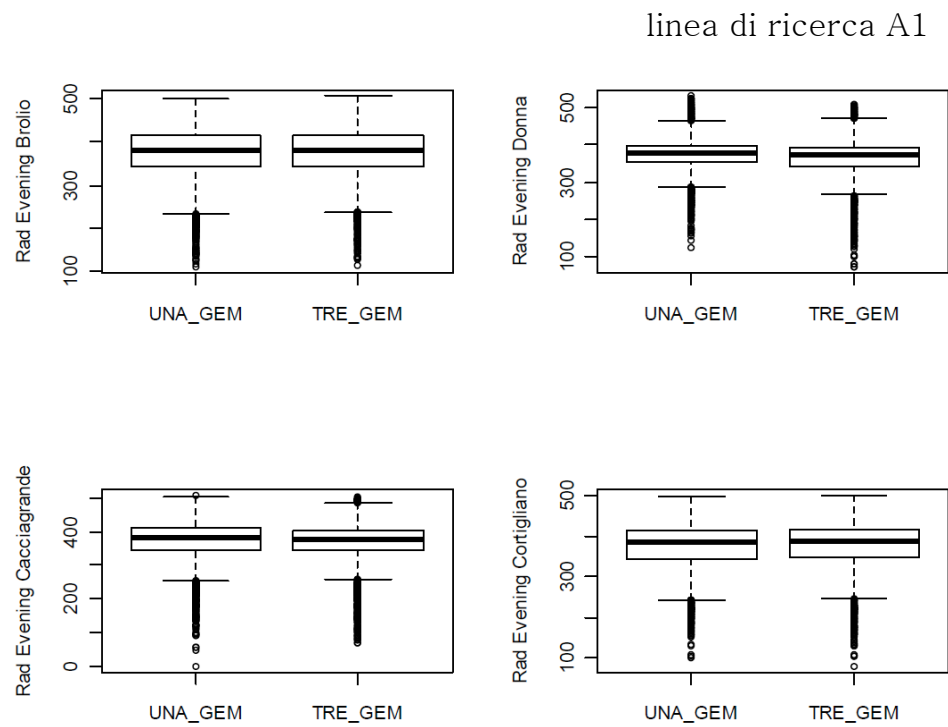


Fig.1.30 Effetto della tesi carica gemme (UNA_GEM=potato ad una gemma; TRE_GEM=potato a tre gemme) sull'indice Rad Evening (radiazione del grappolo di sera) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

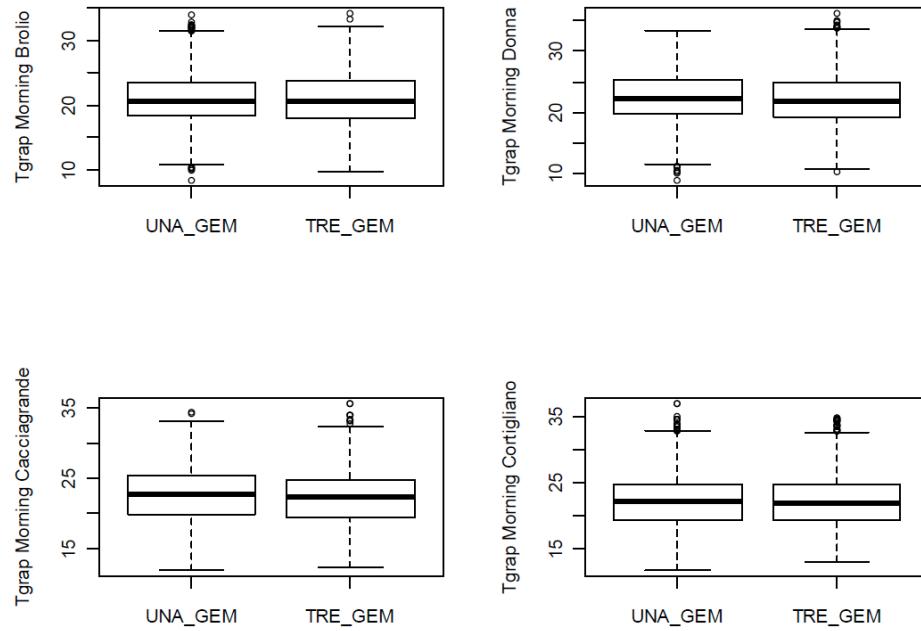


Fig.1.31 Effetto della tesi carica gemme (UNA_GEM=potato ad una gemma; TRE_GEM=potato a tre gemme) sull'indice Tgrap Morning (temperatura del grappolo di mattina) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

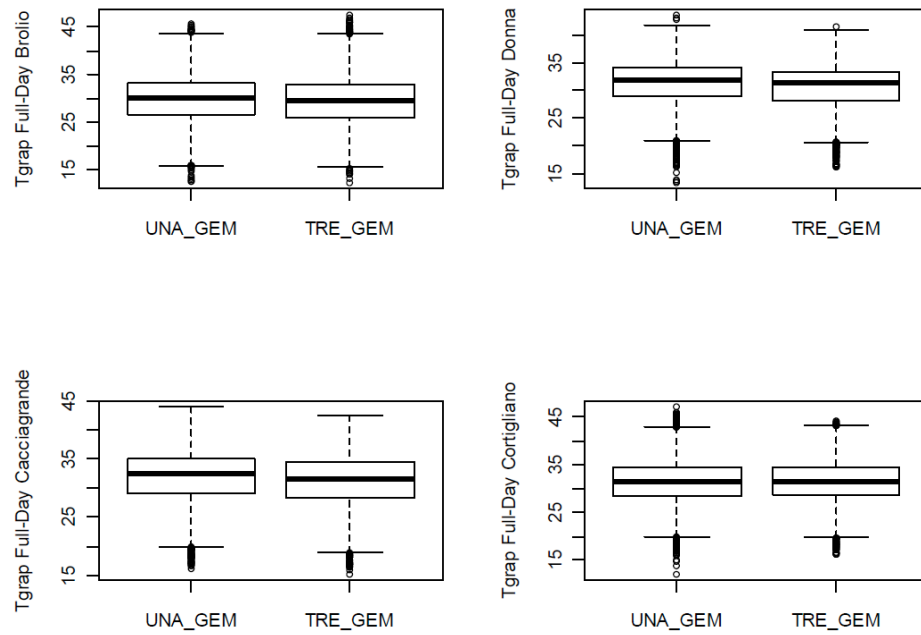


Fig.1.32 Effetto della tesi carica gemme (UNA_GEM=patato ad una gemma; TRE_GEM=patato a tre gemme) sull'indice Tgrap Full-Day (temperatura del grappolo in pieno giorno) per i quattro vigneti.

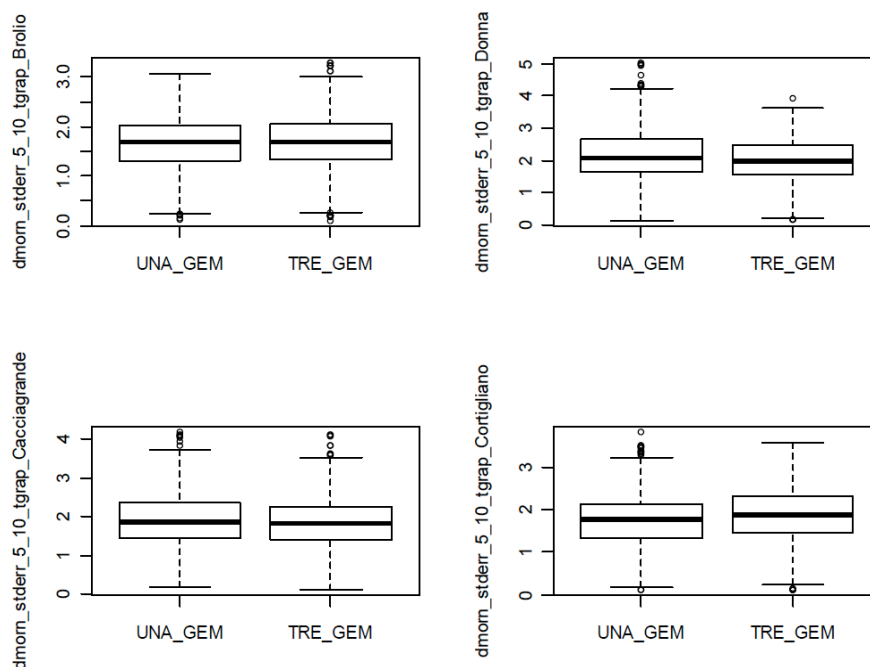


Fig.1.33 Effetto della tesi carica gemme (UNA_GEM=potato ad una gemma; TRE_GEM=potato a tre gemme) sull'indice dmorn_stderr_5_10_tgrap (errore standard per temperatura del grappolo nella finestra oraria statica che va dalle 5 alle 10 di mattina) per i quattro vigneti.

L'effetto della carica gemme:

- La radiazione serale (indice Rad Evening) in media è maggiore per i vigneti a cabernet sauvignon per le tesi patate a una gemma rispetto alle tre gemme; l'ampiezza della distribuzione è maggiore nei vigneti di sangiovese (Brolio-Cortigliano) e più contenuta in

quelli di cabernet sauvignon (Donna Olimpia-Cacciagrande). Anche il range dei valori è più ampio nel sangiovese rispetto al cabernet;

- La temperatura mattutina (indice Tgrape Morning) evidenzia l'effetto della carica di gemme maggiore nei vigneti a cabernet. Non si notano grosse differenze nella distribuzione dei valori;
- L'effetto della carica di gemme per quanto riguarda la temperatura in pieno giorno (Tgrape Full-Day) è presente in tutti i vigneti (tesi ad una gemma più calda), con un effetto più marcato nei vigneti a cabernet. La maggiore risposta dei vigneti a cabernet sauvignon è evidenziata dal confronto tra Cacciagrande e Cortigliano. La distribuzione dei valori e dei range è uniforme tra i vigneti;
- Per quanto riguarda l'indice `dmorn_stderr_5_10_tgrape` le varietà si comportano in modo differente. Nel sangiovese le tesi potate a tre gemme mostrano un incremento della temperatura più rapido in particolare a Cortigliano. Nel cabernet la crescita della temperatura nelle tesi a tre gemme è più lenta. Questo dato, unitamente ai precedenti, fa supporre un diverso sviluppo dell'architettura fogliare delle due varietà.

linea di ricerca A1

1.6.3. Andamento degli indici lungo tutto l'arco dell'anno (considerando l'anno medio tra 2008-2009-2010);



Fig.1.34 Andamento durante l'anno dell'effetto della tesi sfogliatura (DEF=sfogliato;NON DEF=non sfogliato) sull'indice Rad Evening (radiazione del grappolo di sera) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

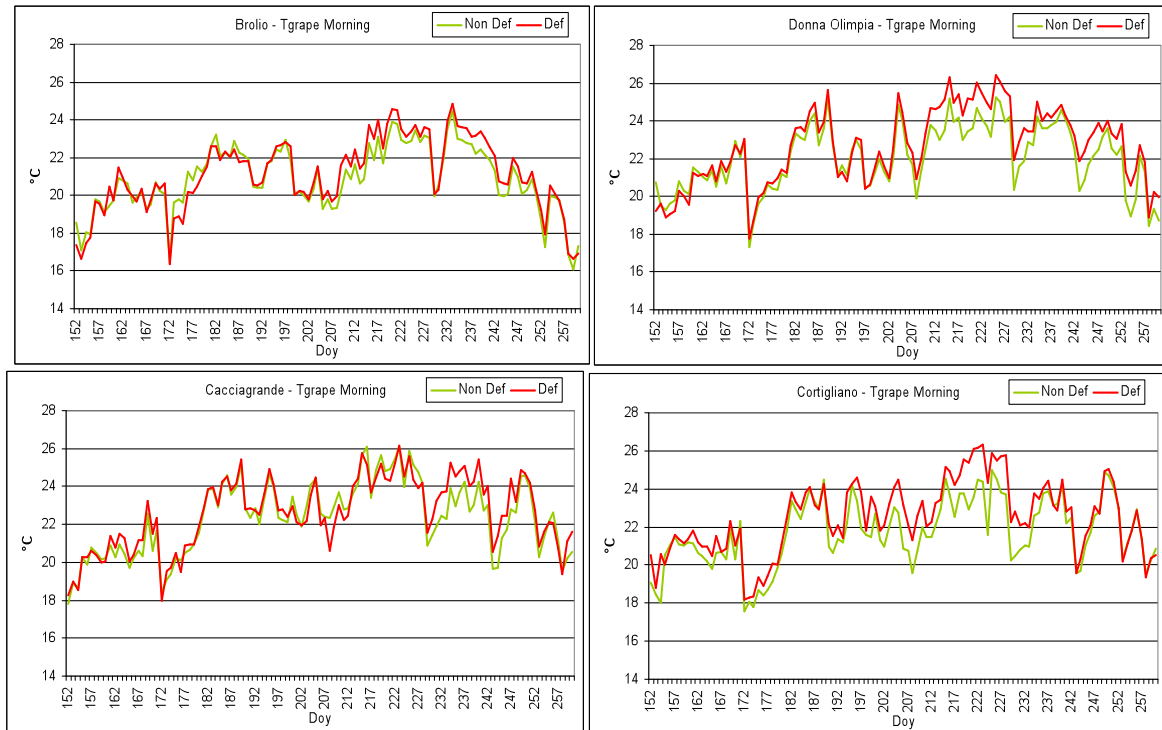


Fig.1.35 Effetto della tesi sfogliatura (DEF=sfogliato;NON DEF=non sfogliato) sull'indice Tgrape Morning (temperatura del grappolo di mattina) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

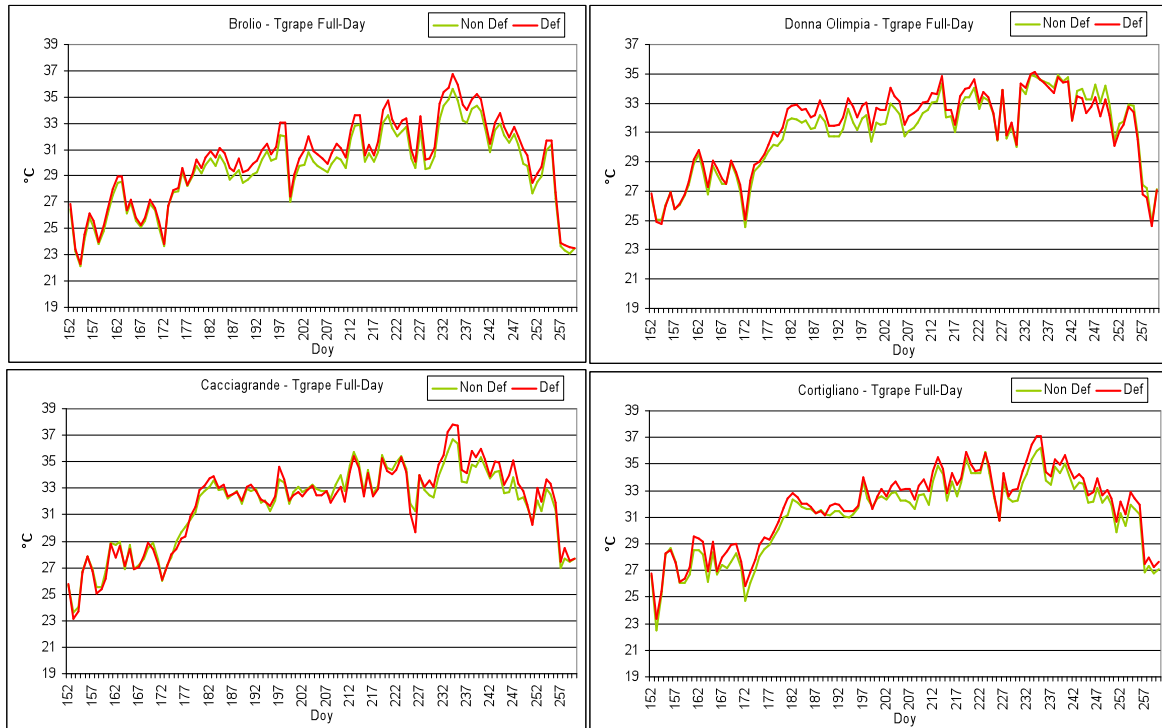


Fig.1.36 Effetto della tesi sfogliatura (DEF=sfogliato;NON DEF=non sfogliato) sull'indice Tgrape Full-Day (temperatura del grappolo in pieno giorno) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

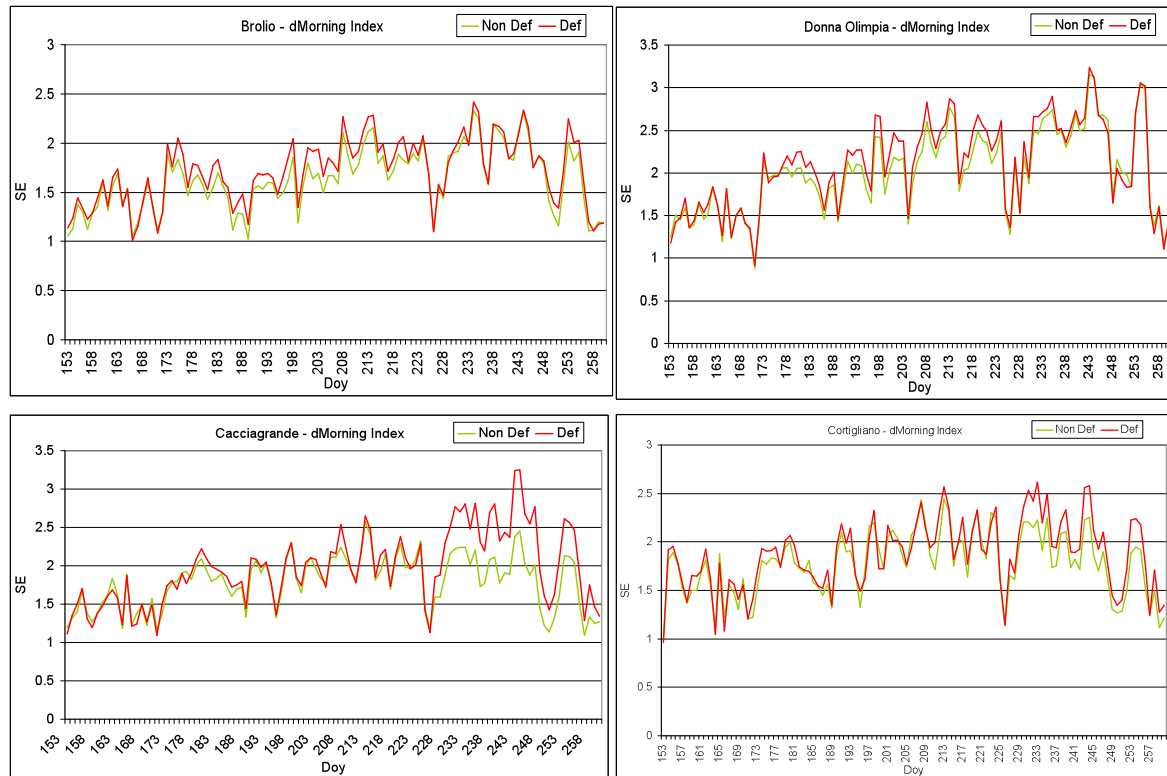


Fig.1.37 Effetto della tesi sfogliatura (DEF=sfogliato;NON DEF=non sfogliato) sull'indice dmorn_stderr_5_10_tgrap (errore standard per temperatura del grappolo nella finestra oraria statica che va dalle 5 alle 10 di mattina) per i quattro vigneti.

Dall'analisi delle figure precedenti sugli andamenti degli indici si rileva che:

- Per quanto riguarda l'indice radiazione serale (Rad Evening) le tesi sfogliate risultano più radiate in maniera quasi uniforme in tutto il periodo dell'anno.
- Mentre per l'indice temperatura mattutina (Tgrape Morning) le differenze maggiori le troviamo ad Agosto tranne che a Brolio in cui troviamo un comportamento opposto della temperatura di mattina, perché a Luglio le tesi sfogliate sono più fresche mentre ad Agosto il contrario.
- Il delta maggiore lo troviamo a Cortigiano nella parte centrale di Agosto.
- L'indice di temperatura in pieno giorno evidenzia le tesi defogliate più calde anche se con piccole differenze, a fine Agosto sono state rilevati discostamenti maggiori tra le tesi.
- Il `dmorn_stderr_5_10_tgrap` che evidenzia come l'incremento della temperatura mattutina sia più o meno costante mostra un comportamento analogo agli altri indici, anche se in certi periodi dell'anno riesce meglio a discriminare la tesi sfogliatura.

linea di ricerca A1

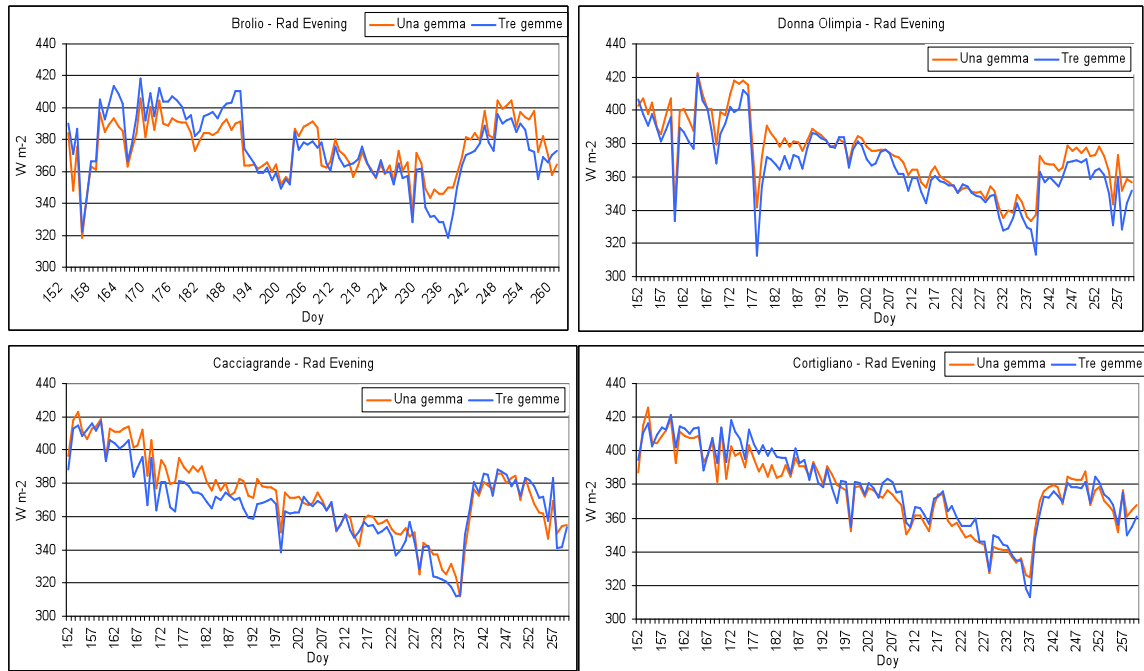


Fig.1.38 Effetto della tesi carica gemme (UNA_GEM=potato ad una gemma; TRE_GEM=potato a tre gemme) sull'indice Rad Evening (radiazione del grappolo di sera) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

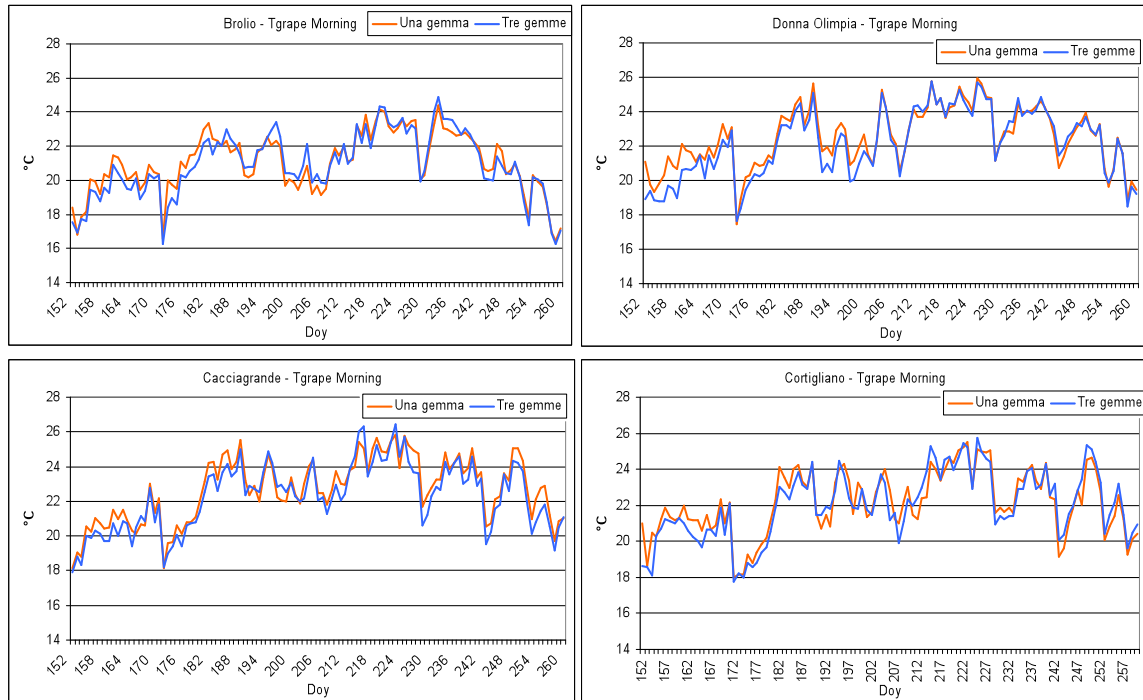


Fig.1.39 Effetto della tesi carica gemme (UNA_GEM=potato ad una gemma; TRE_GEM=potato a tre gemme) sull'indice Tgrape Morning (temperatura del grappolo di mattina) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

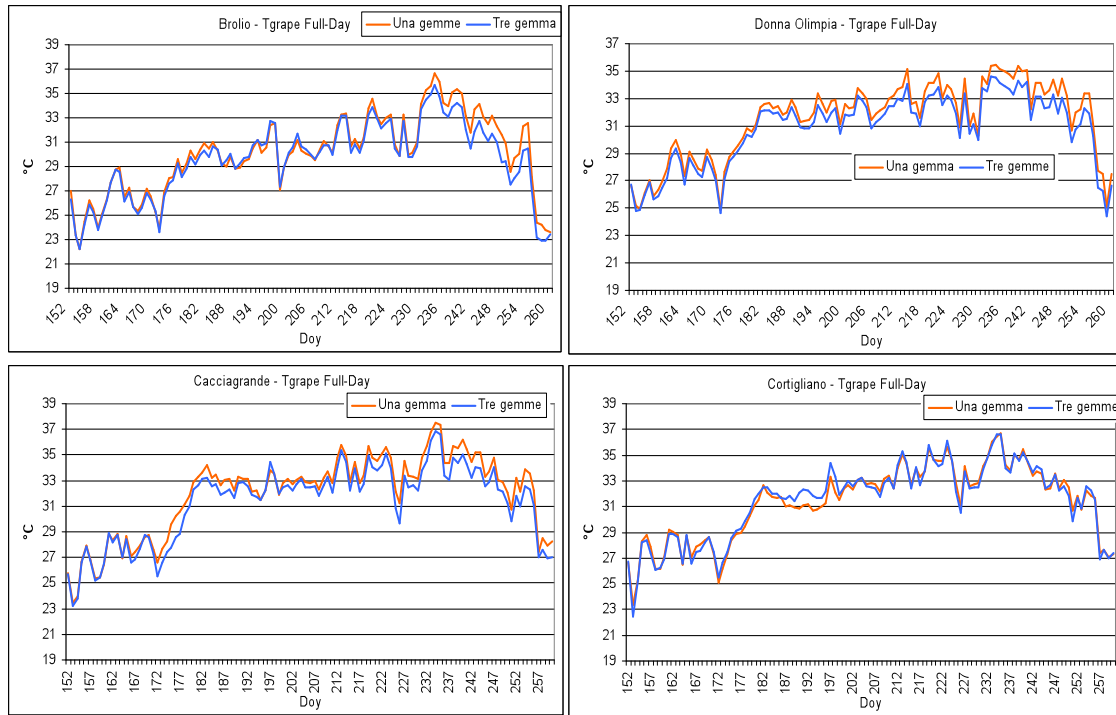


Fig.1.40 Effetto della tesi carica gemme (UNA_GEM=potato ad una gemma; TRE_GEM=potato a tre gemme) sull'indice Tgrape Full-Day (temperatura del grappolo in pieno giorno) per i quattro vigneti.

linea di ricerca A1

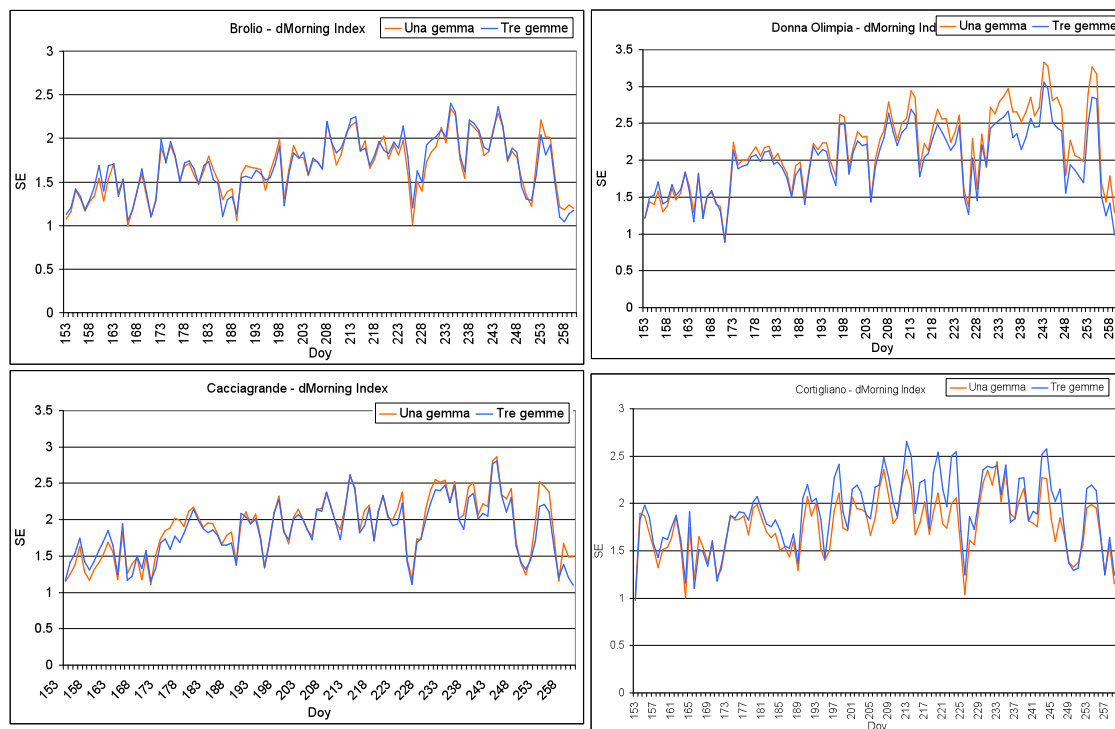


Fig.1.41 Effetto della tesi carica gemme (UNA_GEM=potato ad una gemma; TRE_GEM=potato a tre gemme) sull'indice $dmorn_stderr_5_10_tgrap$ (errore standard per temperatura del grappolo nella finestra oraria statica che va dalle 5 alle 10 di mattina) per i quattro vigneti.

Nelle figure precedenti sono mostrati gli andamenti degli indici a seconda della tesi carica gemme.

- L'indice Tgrape Full-Day è l'indice che meglio riesce a discriminare le tesi anche perché probabilmente quando il sole è a picco il fatto che la pianta sia più o

linea di ricerca A1

meno vigorosa fa sì che ci sia maggior radiazione e quindi maggior temperatura sul grappolo.

- Interessante notare come il comportamento dell'indice `dmorn_stderr_5_10_tgrap` sia particolare a Cortigiano rilevando una variazione molto incostante dell'incremento delle temperature mattutine, forse da imputare al diverso orientamento dei filari.

1.6.4. Tabella riassuntiva con le statistiche descrittive degli indici migliori (media, deviazione standard e mediana) vigneto per vigneto e nei vari anni per quanto concerne la tesi sfogliatura;

Le analisi dei precedenti paragrafi vengono in seguito dettagliati per i singoli anni. Le due tabelle fanno riferimento alle statistiche descrittive per gli indici selezioni relativi al periodo di riferimento Giugno Settembre e ad Agosto. In particolare vengono commentati i delta tra le medie delle tesi sfogliate e non, anno per anno.

linea di ricerca A1

Index DEF - NON DEF tutto il periodo giugno-settembre															
		Rad Evening NON DEF			Rad Evening DEF			delta	Tgrape Morning NON DEF			Tgrape Morning DEF			delta
Vineyard	Year	Mean	Std	Median	Mean	Std	Median		Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	
Brolio	2008	389	56	393	388	56	394	-1	20.7	4.1	20.2	20.7	4.1	20.1	0
Brolio	2009	355	65	369	372	65	383	17	21.2	3.5	20.7	21.8	3.9	21.4	0.8
Brolio	2010	373	46	376	369	49	375	-4	20.7	3.8	20.5	20.7	3.9	20.5	0
Brolio	Mean 3 Years	372.33	55.67	379.33	376.33	56.67	384.00	4.00	20.87	3.80	20.47	21.07	3.97	20.67	0.20
Donna Olimpia	2008	366	56	371	376	50	381	10	22.6	4.3	22.3	22.8	4.6	22.5	0.2
Donna Olimpia	2009	356	50	367	372	43	379	16	21.7	3.4	21.5	22.5	4.1	22.2	0.8
Donna Olimpia	2010	370	42	376	374	45	379	4	21.8	3.6	21.9	22.6	4.1	22.7	0.8
Donna Olimpia	Mean 3 Years	364.00	49.33	371.33	374.00	46.00	379.67	10.00	22.03	3.77	21.90	22.63	4.27	22.47	0.60
Cacciagrande	2008	367	64	372	377	65	383	10	22.6	3.9	22.6	22.8	4.1	22.8	0.2
Cacciagrande	2009	363	49	373	380	64	397	17	22.5	3.3	22.5	22.8	3.5	22.6	0.3
Cacciagrande	2010	360	51	372	372	52	378	12	21.9	3.6	22.1	22.4	3.7	22.6	0.5
Cacciagrande	Mean 3 Years	363.33	54.67	372.33	376.33	60.33	386.00	13.00	22.33	3.60	22.40	22.67	3.77	22.67	0.33
Cortigliano	2008	373	63	375	389	61	394	16	21.8	3.7	21.5	22.1	3.9	21.7	0.3
Cortigliano	2009	368	52	377	370	53	381	2	21.9	3.3	21.7	22.9	3.8	22.8	1
Cortigliano	2010	373	51	383	387	53	395	14	21.5	3.6	21.3	22.5	3.8	22.6	1
Cortigliano	Mean 3 Years	371.33	55.33	378.33	382.00	55.67	390.00	10.67	21.73	3.53	21.50	22.50	3.83	22.37	0.77

Tgrape Full Day NON DEF Tgrape Full Day DEF dMorning_5_10_stderr NON DEF dMorning_5_10_stderr DEF															
		Tgrape Full Day NON DEF			Tgrape Full Day DEF			delta	dMorning_5_10_stderr NON DEF			dMorning_5_10_stderr DEF			delta
Vineyard	Year	Mean	Std	Median	Mean	Std	Median		Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	
Brolio	2008	29.8	5.1	30.1	29.9	5.2	30.4	0.1	1.77	0.54	1.8	1.81	0.54	1.86	0.04
Brolio	2009	29.4	5.1	29.3	30.8	5.7	30.6	1.4	1.47	0.45	1.5	1.63	0.48	1.67	0.16
Brolio	2010	29.1	4.5	29.5	29.3	4.7	29.6	0.2	1.62	0.52	1.67	1.7	0.54	1.78	0.08
Brolio	Mean 3 Years	29.43	4.90	29.63	30.00	5.20	30.20	0.57	1.62	0.50	1.66	1.71	0.52	1.77	0.09
Donna Olimpia	2008	31.3	4.1	32.2	31.6	4.3	32.7	0.3	2.14	0.71	2.21	2.26	0.8	2.37	0.12
Donna Olimpia	2009	30.9	3.7	31.2	31.1	3.7	31.3	0.2	1.93	0.64	1.93	1.97	0.67	1.94	0.04
Donna Olimpia	2010	30.5	3.6	31.1	31.1	3.8	31.4	0.6	1.97	0.78	1.94	2.06	0.74	2.06	0.09
Donna Olimpia	Mean 3 Years	30.90	3.80	31.50	31.27	3.93	31.80	0.37	2.01	0.71	2.03	2.10	0.74	2.12	0.08
Cacciagrande	2008	31.5	4.5	32.4	32.2	4.9	33.5	0.7	1.87	0.67	1.93	2.1	0.76	2.13	0.23
Cacciagrande	2009	31.8	4.3	31.7	30.8	4.1	30.6	-1	1.71	0.51	1.66	1.85	0.61	1.75	0.14
Cacciagrande	2010	31.3	4.1	31.8	32.1	4.6	32.9	0.8	1.78	0.55	1.82	2.02	0.72	20.3	0.24
Cacciagrande	Mean 3 Years	31.53	4.30	31.97	31.70	4.53	32.33	0.17	1.79	0.58	1.80	1.99	0.70	8.06	0.20
Cortigliano	2008	31.7	4.8	31.9	32.5	4.8	32.8	0.8	1.74	0.54	1.78	2	0.67	2.01	0.26
Cortigliano	2009	31.1	4.2	30.8	31.8	4.2	31.5	0.7	1.84	0.6	1.77	1.88	0.63	1.79	0.04
Cortigliano	2010	30.5	4.1	30.8	30.8	3.6	31.2	0.3	1.73	0.59	1.73	1.73	0.61	1.78	0
Cortigliano	Mean 3 Years	31.10	4.37	31.17	31.70	4.20	31.83	0.60	1.77	0.58	1.76	1.87	0.64	1.86	0.10

Tab.1.21 Statistica descrittiva degli indici selezionati per vigneto e per anno nel periodo giugno-settembre

linea di ricerca A1

		Index DEF - NON DEF - Agosto													
		Rad Evening NON DEF			Rad Evening DEF				Tgrape Morning NON DEF			Tgrape Morning DEF			
Vineyard	Year	Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	delta	Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	delta
Brolio	2008	372	58	370	366	60	371	-6	22.5	4.3	21.9	22.6	4.2	21.9	0.1
Brolio	2009	340	71	352	355	69	367	15	23.8	3.1	23.4	24.4	3.4	24.1	0.6
Brolio	2010	366	53	371	345	63	354	-21	20.9	3.4	20.4	22.1	4	21.9	1.2
Brolio	Mean 3 Years	359.33	60.67	364.33	355.33	64.00	364.00	-4.00	22.40	3.60	21.90	23.03	3.87	20.67	0.63
Donna Olimpia	2008	344	50	364	357	42	369	13	24.5	4.4	24.5	24.9	4.9	25.3	0.4
Donna Olimpia	2009	336	53	354	353	36	364	17	23.1	3.1	22.4	24.7	4.1	24.3	1.6
Donna Olimpia	2010	349	44	365	354	45	374	5	22.6	3.4	22.5	24.1	4.1	23.8	1.5
Donna Olimpia	Mean 3 Years	343.00	49.00	361.00	354.67	41.00	369.00	11.67	23.40	3.63	23.13	24.57	4.37	22.47	1.17
Cacciagrande	2008	336	75	360	346	76	370	10	24.3	4.1	24.4	24.6	4.4	24.9	0.3
Cacciagrande	2009	334	64	351	352	85	385	18	24.5	3.1	24.3	24.7	3.3	24.6	0.2
Cacciagrande	2010	348	63	365	357	73	370	9	22.4	3.5	22.4	23.4	3.6	23.4	1
Cacciagrande	Mean 3 Years	339.33	67.33	358.67	351.67	78.00	375.00	12.33	23.73	3.57	23.70	24.23	3.77	22.67	0.50
Cortigliano	2008	341	66	352	365	67	381	24	22.9	4.1	22.4	23.3	4.6	22.4	0.4
Cortigliano	2009	343	62	358	342	63	360	-1	22.9	2.6	22.8	24.9	3.4	24.8	2
Cortigliano	2010	356	71	376	364	67	378	8	22.4	3.6	22.3	23.7	3.6	24.1	1.3
Cortigliano	Mean 3 Years	346.67	66.33	362.00	357.00	65.67	373.00	10.33	22.73	3.43	22.50	23.97	3.87	22.37	1.23
		Tgrape Full Day NON DEF			Tgrape Full Day DEF				dMorning_5_10_stderr NON DEF			dMorning_5_10_stderr DEF			
Vineyard	Year	Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	delta	Mean	Std	Median	Mean	Std	Median	delta
Brolio	2008	33.4	3.7	34	33.3	4.1	33.9	-0.1	2.2	0.5	2.1	2.1	0.5	2.2	-0.1
Brolio	2009	33.4	4	33.6	35.5	4.9	35.6	2.1	1.6	0.4	1.6	1.8	0.4	1.9	0.2
Brolio	2010	30.1	4.5	30.1	30.1	4.8	30.9	0	1.7	0.5	1.7	1.8	0.6	1.9	0.1
Brolio	Mean 3 Years	32.30	4.07	32.57	32.97	4.60	33.47	0.67	1.83	0.47	1.80	1.90	0.50	2.00	0.07
Donna Olimpia	2008	34	3	34.5	34.4	3.3	34.8	0.4	2.5	0.6	2.6	2.7	0.7	2.8	0.2
Donna Olimpia	2009	33.6	2.7	33.9	33.6	2.7	33.7	0	2.2	0.5	2.3	2.4	0.6	2.5	0.2
Donna Olimpia	2010	31.8	3.6	32.1	32.1	3.6	32.4	0.3	2.1	0.8	2.1	2.3	0.8	2.3	0.2
Donna Olimpia	Mean 3 Years	33.13	3.10	33.50	33.37	3.20	33.63	0.23	2.27	0.63	2.33	2.47	0.70	2.53	0.20
Cacciagrande	2008	34.1	3.2	34.6	35.1	3	35.5	1	2.1	0.6	2.1	2.4	0.7	2.4	0.3
Cacciagrande	2009	35.6	3	35.9	34.3	3.2	34.1	-1.3	1.9	0.4	1.9	2.3	0.6	2.2	0.4
Cacciagrande	2010	32.6	3.8	32.9	34.1	4	34.2	1.5	1.8	0.5	1.9	2.3	0.8	2.3	0.5
Cacciagrande	Mean 3 Years	34.10	3.33	34.47	34.50	3.40	34.60	0.40	1.93	0.50	1.97	2.33	0.70	2.30	0.40
Cortigliano	2008	34.8	4.4	35	35.5	4	35.9	0.7	1.9	0.5	2	2.3	0.7	2.2	0.4
Cortigliano	2009	35.9	2.9	35.5	35.6	3.1	35.8	-0.3	2.1	0.6	2.1	2.2	0.7	2.1	0.1
Cortigliano	2010	31.7	3.7	32.2	32.3	3.3	32.7	0.6	1.7	0.6	1.7	1.9	0.7	1.8	0.2
Cortigliano	Mean 3 Years	34.13	3.67	34.23	34.47	3.47	34.80	0.33	1.90	0.57	1.93	2.13	0.70	2.03	0.23

Tab.1.22 Statistica descrittiva degli indici selezionati per vigneto e per anno nel mese di agosto

Per l'indice Rad Evening:

I delta radiativi tra tesi sfogliate e non sfogliate presentano differenze importanti tra le varie annate. In particolare l'annata

2009 è quella che presenta il delta radiativo maggiore (tesi sfogliate più radiate) con l'eccezione del vigneto di Cortigliano presumibilmente da imputare al diverso orientamento dei filari. E' da rimarcare che:

(i) l'annata 2009 presenta valori radiativi e di precipitazione registrati a livello delle stazioni master sostanzialmente diversi dalle altre annate, in particolare è quella che presenta l'agosto più asciutto in tutti i vigneti e presenta i valori di radiazione più bassi sul vigneto di Brolio. Il confronto delle annate delle stazioni Master conferma dunque l'annata 2009 come caratterizzata da una diversa circolazione atmosferica: le elevate temperature del mese di Agosto hanno infatti generato frequenti fenomeni convettivi nell'entroterra toscano che si sono esplicitati nella formazione di nuvole nelle ore pomeridiane. Gli stessi fenomeni convettivi sono stati di minor entità sulla costa a causa della presenza di brezze marine.

(ii) la differenza tra le annate è più marcata nei vigneti sangiovese.

Per l'indice Tgrape Full-Day:

La differenza tra le annate si presenta in maniera marcata per il vigneto di Brolio per il 2009, in particolare il maggior delta è concentrato nel mese di Agosto imputabile alla maggior temperatura rilevata nel 2009.

Nei vigneti di Le Mortelle la maggior temperatura dell'annata 2009 mostra un effetto opposto a Brolio. Le tesi sfogliate presentano temperature più basse delle non sfogliate, probabilmente causato dal fatto che annate più calde in

vicinanza del mare producono maggiori effetti di circolazione come brezze marine (termiche).

Per l'indice Tgrape Morning:

La differenza tra le tesi di mattina è più marcata che in pieno giorno, soprattutto nel vigneto di Cortigliano in cui il diverso orientamento dei filari produce un effetto termico rilevante solo la mattina.

Nelle varietà sangiovese si evidenziano le differenze più marcate tra le annate.

Dall'analisi dei delta si vedono differenze anche di 1°C come media del periodo (ad Agosto anche di 2°C), quindi considerando che è un dato medio giornaliero, apporterebbe delle significative differenze in termini di cumulata del periodo.

Per il dmorning 5_10:

Generalmente l'effetto della sfogliatura aumenta l'incremento mattutino caratterizzato da questo indice per tutti i vigneti e per tutte le annate;

Per quanto riguarda i vigneti a Le Mortelle è più performante nel discriminare le annate e le due tesi.

1.6.5. Studio dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sugli indici eseguito anno per anno;

linea di ricerca A1

Nei prossimi grafici (box-plot) sono dettagliate le evidenze e le differenze indicate nel paragrafo precedente. Ogni figura presenta 4 tipologie di grafico. In alto a sinistra l'incidenza dell'indice nei vari mesi. In alto a destra come l'indice varia a seconda delle tesi sfogliate e non sfogliate nei tre anni (2008-2009-2010). In basso a sinistra l'effetto della carica gemme. Infine in basso a destra l'effetto dell'indice riguardo alle 8 tesi di gestione.

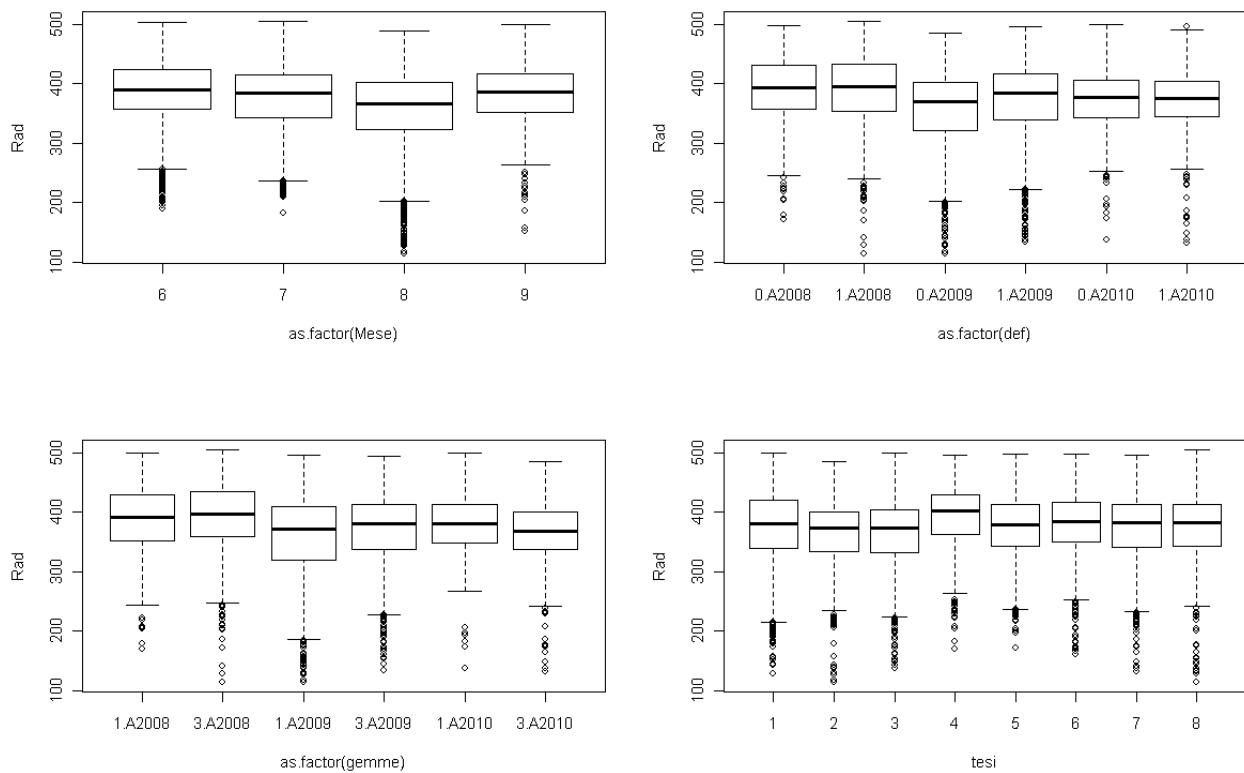


Fig.1.41 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme

linea di ricerca A1

sull'indice Rad Evening del vigneto di Brolio anno per anno.

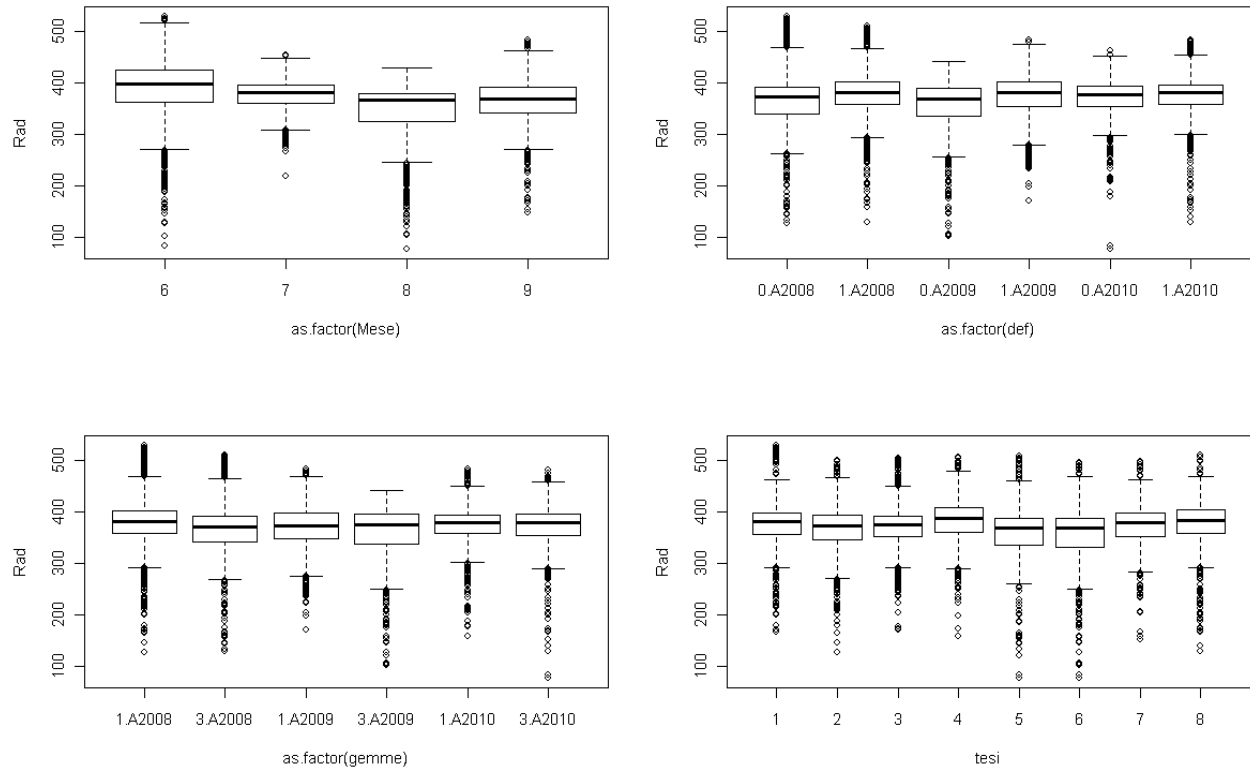


Fig.1.42 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Rad Evening del vigneto di Donna Olimpia anno per anno.

linea di ricerca A1

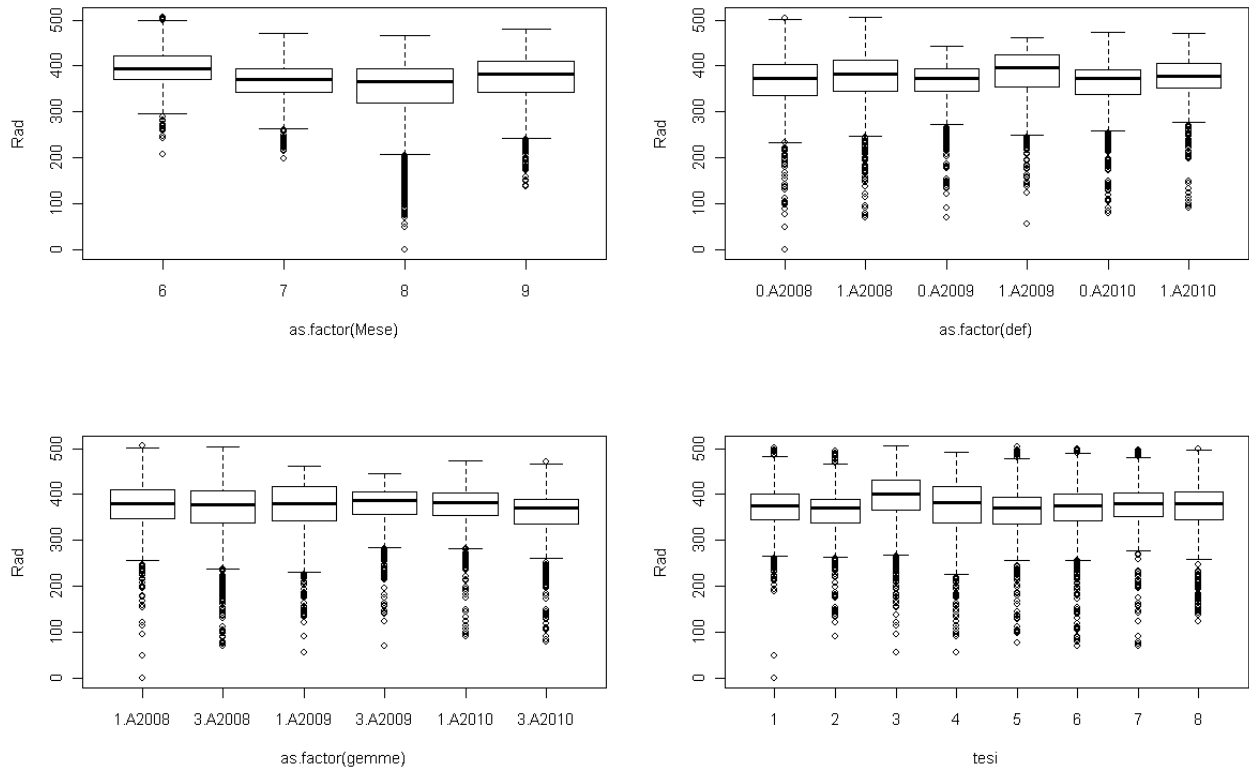


Fig.1.43 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Rad Evening del vigneto di Cacciagrande anno per anno.

linea di ricerca A1

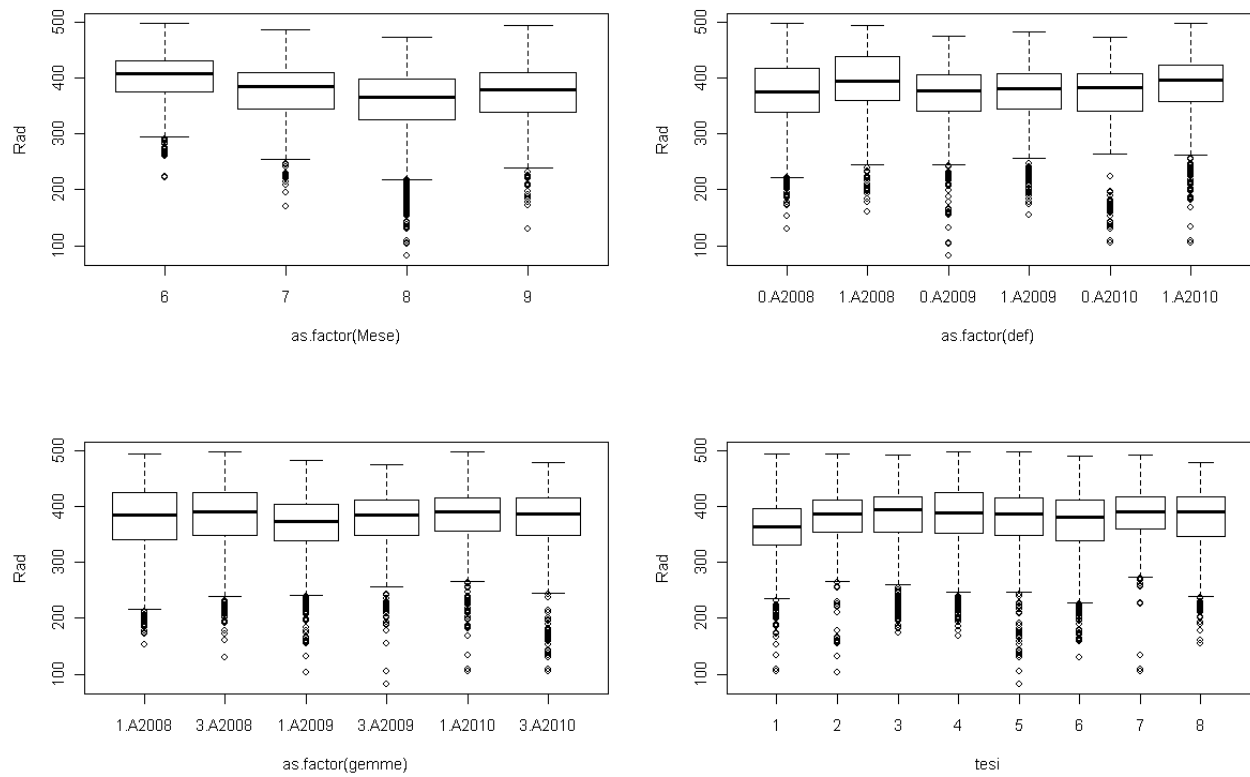


Fig. 1.44 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Rad Evening del vigneto di Cortigliano anno per anno.

linea di ricerca A1

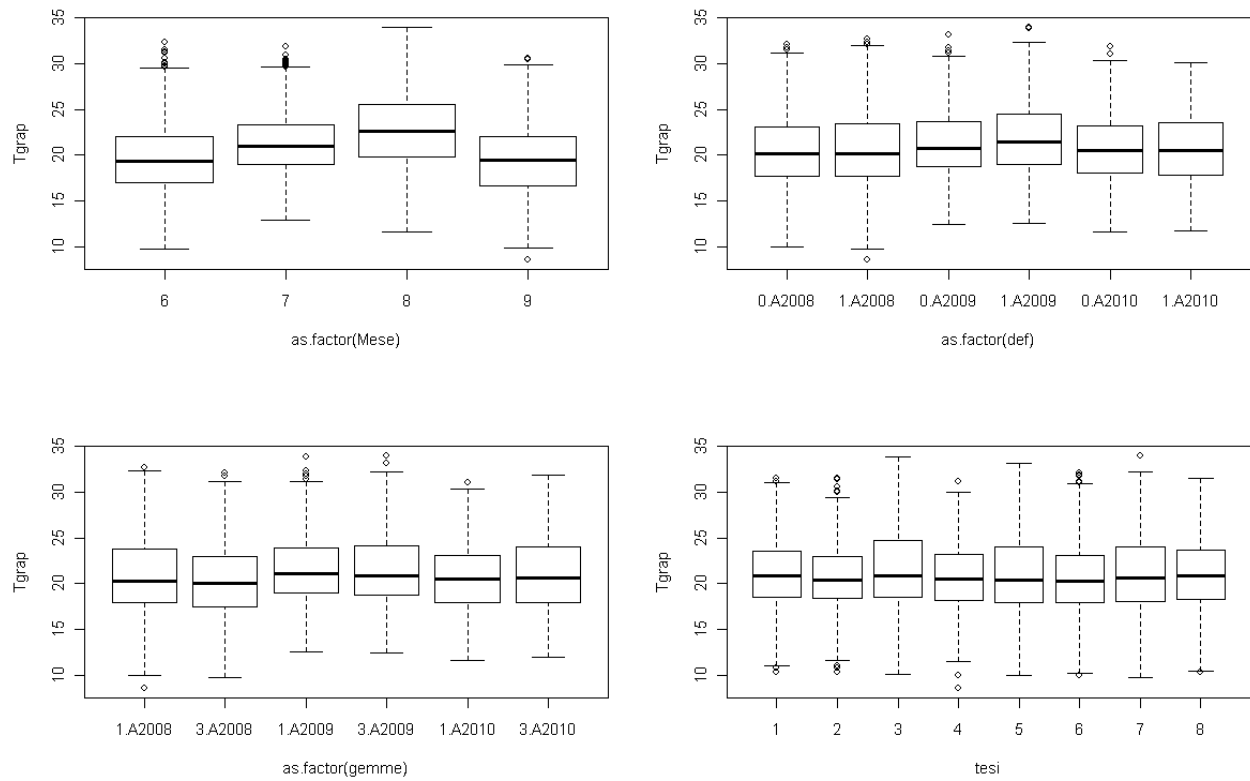


Fig.1.45 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Tgrape Morning del vigneto di Brolio anno per anno.

linea di ricerca A1

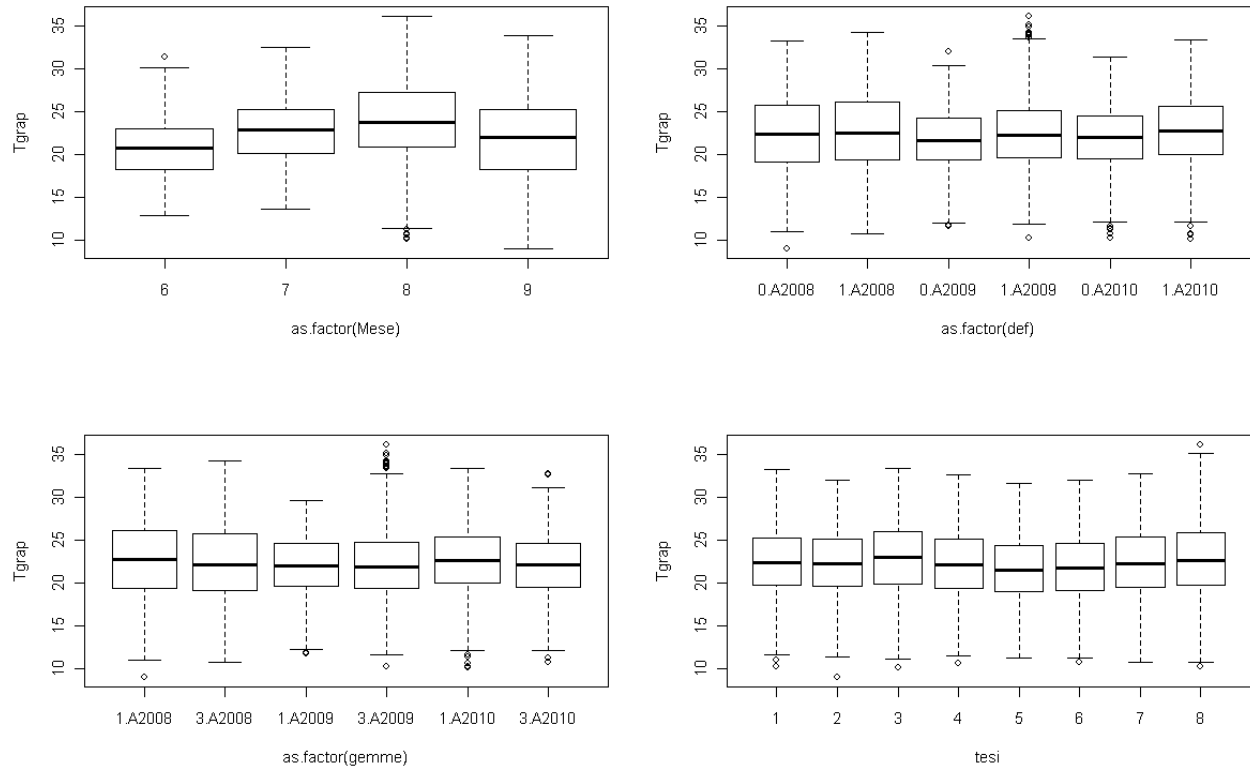


Fig.1.46 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Tgrape Morning del vigneto di Donna Olimpia anno per anno.

linea di ricerca A1

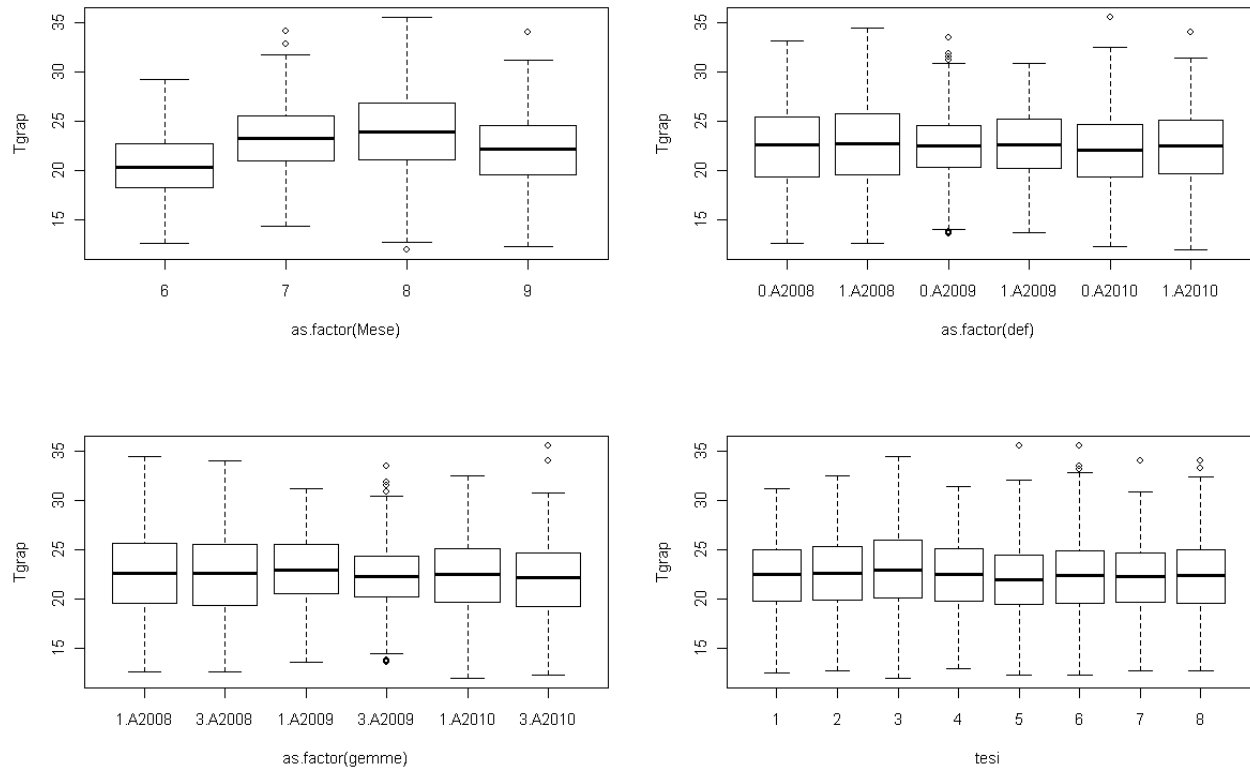


Fig.1.47 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Tgrape Morning del vigneto di Cacciagrande anno per anno.

linea di ricerca A1

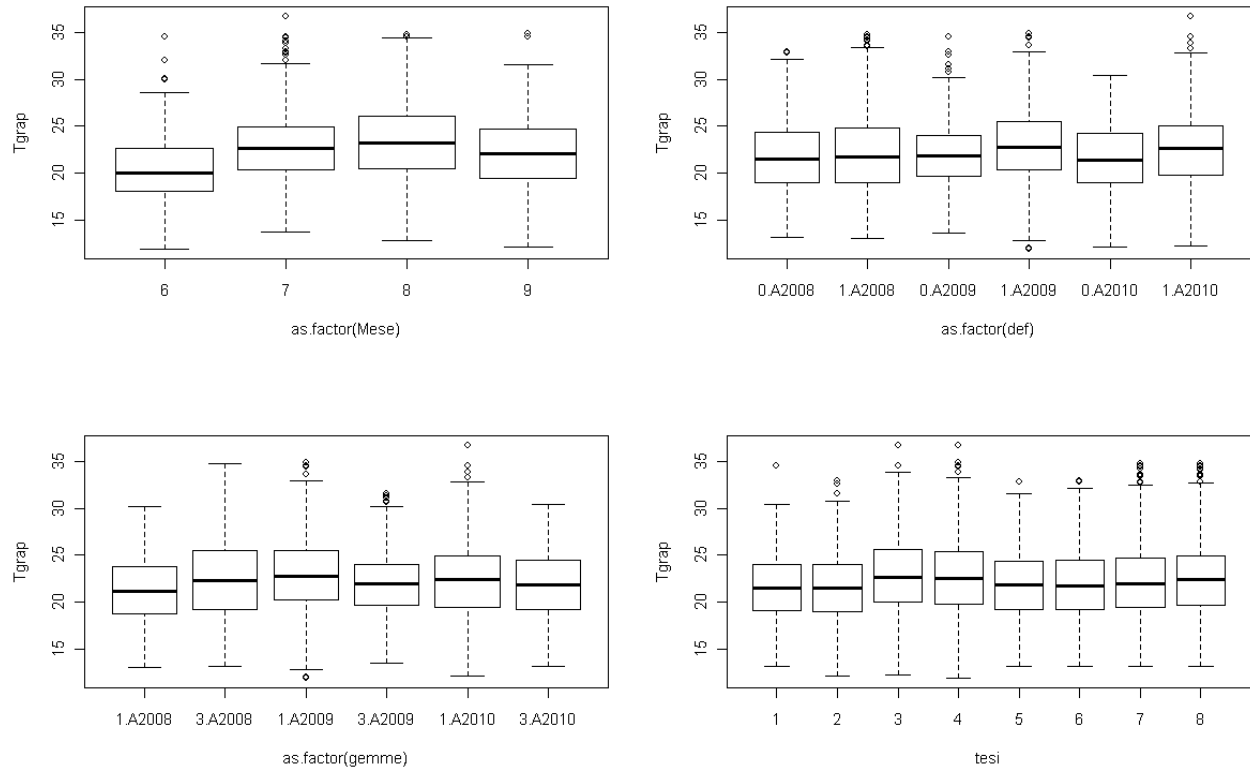


Fig.1.48 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Tgrape Morning del vigneto di Cortigiano anno per anno.

linea di ricerca A1

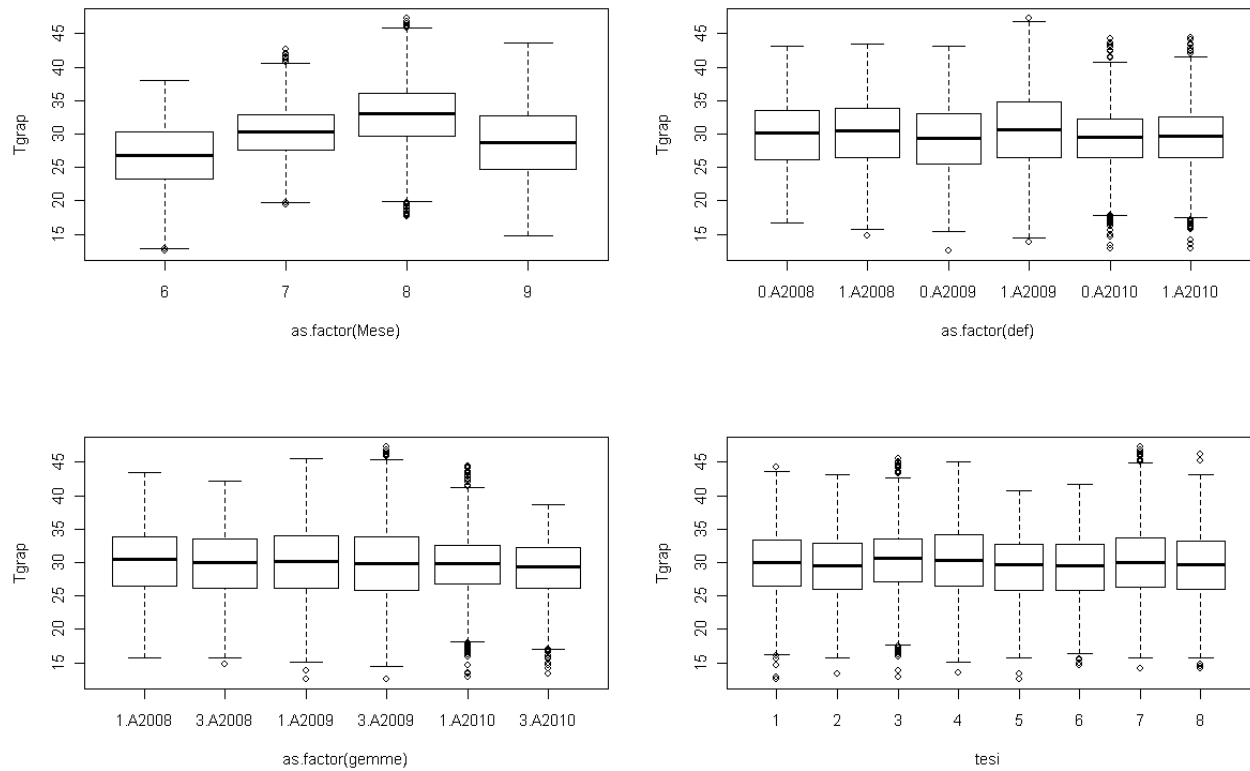


Fig.1.49 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Tgrape Full-Day del vigneto di Brolio anno per anno.

linea di ricerca A1

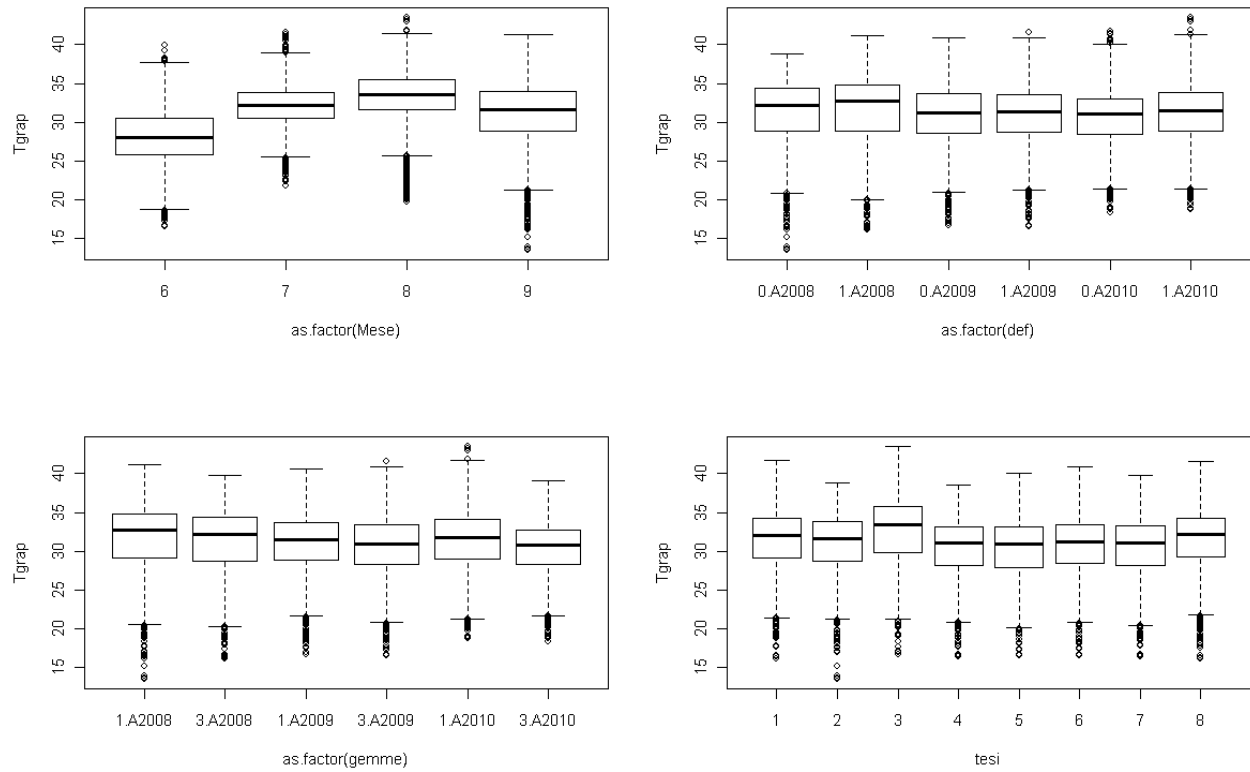


Fig.1.50 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Tgrape Full-Day del vigneto di Donna Olimpia anno per anno.

linea di ricerca A1

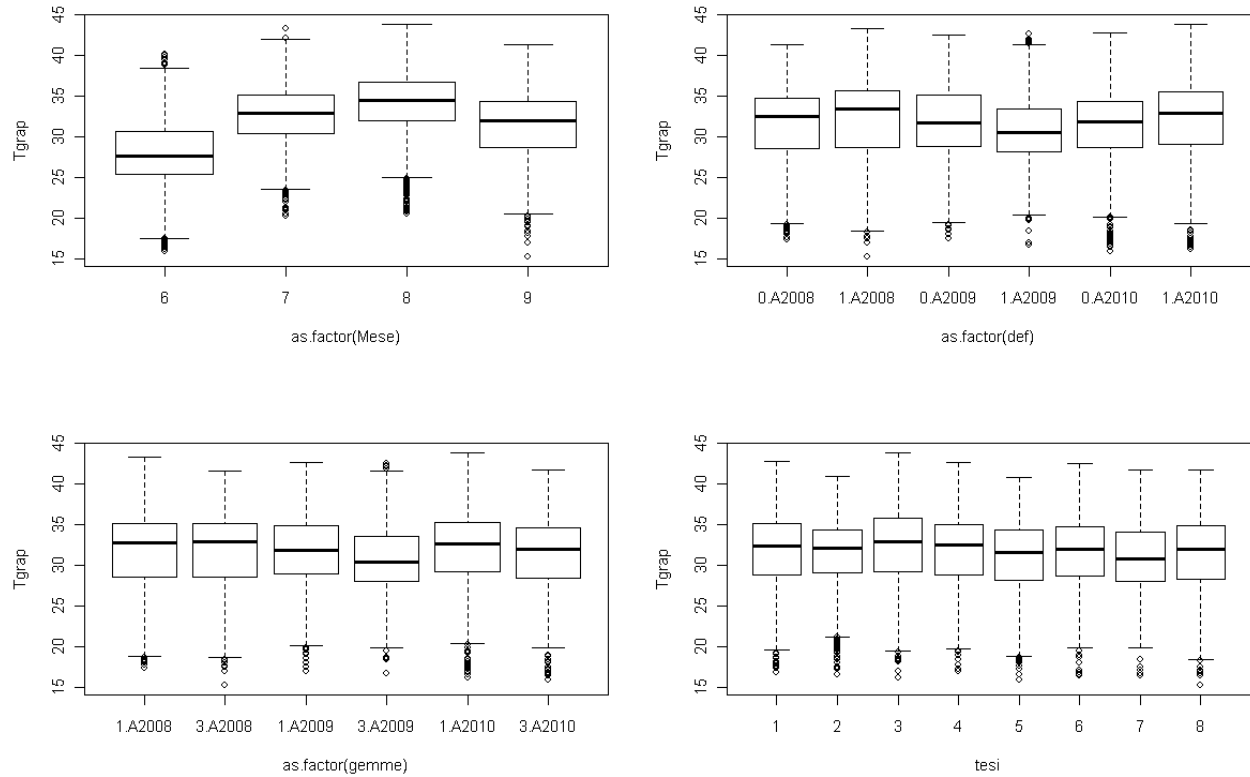


Fig.1.51 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Tgrape Full-Day del vigneto di Cacciagrande anno per anno.

linea di ricerca A1

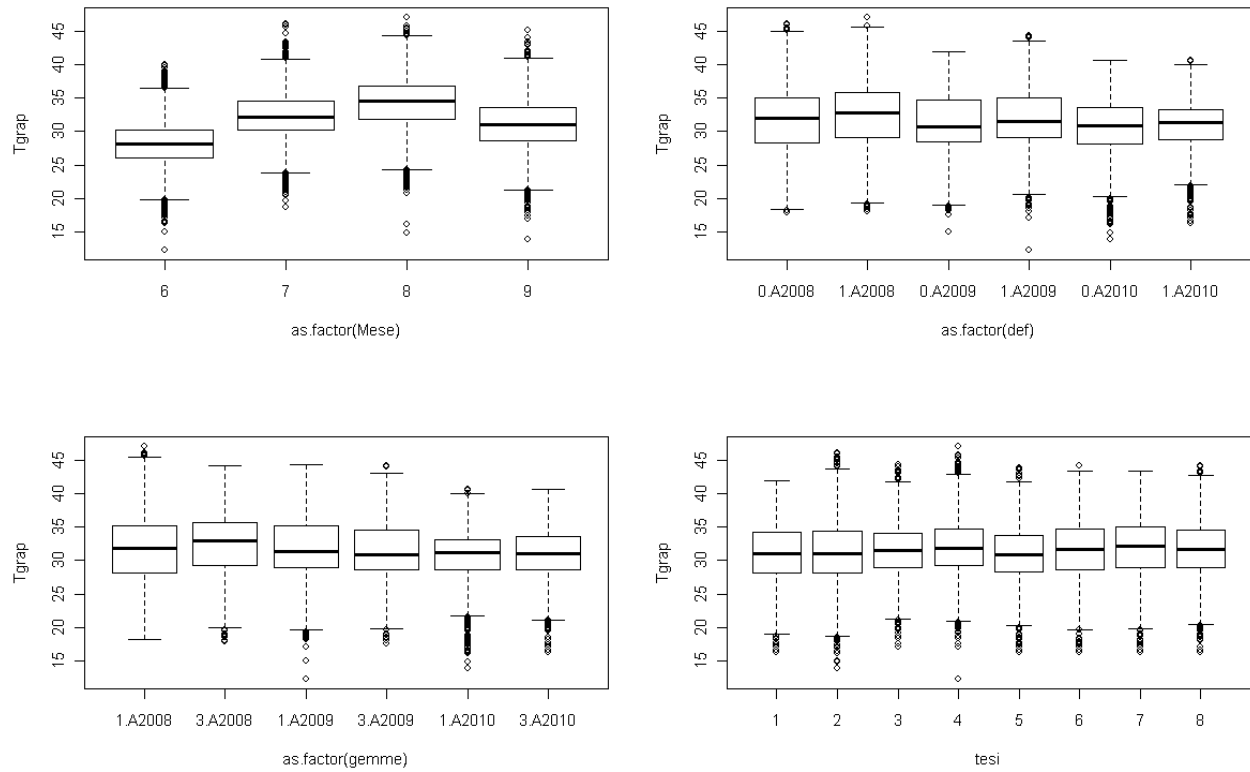


Fig.1.52 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice Tgrape Full-Day del vigneto di Cortigliano anno per anno.

linea di ricerca A1

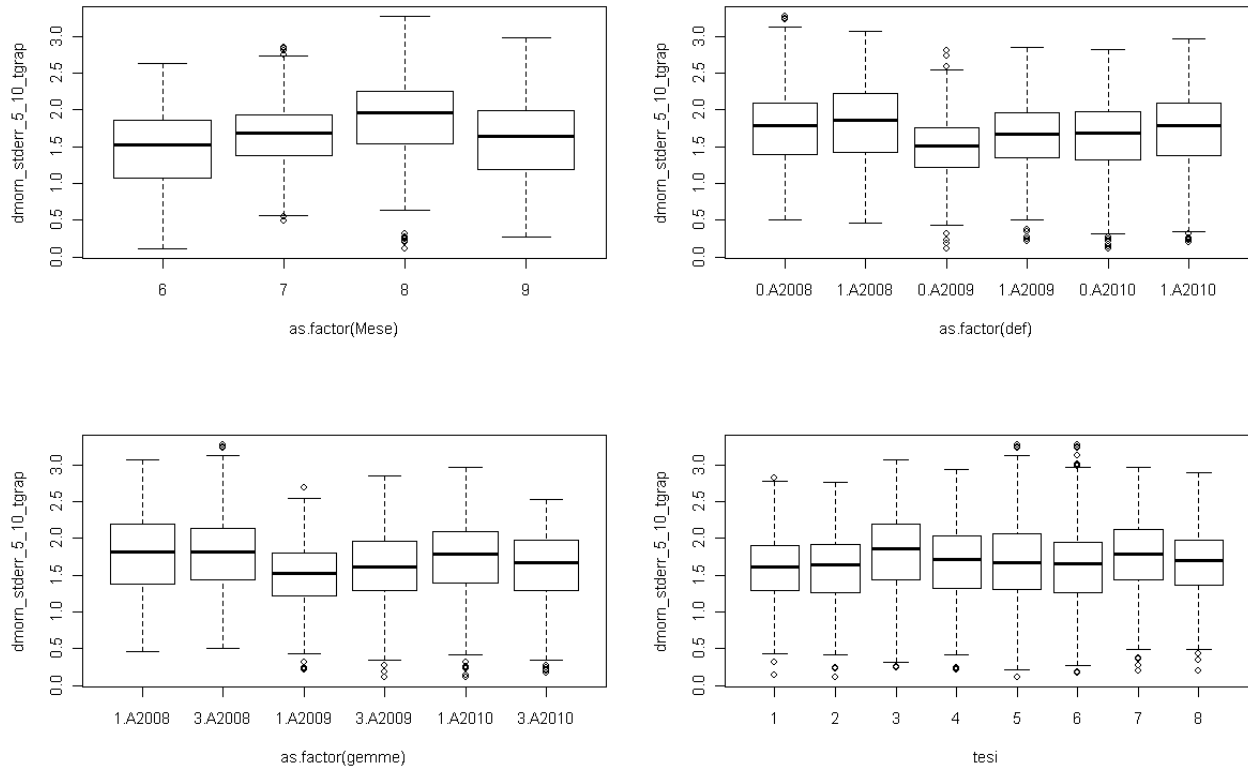


Fig.1.53 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice dmorn_5_10_stderr_Tgrape del vigneto di Brolio anno per anno.

linea di ricerca A1

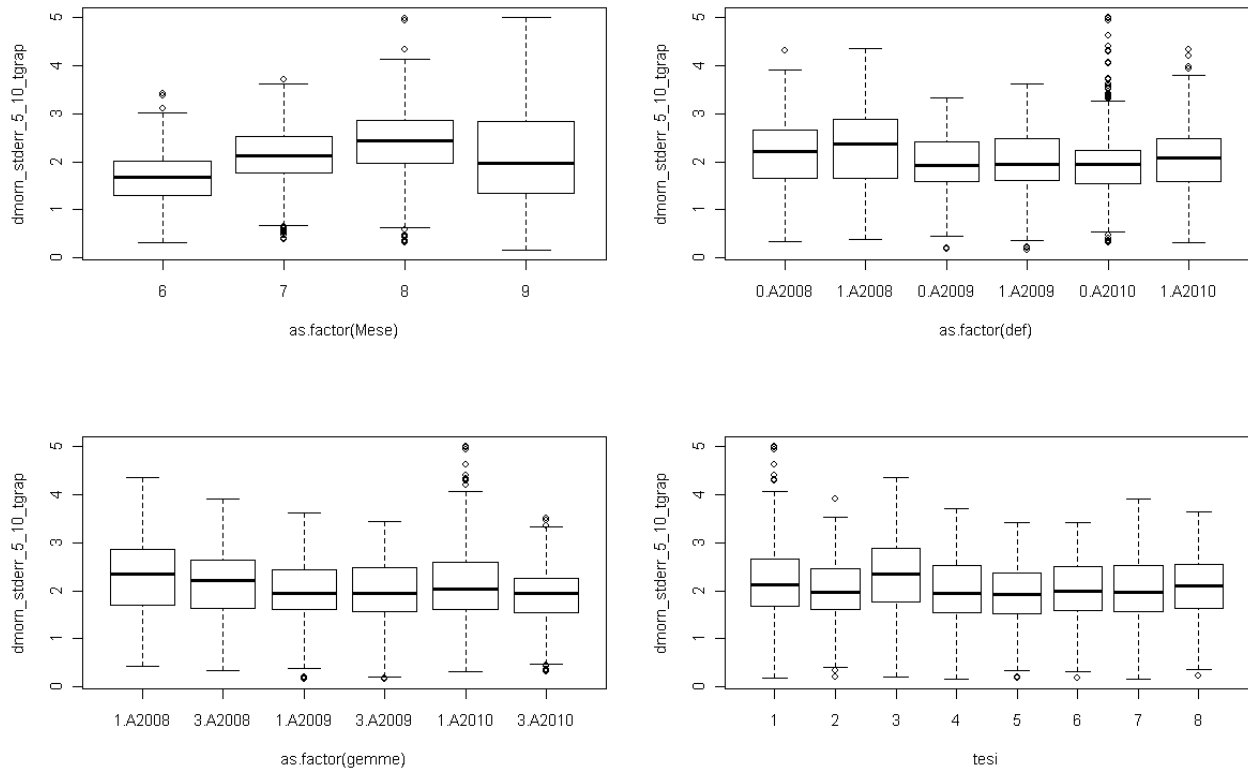


Fig.1.54 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice dmorn_5_10_stderr_Tgrape del vigneto di Donna olimpia anno per anno.

linea di ricerca A1

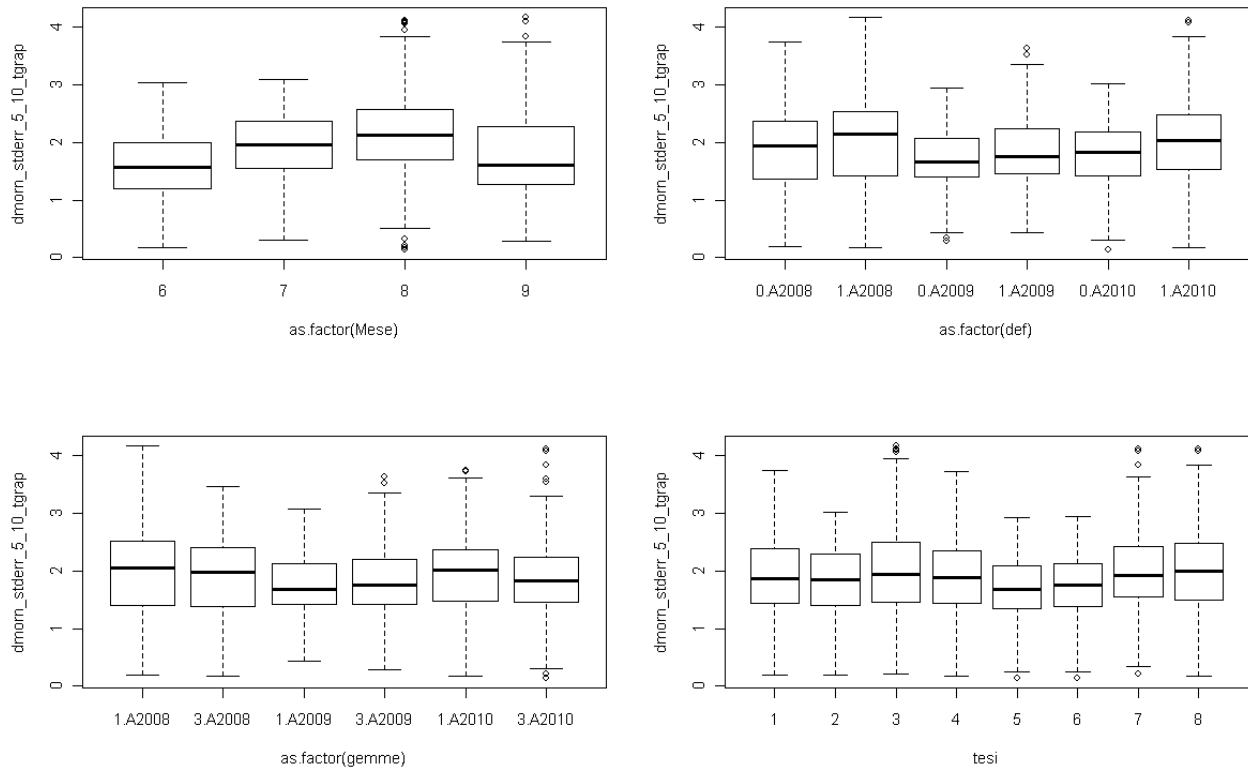


Fig.1.55 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice dmorn_5_10_stderr_Tgrape del vigneto di Cacciagrande anno per anno.

linea di ricerca A1

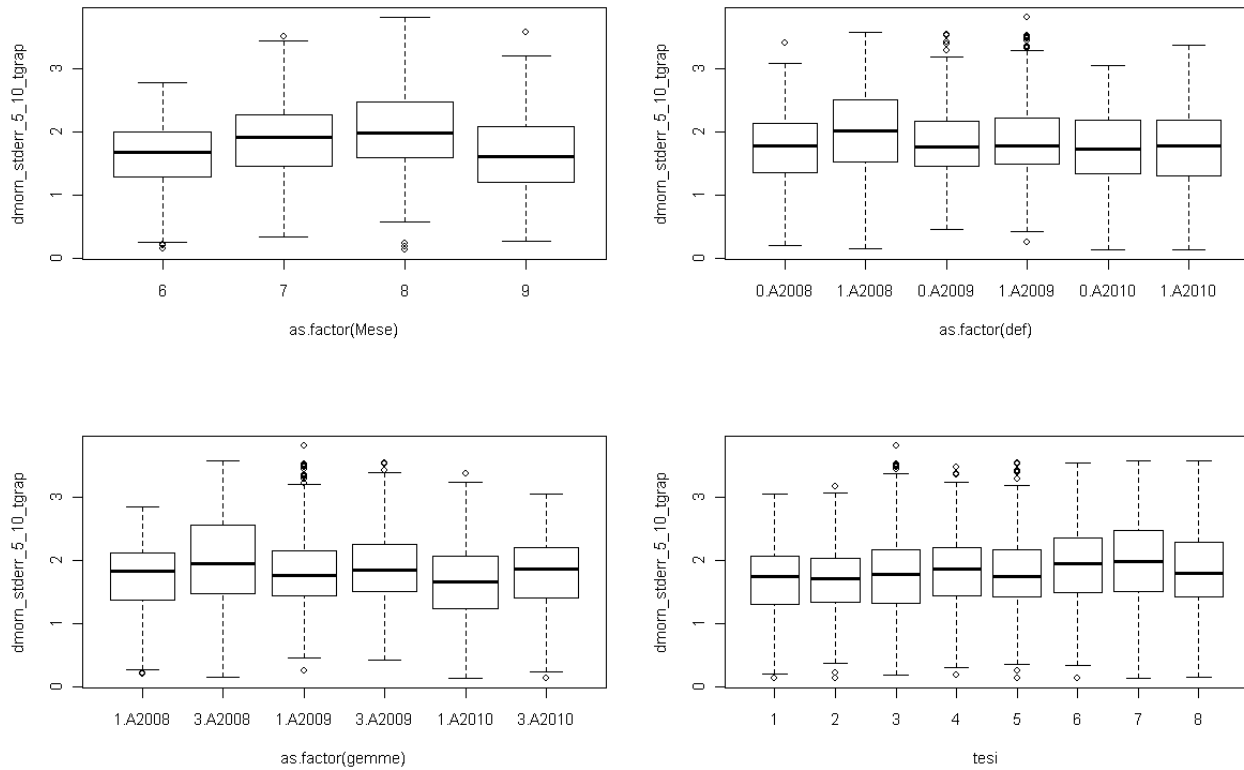


Fig.1.56 Box-Plot dell'effetto delle tesi sfogliatura e carica gemme sull'indice `dmorn_5_10_stderr_Tgrape` del vigneto di Cortigiano anno per anno.

1.7 Micrometeorologia e qualità

L'importanza dei nuovi indici nel discriminare le tesi di gestione non necessariamente e in maniera ovvia trova un conseguente riscontro nelle relazioni con i parametri qualitativi; Quindi il passo successivo dell'analisi è stato verificare se questi indici confermano la discriminazione delle tesi anche in termini qualitativi. Ovvero, a titolo di esempio, se le tesi sfogliate modificano i parametri qualitativi nello stesso modo degli indici calcolati.

Una premessa importante riguardo questa analisi è data dal fatto che sia stata possibile solo considerando il dataset degli indici 2008–2009 in quanto il dataset di qualità per il 2010 non era ancora ultimato e disponibile al momento delle analisi.

Il preliminare tentativo di evidenziare una possibile correlazione tra questi indici con i parametri qualitativi ha mostrato dei risultati che dovranno necessariamente però essere confermati con le analisi del 2010. Solo a titolo di esempio di seguito sono riportate delle regressioni significative tra gli indici e i parametri qualitativi con i dati di tutti e quattro i vigneti.

Il grafico di fig. 1.57 mostra come ci sia una forte correlazione tra l'indice Tgrape Full-Day e gli antociani misurati alla vendemmia. Interessante notare però un diverso segno della correlazione per le regressioni fatte tra parametri qualitativi e indici considerando il mese di Agosto e i mesi Giugno–Settembre. Questo ci permette di dire che l'accumulo di antociani è correlato positivamente con le temperature del

linea di ricerca A1

grappolo solo per quanto riguarda la prima parte della stagione.

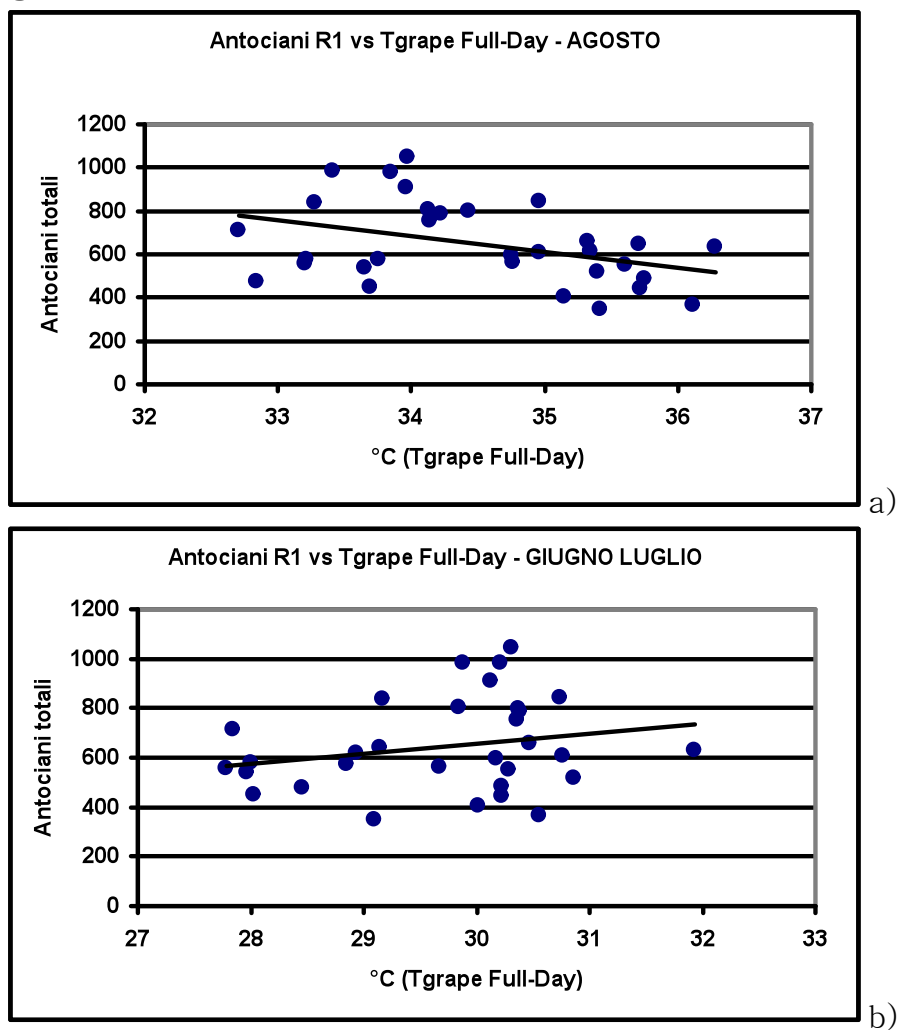


Fig.1.57 che rappresenta la regressione tra Indice Tgrape Full-Day e Antociani totali alla vendemmia considerando gli indici per Agosto a) e per il periodo Giugno-Luglio b).

linea di ricerca A1

Il grafico di fig.1.58 mostra invece una importante correlazione per l'indice Tgrape Morning di tutto il periodo con il parametro qualitativo del contenuto zuccherino ($^{\circ}\text{Brix}$)

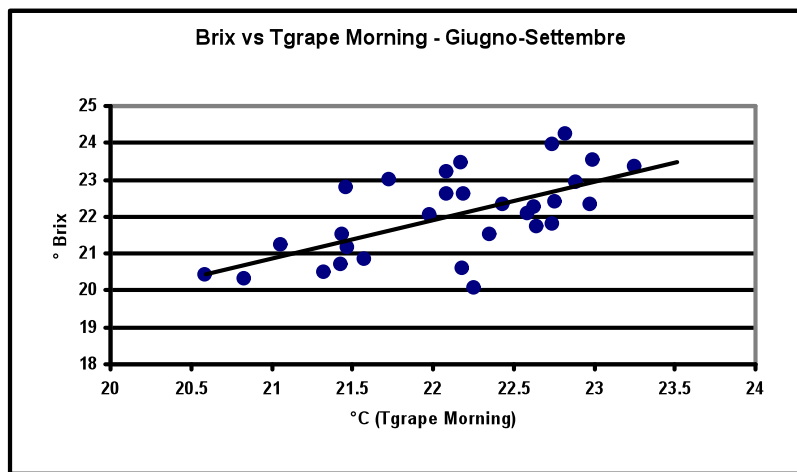


Fig.1.58 Regressione tra Indice Tgrape Morning e $^{\circ}\text{Brix}$ alla vendemmia considerando gli indici calcolati per il periodo Giugno-Luglio.

Linea di ricerca A2

2. Valutazione Multiscala della potenzialità enologica del vigneto

2.1. Introduzione al telerilevamento in viticoltura

La viticoltura moderna può essere considerata come una forma di agricoltura di precisione, dove una gestione differenziata tra i diversi vigneti ed all'interno del vigneto è ormai riconosciuta come prerogativa per ottenere una produzione di qualità.

La viticoltura di precisione, quindi, deve necessariamente essere orientata alla comprensione delle interazioni tra vigneto ed ambiente al fine di gestirle per ottenere uve di qualità, che rappresentano il primo requisito per una produzione di vini di qualità. Gestire in viticoltura pratiche agronomiche quali concimazioni, irrigazioni, potature, lavorazioni, trattamenti antiparassitari, richiede non solo una profonda conoscenza della fisiologia della pianta, ma anche quella del territorio e dell'ambiente, in particolare alla luce dei nuovi scenari ambientali dovuti al Cambiamento Climatico ai quali la viticoltura dovrà sapersi adattare.

La tecnologia moderna del monitoraggio ambientale, ha messo a punto molteplici strumenti per la classificazione del territorio quali il remote sensing, le tecnologie di monitoraggio dei parametri meteorologici, i sistemi per la trasmissione, archiviazione ed analisi statistica dei dati, i Sistemi Informativi Geografici e la modellistica. Questi strumenti sono in grado di raccogliere molte informazioni, anche apparentemente difficili da coniugare, e possono essere utilizzati in modo integrato per offrire al viticoltore il quadro più esauriente possibile per indirizzare i propri interventi, volti ad ottenere una produzione di qualità, nel rispetto dell'ambiente e della sua sostenibilità. In particolare la conoscenza del livello qualitativo delle produzioni prima della maturazione è di primaria importanza per pianificare l'attività di vendemmia al fine di indirizzare verso la vinificazione popolazioni di uve che siano il più possibili omogenee.

I sistemi di osservazione remota, sia da satellite che da piattaforma aerea che da supporti terrestri sono destinati a diventare la principale fonte di informazioni per il controllo e la gestione del territorio, permettendo l'aggiornamento continuo dei piani informativi e fornendo un continuo contatto con i cambiamenti del mondo reale. Grazie alle migliori tecniche ed al contenimento dei costi, questi sistemi sono ormai il routinario complemento di molte analisi e procedure di valutazione che vengono svolte con metodologie tradizionali. Le potenziali applicazioni del telerilevamento in agricoltura devono comunque essere valutate sulla base delle caratteristiche dei sensori e dei satelliti, e sulla loro appropriatezza a rappresentare il mondo reale e soddisfare le

esigenze operative e le priorità degli utenti finali. In particolare l'applicabilità del telerilevamento (remote sensing) al monitoraggio dei processi ecofisiologici dipende da tre importanti elementi: le caratteristiche elettromagnetiche, la risoluzione spaziale e la risoluzione temporale.

Molte applicazioni del telerilevamento dedicate alla gestione ambientale possono essere esportate in viticoltura, come dimostrato da numerosi studi realizzati sulla capacità degli strumenti di remote sensing di orientare il processo decisionale nel vigneto. Un grosso limite alla diffusione operativa di questi strumenti è stato la bassa risoluzione spaziale e temporale dei sensori disponibili ed il costo delle informazioni. Oggi, l'affinamento dei sensori, l'introduzione di nuove piattaforme di rilevazione ed i costi più contenuti, hanno permesso la diffusione di nuove tecniche di telerilevamento che utilizzano piattaforma aerea o veicolare per il monitoraggio.

La multidisciplinarietà è particolarmente rilevante nella gestione del vigneto a causa dei numerosi fattori che determinano la quantità e la qualità del prodotto finale. I viticoltori cercano solitamente di controllare i fattori più importanti con la consapevolezza che interventi efficaci possono essere realizzati nel corso dell'anno esclusivamente per un numero limitato di elementi, mentre per tutti gli altri le scelte determinanti sono effettuate al momento dell'impianto. Ciononostante un numero rilevante di scelte compiute nel corso dell'anno influenzano in modo determinante qualità e quantità delle produzioni.

Il telerilevamento può supportare l'attività di gestione del vigneto, e questo compito può essere svolto utilizzando direttamente l'informazione prodotta da queste tecniche o integrando i suoi prodotti in sistemi o modelli più complessi. Le prime applicazioni delle tecniche di EO (Earth Observation) volte alla stima della produzione del vigneto derivano dall'elaborazione di immagini acquisite da piattaforma aerea.

Fin dall'inizio delle missioni di EO i maggiori sforzi sono stati orientati alla comprensione delle implicazioni dei cambiamenti delle firme spettrali della vegetazione, nelle diverse bande dello spettro elettromagnetico.

La maggior parte delle informazioni inviate dai satelliti sono estratte ed elaborate per le applicazioni desiderate. Nel caso specifico delle firme spettrali della vegetazione esistono molte procedure ed algoritmi diversi che possono fornire importanti informazioni per l'agrometeorologia e per la fisiologia vegetale, come dimostrato dalla ricca bibliografia su specifici indici vegetazionali.

Il contributo di specifici indici vegetazionali all'agricoltura è stato ampiamente studiato e dimostrato. Generalmente gli indici relativi alla vegetazione sono legati alla lunghezza d'onda relativa ai pigmenti fotosintetici nella porzione Rosso del visibile, e all'Infrarosso Vicino. Gli indici spettrali vegetazionali riducono i valori multispettrali di ogni pixel dell'immagine a un singolo valore numerico (index), e ne sono stati sviluppati vari con lo scopo di evidenziare i cambi delle condizioni vegetative. Il più utilizzato è senza dubbio il Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) che viene ricavato in base alla seguente relazione:

$$(R_{\text{NIR}} - R_{\text{RED}}) / (R_{\text{NIR}} + R_{\text{RED}})$$

dove R_{NIR} e R_{RED} sono rispettivamente le riflettanze nelle bande del vicino infrarosso e rosso. Il valore di NDVI è un valore compreso fra -1 e +1, ed è l'indice più usato come indicatore del vigore della pianta o di biomassa relativa. Per aree altamente vegetate, il valore NDVI sarà un valore vicino all'unità, mentre per aree non vegetate sarà vicino a 0. Un vantaggio importante di questo tipo di indici è che l'intensità della luce totale riflessa non influenza il calcolo. Un oggetto o una pianta in ombra avrà una riduzione di luce riflessa approssimativamente uguale su tutto lo spettro elettromagnetico. Quindi attraverso l'uso di indici vegetazionali, le ombre, che altrimenti sarebbero un problema significativo in immagini come quelle di vigneti con filari vicini l'uno all'altro, sono efficacemente ridotte.

Altre bande oltre alla porzione del visibile (Rosso) e dell'infrarosso vicino, sono utilizzate per caratterizzare le sostanze e materiali più diversi come elementi minerali del suolo, acqua etc.

A partire da questa prerogativa, ovvero di associare a specifiche lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico degli specifici elementi, si comprende come le possibili applicazioni possano essere sempre più complesse e diversificate in funzione delle specifiche finalità di monitoraggio.

Le analisi derivanti dal telerilevamento hanno confermato come l'indice NDVI sia strettamente correlato con il LAI (Leaf Area Index) del vigneto. Le misure dirette di area fogliare, che comportano comunque una misura distruttiva, sono molto

accurate, ma necessitano di impiego di personale che le rende inapplicabili in senso operativo, trovando esclusivamente giustificazione in attività di ricerca scientifica. Le misure indirette o ancora meglio da telerilevamento offrono un importante contributo a questo tipo di problematica, soprattutto in applicazioni operative dal costo contenuto.

In particolare la relazione tra il valore dell'NDVI ottenuta dalle immagini satellitari di Ikonos ed il LAI ha dimostrato di avere un comportamento lineare con un ottimo grado di correlazione (r^2 compreso tra 0.91 e 0.98) (Johnson, 2003). Oltre a questa importante correlazione di questi due parametri, lo studio, ha anche messo in evidenza come questa risposta sia stabile nel tempo e quindi come sia possibile ottenere mappe di LAI a partire da immagini satellitari ad alta risoluzione per tutto l'arco temporale vegetativo della vite.

In ogni caso, per ottenere un risultato affidabile, è comunque necessario, prima della formulazione di un indice sintetico, procedere ad una serie di campionamenti distruttivi direttamente in campo, che possano servire per una calibrazione dell'indice. La consistenza e la natura dei campionamenti diretti deve essere necessariamente definita in base alla variabilità statistica del fenomeno da misurare.

Alcune differenze nella firma spettrale delle caratteristiche della foglia e della fenologia, come il rapporto forma e dimensione, suggeriscono che è possibile discriminare tra questi elementi anche attraverso mappe dedicate, utilizzando tecniche di telerilevamento. Le differenze comunque in molti casi possono essere talmente piccole che la risoluzione delle immagini satellitari non riescono ad evidenziarle.

Prendendo come base l'elaborazione dell'NDVI è possibile calcolare una serie di parametri secondari che possono essere quindi utilizzati come dati di input per modelli di simulazione di crescita, come l'evapotraspirazione e l'efficienza fotosintetica (Myneni et al. 1997)

L'interesse nell'uso dei dati EO direttamente implementati in modelli ecofisiologici ha indotto la NASA a sviluppare un sistema semi-automatico chiamato TOPS (Terrestrial Observation and Prediction System), in grado di assimilare dati satellitari in modelli spaziali che in tempo quasi reale restituiscono mappe che possono aiutare i viticoltori nella gestione del vigneto e delle operazioni colturali (Nemani et al. 2003) relativamente a :

- Mappa di Uniformità dei vigneti: deriva dal coefficiente di variazione (Deviazione standard / media * 100) dell'NDVI. Questa mappa può assistere il viticoltore nell'identificazione di differenti aree, all'interno dello stesso vigneto che necessitano una differenziazione delle operazioni colturali.
- Mappa del Bilancio del Vino: prende in considerazione il bilancio tra l'apparato fogliare e la produzione di uva, fondamentale per ottenere una produzione di qualità (Iland et al. 1995; Smart, 2001). Le ricerche in questo settore suggeriscono che nei climi freddi il rapporto deve essere pari a 1 ovvero 1 m² di foglie per 1 kg di uva prodotta (Smart, 2001). Generalmente i produttori sanno qual è il rapporto migliore per ogni vigneto. La mappa in questo caso fornisce un'indicazione con un grado di risoluzione inferiore al

metro (0.75 m) che può facilmente trovare numerose applicazioni operative.

- Mappa di Bilancio idrico – L'irrigazione è una normale pratica in alcune aree di coltivazione della vite e soprattutto in occasione di alcune specifiche operazioni colturali come l'impianto o il soccorso da una siccità prolungata. La quantità di acqua da distribuire e la durata dell'irrigazione, sono due parametri decisivi per ottenere una produzione di qualità, in quanto in determinate fasi fenologiche un moderato stress idrico, può far aumentare la qualità del vino (stress controllato), senza che questo pregiudichi la vita stessa della pianta. Il telerilevamento può essere efficacemente applicato per monitorare lo stato idrico della pianta (Apostol et al. 2003). Johnson e collaboratori (2003b) hanno messo a punto un semplice bilancio idrico (Vineyard Soil Irrigation Model, VSIM) per facilitare la pianificazione delle operazioni di irrigazione. Il modello simula il bilancio idrico su base giornaliera o stagionale come funzione del LAI, delle condizioni meteorologiche, del tipo, della profondità del suolo e della tessitura del terreno e della profondità delle radici.

Esiste una ricca bibliografia che testimonia come le immagini satellitari non siano in grado di fornire la risoluzione spaziale e temporale (tempo di ritorno) necessaria per applicazioni operative di precision farming. A seguito di ciò, l'uso di immagini digitali da piattaforma aerea sta rapidamente

diffondendosi, in quanto questa tecnologia è in grado di evidenziare lo stadio di crescita, la fase fenologica ed è quindi in grado di supportare decisioni di gestione del vigneto anche a livello operativo. Oggi grazie al telerilevamento da aereo è possibile colmare numerose lacune dei sistemi esistenti ed in particolare:

- lavorare a risoluzioni elevate, dell'ordine delle decine di centimetri potendo così discriminare l'informazione proveniente dallo spazio interfilare rispetto a quella della vegetazione;
- scegliere con maggior esattezza la tempistica dei passaggi aerei, svincolandosi dalla cadenza spesso inadeguata delle rilevazioni satellitari, che incorrono inoltre nei problemi dovuti alla copertura nuvolosa;

La viticoltura moderna, che si basa su produzioni di elevato standard qualitativo può trarre grande vantaggio da questo contesto tecnologico riuscendo ad assicurare un controllo più completo di tutte le fasi della filiera produttiva. Va ricordato, infine, che ad oggi gli indicatori di produzione e qualità interferiscono tra di loro anche se queste relazioni variano significativamente tra un vigneto e l'altro e spesso all'interno dello stesso vigneto. A ciò si aggiunga che frequentemente le aree a bassa ed alta produttività all'interno di un vigneto rimangono stabili nel tempo, così da suggerire un significativo ruolo delle condizioni ambientali, soprattutto pedologiche, sulla variabilità.

In questo contesto è nato l'interesse di confrontare differenti metodi di acquisizione di NDVI non solo basati su tecniche di remote sensing, ma anche di proximal sensing, cioè

di sensori posti nelle immediate vicinanze della superficie di interesse. Il presente lavoro è stato quindi sviluppato nell'ambito della linea di ricerca A2 "Valutazione multiscala della potenzialità enologica del vigneto" del Progetto di Ricerca Consorzio Toscana. Sono stati coinvolti tre gruppi di ricerca, con differenti strumentazioni per l'acquisizione della misura della biomassa fotosinteticamente attiva (PAB, *Photosynthetically Active Biomass*) dei vigneti,:

- IBIMET: acquisizione di immagini tele rilevate in falsi colori per mezzo della camera multi spettrale DUNCAN montata a bordo dell'aereo SKY ARROW. Le immagini vengono elaborate per derivare mappe NDVI che successivamente vengono filtrate tramite filtri appositamente sviluppati a finestra mobile che sono in grado di rimuovere efficacemente i valori dell'interfilare. Infine i valori medi delle singole parcelle vengono estratti tramite specifiche maschere.
- DIPROVE: rilevamento in continuo sull'intera estensione dei vigneti dei valori di NDVI e di spessore delle pareti fogliari attraverso sensori ottici (GreenSeeker, NTech inc., USA) e ad ultrasuoni (Senix Corp., USA) montati su mezzo mobile, attrezzato con DGPS e PC industriale. Ciò ha permesso di ottenere dati georeferenziati ogni 30 cm lungo i filari, i quali, non necessitando di alcun tipo di filtraggio, sono stati sottoposti ad una semplice spazializzazione tramite interpolazione mediante metodo IDW per l'ottenimento delle mappe tematiche relative agli indici di vegetazione utilizzati. Infine i

valori medi delle singole parcelle vengono estratti tramite specifiche maschere.

- IASMA-FEM: rilevamento in verticale su singola pianta con misuratore portatile Spectrosense 2+ (*Skye instruments, Llandrindod. Wells, Powys, UK*). Prima delle elaborazioni statistiche, i valori delle singole piante vengono mediati per parcella.

Uno degli aspetti fondamentali che differenzia i tre diversi sistemi di acquisizione dei sensori dei tre gruppi di ricerca è il differente punto di vista da cui viene fatta la rilevazione della PAB delle piante. Infatti, mentre tramite aereo vengono registrati valori relativi alla parte superiore della *canopy*, con il sensore montato su di un mezzo *quad* mobile operante direttamente in vigneto si ha invece una misurazione laterale di tutta la spalliera; più simile alla rilevazione aerea è quella tramite misuratore portatile che effettua la rilevazione in obliquo rispetto alla spalliera. Altra considerazione da fare sull'angolo di acquisizione è che nei rilievi effettuati da IBIMET e IASMA non si acquisiscono informazioni dirette sulla zona della vegetazione che ha subito trattamenti agronomici e che quindi le significatività rilevate si riferiscono ai *feedback* che i vari trattamenti hanno sulla parte superiore della *canopy*; diverso invece il discorso per i rilievi DIPROVE che infatti si dimostrano molto efficaci nel rilevare trattamenti quali la defogliazione basale e le loro interazioni.

2.2 Analisi da telerilevamento aereo

I voli per il telerilevamento vengono effettuati con l'aereo SKY ARROW 650 TC/TCNS costruito dalle Iniziative Industriali Italiane SpA (fig. 1). Semplici operazioni permettono di alloggiare e rimuovere i sensori che vengono posizionati su apposite piastre. Questo aereo è certificato FAA/JAR ed è interamente realizzato in carbonio e kevlar. Il velivolo è equipaggiato con motore Rotax da 100 HP ed ha un'autonomia al volo di 3.5 ore. Estremamente maneggevole e flessibile nell'uso, può decollare e atterrare da aeroporti ed aviosuperfici con lunghezza della pista di appena 500 m. I sorvoli possono essere effettuati ad una quota compresa tra i 300 e i 4000 m s.l.m.. Il sistema che acquisisce nelle bande del visibile, del vicino infrarosso e termico, è composto da camere multispettrali, termiche e digitali a colori reali, sistemi GPS e GPS/INS, altimetro laser:

- Camera Duncan Multispettrale MS4100, CCD da 1920x1080 RGB, 12 bit e calibrata radiometricamente e geometricamente, FOV 58°
- Flir SC500/A40M thermal infrared camera
- GPS unit: Ashtech DG14, Novatel OEM4
- INS/GPS unit: Systron Donner C MIGITS III
- Laser altimeter: Riegl LD90 series
- Camera digitale Canon EOS 20D

Questi apparati sono integrati in un unico sistema di acquisizione, flessibile e configurabile dall'utente. E' stato sviluppato un software di gestione che permette l'acquisizione di tutti i sensori, e di memorizzare la posizione e l'assetto del

velivolo associati alle immagini acquisite, oltre a tutti gli altri parametri accessori. La sincronizzazione tra sistemi GPS e le camere è gestita tramite segnali di trigger TTL. Le immagini utilizzate in questo lavoro sono state acquisite ad una risoluzione spaziale di 30cm e programmate a riprendere le bande spettrali del visibile e del vicino infrarosso. Ogni volo di campionamento è stato corretto radiometricamente e geometricamente. La correzione radiometrica converte il digital number di ogni pixel (valore di brightness) a un valore di radianza spettrale applicando i parametri di calibrazione delle camere stesse. Questo è un fattore importante per l'uso delle immagini processate in analisi avanzate poiché permette di lavorare su immagini uniformi dal punto di vista radiometrico, specialmente quando è richiesta la correzione atmosferica.

L'alta risoluzione geometrica prevede un lavoro di ortorettifica più accurato di quello normalmente necessario anche a causa del fatto che le immagini riguardanti vigneti sono fra le più difficili da ortorettificare. I problemi sono dovuti al fatto che di solito i vigneti si trovano su aree morfologicamente complesse e per il fatto che si hanno pochi punti idonei come Ground Control Point (GCP). A tal fine è stata effettuata una serie di rilievi ad alta precisione tramite l'utilizzo di un GPS differenziale (DGPS). Con dei nuovi strumenti il metodo differenziale consente una precisione dell'ordine anche del centimetro. Inoltre all'inizio della stagione estiva vengono montati dei pannelli a coordinate note di colore bianco e dimensione 1*1 m. La ortorettifica viene realizzata con l'ausilio di un Modello Digitale del Terreno

(DEM) di passo 5*5m. Le immagini orto rettificate vengono quindi elaborate con appositi software per ottenere mappe NDVI.

Successivamente le mappe di NDVI vengono elaborate al fine di distinguere il filare dall'interfila. In questa ricerca sono stati studiati e valutati dei filtri per immagini digitali a finestra mobile. Il loro funzionamento consiste nell'estrarre il valore del pixel al centro della finestra mobile nel caso questo sia il valore massimo fra quello dei pixel presenti all'interno della finestra. L'applicazione di filtri porta ad un aumento dei valori medi di indice di vegetazione nel caso di vigneti non o scarsamente inerbiti nell'interfilare. Infatti i valori di NDVI del suolo nudo sono molto bassi, per cui includendoli nella media per parcella l'abbassamento è chiaramente significativo (Tab.2.1). Sono stati confrontati nella prima fase del progetto quattro filtri differenti per la dimensione della finestra mobile, 3*3, 5*5, 7*7, 9*9 pixel. I test effettuati hanno indicato che più grande è la finestra mobile del filtro, maggiore è il valore medio di NDVI per parcella a scapito però del coefficiente di variabilità. Visto che uno degli scopi della ricerca è quello di identificare la variabilità delle produzioni intra-vigneto e capire se i trattamenti agronomici della chioma influiscono significativamente sulla qualità delle uve, è preferibile scegliere un filtro a finestra mobile che mantenga il valore più alto possibile di coefficiente di variabilità (Tab. 2.2). A tal fine si è scelto di usare il filtro con la finestra mobile più piccola, 3*3 pixel. Nessun tipo di filtro però è risultato idoneo a discriminare il filare dall'interfila nel caso in cui quest'ultima sia altamente inerbita, cioè abbia degli alti valori vegetazionali.

linea di ricerca A2

Questo è il caso ad esempio del vigneto sperimentale di Donna Olimpia, dove durante i mesi estivi le infestanti possono raggiungere anche l'altezza di un metro.

Blocco	Vigoria	Trattamento	Min	Max	Media
Br_1	Bassa	Non filtrato	-0.157	0.961	0.504
Br_1	Bassa	filtrato	0.534	0.961	0.707
Br_2	Media	Non filtrato	-0.222	0.964	0.557
Br_2	Media	filtrato	0.416	0.964	0.719
Br_3	Media	Non filtrato	-0.037	0.937	0.547
Br_3	Media	filtrato	0.463	0.937	0.723
Br_4	Alta	Non filtrato	0.000	0.951	0.613
Br_4	Alta	Filtrato	0.642	0.971	0.794

Tab. 2.1 - Valori NDVI estratti per blocchi filtrati e non dalla mappa di vigore del 18-07-07 di Brolio

	Filtro 3*3	Filtro 5*5	Filtro 7*7	Filtro 9*9
Media blocchi	0,611	0,729	0,753	0,757
C.V. interna	0,088	0,056	0,048	0,047

Tab. 2.2 - Valori medi NDVI e coefficiente di variabilità (C.V.) dei blocchi sperimentali del vigneto di Cacciagrande in data 16-07-08.

I rilevamenti effettuati nelle stagioni 2007-08-09 evidenziano la potenza dell'indice di vegetazione come descrittore della micro-zonazione del vigneto. Le indagini statistiche condotte hanno evidenziato una buona correlazione tra l'NDVI ed alcuni indici qualitativi delle uve. Grazie alla ripetizione delle rilevazioni è stato inoltre possibile evidenziare la variazione del grado di correlazione nel corso della stagione. I primi risultati preliminari sono stati presentati nel corso del

linea di ricerca A2

16th International Symposium GiESCO 2009 svoltosi a Davis, California, dal 12 al 16 luglio 2009. Per la presentazione dell'analisi statistica dei dati NDVI acquisiti tramite telerilevamento aereo rimandiamo al paragrafo "2.4 Analisi Multiscala".

I notevoli risultati ottenuti tramite l'utilizzo dei dati NDVI hanno dato l'impulso allo sviluppo di metodologie per l'utilizzo delle mappe in ambito aziendale.

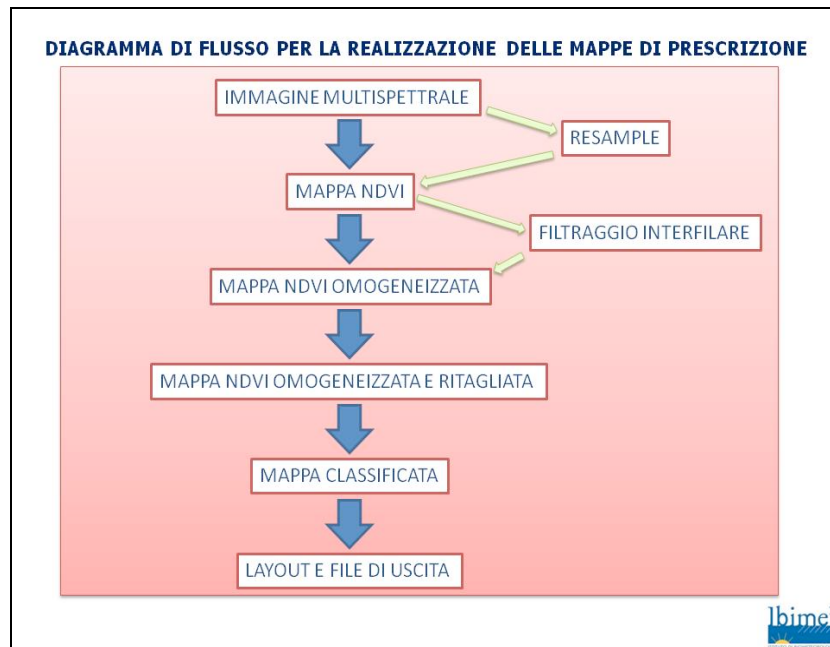


Fig. 2.1 – Diagramma di flusso per la realizzazione delle mappe di prescrizione.

Fattore fondamentale, per un utilizzo in chiave operativa di tali mappe, è l'omogeneizzazione delle differenti aree di vigore

linea di ricerca A2

e la creazione di mappe, definite mappe di prescrizione, in formati informatici compatibili con i devices montati a bordo di macchinari agricoli dotati di VRT (Variable Rate Technology) e vendemmiatrici a doppia tramoggia per vendemmie selettive.

La metodologia sviluppata, rappresentata in Fig. 2.1, si basa su varie tecniche di elaborazioni di immagini digitali ed è customizzabile in base alle caratteristiche del vigneto cui è riferita e al tipo di mappa che si vuole ottenere. La collaborazione diretta con aziende del settore ha infatti indicato che le mappe di prescrizione, per un utilizzo ottimale da parte degli agronomi o più in generale dei “decision-maker”, devono avere delle peculiari caratteristiche in base alle finalità con cui vengono utilizzate.

In particolare si è potuta constatare l'utilità di realizzare mappe di prescrizione a 2 e 5 classi (Fig. 2.2 e 2.3) a seconda che tali mappe vengano utilizzate, rispettivamente, su vendemmiatrici a doppia tramoggia o su macchinari agricoli VRT (i.e. concimatrici di precisione).

Le mappe di prescrizione sono state inoltre efficacemente utilizzate per la raccolta di uve omogenee riguardo al grado di maturazione per la linea di ricerca B4 “Massimizzazione del potenziale enologico per mezzo di diverse tecniche di vinificazione”.

linea di ricerca A2

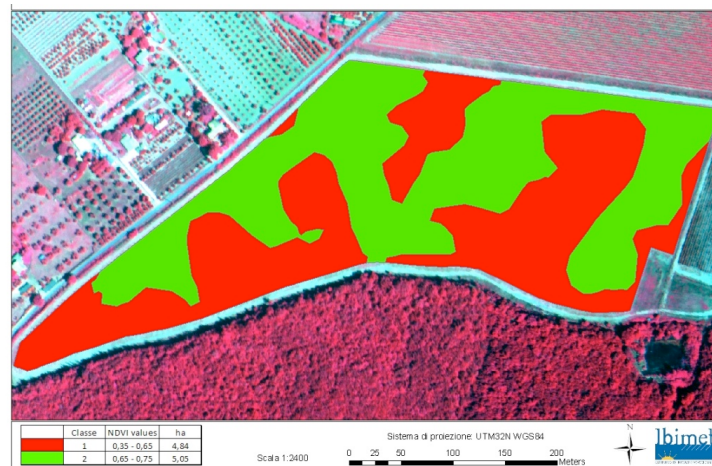


Fig. 2.2 – Mappa di prescrizione a 2 classi

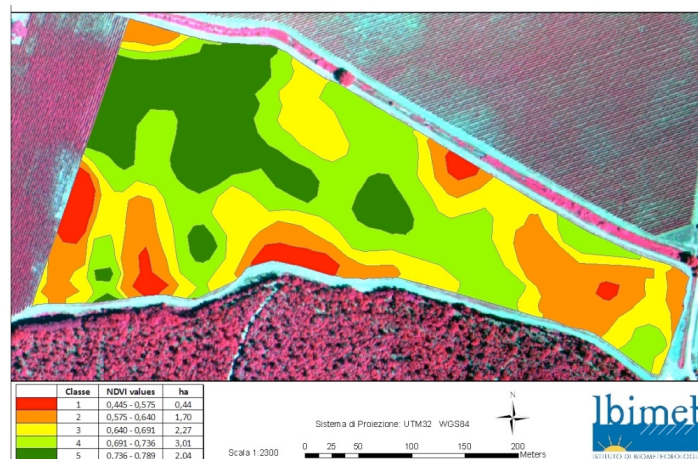


Fig. 2.3 – mappa di prescrizione a 5 classi

Un altro tema di ricerca che è stato sviluppato è quello legato all'utilizzo delle immagini termiche in ambito viticolo.

Attualmente le immagini termiche vengono utilizzate, in combinazione con l'NDVI, per valutare lo stato di stress idrico della coltura e pochi tentativi sono stati fatti per capire se tale informazione può essere anche predittiva per produzioni di qualità. In questa linea di ricerca si è quindi tentato un approccio innovativo, andando prima a studiare le relazioni che esistono fra NDVI e termico e come esse variano nel corso della stagione, successivamente valutando se l'informazione termica è in grado di integrare quella dell'indice vegetazionale. Le acquisizioni nell'infrarosso termico sono state svolte in parallelo a quelle nel multispettrale tramite l'utilizzo della camera Flir SC500/A40M. La camera ha un range spettrale di 7.5-13 μm e una risoluzione del sensore CCD di 320x240 pixel che ha permesso di ottenere immagini con risoluzione geometrica di 1.5 m. Le immagini vengono georiferite, ortorettificate e calibrate con valori di temperatura registrati a terra dal sistema di stazioni meteorologiche N.A.V. (Matese et al, 2009).

Dalle analisi svolte è emerso che esistono delle correlazioni inverse molto forti fra vigore e temperatura delle piante (Grafico 2.1); queste correlazioni tendono ad abbassarsi da luglio ad agosto presumibilmente a causa di fenomeni di stress che insorgono nelle piante. Molto interessante è il fatto che due vigneti, Brolio e Donna Olimpia, risultano avere delle correlazioni molto più forti rispetto a quelle di Cacciagrande e Cortigliano. Il grado di relazione non sembra quindi dipendere da fattori varietali ma ambientali: in questa ottica sono state effettuate analisi sui dati pedologici disponibili, ma non sono emersi risultati significativi.

linea di ricerca A2

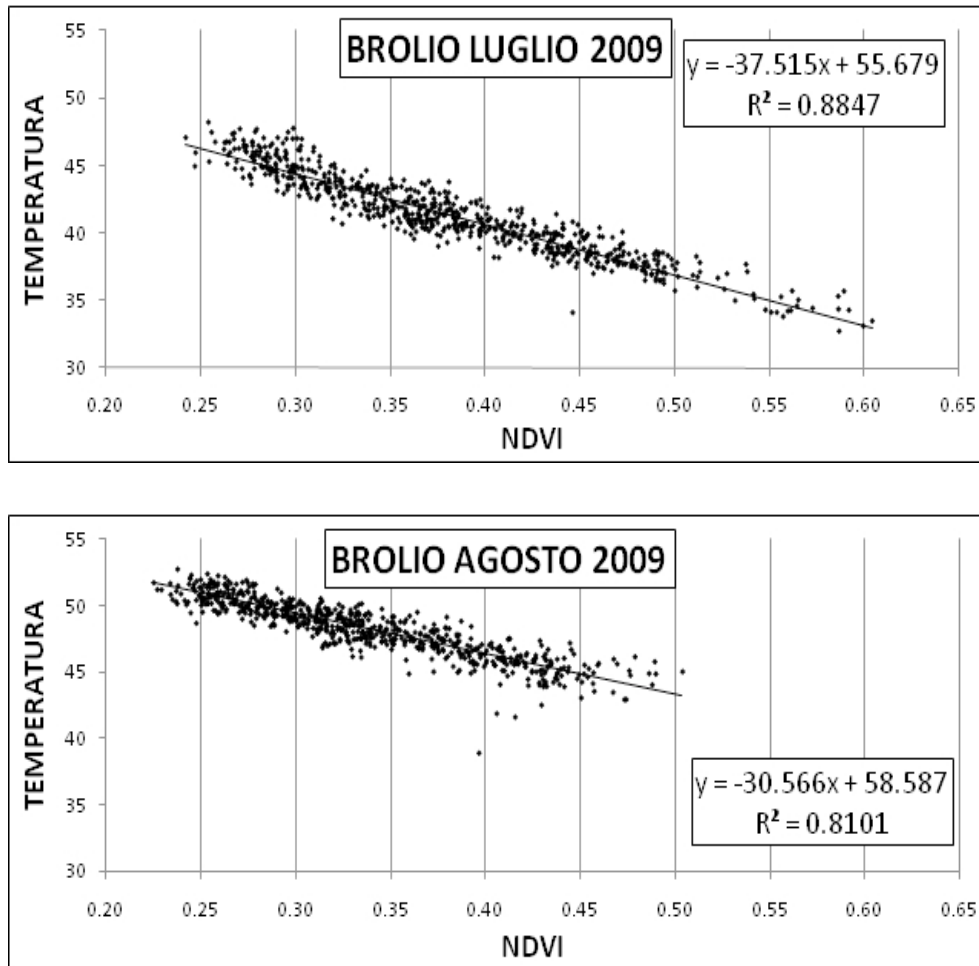


Grafico 2.1 – Regressione fra temperatura e NDVI per il vigneto di Brolio a luglio e agosto per l'anno 2009.

Successivamente sono state realizzate delle mappe, definite mappe di scostamento termico (Fig. 2.4), che si basano sulla

linea di ricerca A2

spazializzazione dello scostamento delle aree del vigneto rispetto alla linea di tendenza che descrive il rapporto fra temperatura e NDVI delle piante.

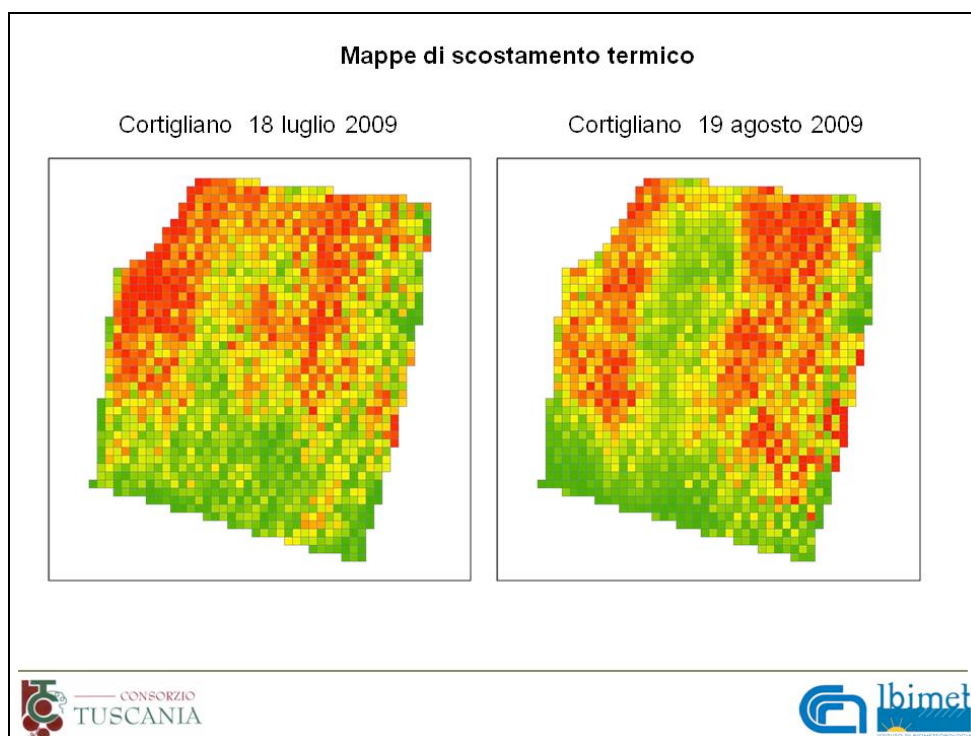


Fig. 2.4 – Mappe di scostamento termico per il vigneto di Cortigliano a luglio e agosto per l'anno 2009.

Molto interessante è il fatto che tali immagini risultino generalmente correlate fra loro sia per lo stesso anno sia fra i diversi anni (Tab. 2.3); ciò suggerisce quindi che aree del

linea di ricerca A2

vigneto tendano ad andare maggiormente in stress termico rispetto ad altre con possibili effetti sulla resa qualitativa.

	Luglio 2008	Agosto 2008	Luglio 2009	Agosto 2009
Luglio 2008	1.000			
Agosto 2008	0.514	1.000		
Luglio 2009	0.428	0.485	1.000	
Agosto 2009	0.378	0.280	0.610	1.000

Tab. 2.3 – Matrice di correlazione fra le mappe di scostamento termico del vigneto di Cortigliano.

Infine è stata svolta una accurata analisi statistica sui dati riguardanti il vigneto di Brolio volta a valutare se il termico è esso stesso un predittore per produzioni di qualità o se può integrare, in maniera diretta o tramite gli scostamenti termici, l'informazione NDVI (Tab. 2.4). Le analisi indicano che la temperatura radiometrica T_s si è dimostrato un predittore efficace dei parametri di qualità quanto l'NDVI, in alcuni casi anche migliore. Raramente è stato in grado di aumentare in maniera diretta l'informazione fornita dall'indice vegetazionale e questo fatto era ampiamente prevedibile a causa della forte correlazione che esiste fra essi. La combinazione dell'indice NDVI o di T_s con lo scostamento termico ΔT_s ha fornito dei risultati molto interessanti e incoraggianti visto che gli scostamenti termici hanno spesso aumentato le singole correlazioni esistenti fra vigore e parametri di qualità. L'interpretazione di questo risultato, in ottica di produzioni di

qualità, fa supporre che il singolo indice vegetazionale NDVI possa consentire una classificazione di tipo strutturale dei vigneti sul lungo periodo svincolandosi maggiormente dall'andamento climatico stagionale, mentre la combinazione di tale informazione con quella derivata da riprese nell'infrarosso termico, consente una classificazione congiunturale della stagione sulla base degli stress climatici.

Questo lavoro è stato presentato nel corso del III Convegno Nazionale di Viticoltura svoltosi presso San Michele all'Adige dal 5 al 9 luglio del 2010.

Al fine di valutare in modo più approfondito questo risultato, nel corso della stagione 2010 è stato svolto un campionamento addizionale delle uve alla vendemmia sui vigneti di Brolio e Cortigiano, con l'obiettivo di raggiungere una copertura integrale dei vigneti svincolandosi dal disegno sperimentale. I risultati di questo studio sono ancora in fase di elaborazione.

		N	Ts	N + Ts	ΔT	N+ ΔT	Ts+ ΔT
LUGLIO 2008	BRIX	-0.425**	0.357**	0.518	-0.117	0.501	0.486*
	pH	-0.482***	0.568***	0.676	0.673***	0.731***	0.738***
	POLIFENOLI	-0.503***	0.429**	0.592	-0.203	0.631***	0.635***
LUGLIO 2009	BRIX	-0.497***	0.434**	0.546	-0.066	0.604***	0.619***
	pH	-0.372**	0.412**	0.432	0.14	0.375	0.441
	POLIFENOLI	-0.742***	0.651***	0.657	0.151	0.777*	0.734***
AGOSTO 2009	BRIX	-0.485***	0.498***	0.501	-0.088	0.487	0.511
	pH	-0.328	0.452***	0.528	0.164	0.422	0.473
	POLIFENOLI	-0.741***	0.657***	0.749	-0.061	0.742	0.715**

*Tab. 2.4 – Singole correlazioni analisi multi regressiva e significatività (*** $P < 0.01$; ** $P < 0.05$; * $P < 0.06$) fra NDVI (N), termico (Ts), costamento termico (ΔT) e parametri di qualità delle uve per il vigneto di Brolio.*

2.3 Analisi multiscala

Obiettivo di questa ricerca è stato la comparazione di tre tecniche di monitoraggio della vegetazione che hanno caratteristiche differenti in termini di punto di vista e vicinanza della rilevazione. Le tre tecniche adottate da Ibimet, DIPROVE e IASMA sono state precedentemente descritte.

I dati relativi alla biomassa fotosinteticamente attiva delle piante, misurata tramite l'utilizzo dell'indice di vegetazione NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), sono stati rilevati nelle stagioni 2008-2009-2010 in tre periodi fenologicamente importanti quali pre-invasatura (15 giugno circa), pre-allegagione (15 luglio circa) e maturazione del grappolo (15 agosto circa). Per i rilievi IBIMET non sono disponibili i dati relativi al volo di giugno 2008 che non è stato effettuato per problemi tecnici.

ANALISI DELLA VARIANZA

L'analisi della varianza (ANOVA) (Allegati 2.1 e 2.2), effettuata sfruttando le potenzialità del disegno sperimentale presente su ognuno dei 4 quattro vigneti, ha permesso non solo di valutare l'influenza dei fattori ambientali e delle pratiche agronomiche, ma anche delle loro interazioni. L'analisi è stata effettuata sui dati delle due cultivar Sangiovese e Cabernet Sauvignon considerando i rilievi dello stesso periodo nei tre anni come “fattori dipendenti” contro “fattori indipendenti” quali: andamento climatico annuale (anno), localizzazione geografica (località), differente grado di PAB

linea di ricerca A2

(vigore), differenti pratiche agronomiche quali carica di gemme (n_gemme), sfogliatura basale (defogliazine), diradamento dei frutti (diradamento) e loro interazioni (Tab. 2.5 e Tab. 2.6).

FONTE DI VARIABILITÀ	IBIMET giugno	IBI- MET luglio	IBIMET agosto	IASMA giugno	IASMA luglio	IASMA agosto	DIPROVE giugno	DI- PRO- VE luglio	DIPRO- VE agosto
ANNO	0**	0**	0**	0**	0.516	0**	0**	0.00 1**	0.041*
LOCALITÀ	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0.00 1**	0**
LOCALITÀ*ANNO	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**
BLOCCO(LOCALITÀ)	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**
BLOC- CO*ANNO(LOCALITÀ)	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0.00 1**	0.008*
N_GEMME	0.024 *	0.04 8*	0.016 *	0.004 *	0.061	0.27 3	0**	0.25	0.668
DEFOGLIAZIONE	0**	0.48 3	0.146	0**	0.545	0.55 6	0**	0**	0.265
DIRADAMENTO	0.348	0.13 9	0.036 *	0.123	0.075	0.00 3**	0.224	0.44 3	0.861
N_GEMME*ANNO	0.943	0.62 6	0.542	0.006 **	0.287	0.27 8	0.683	0.09 3	0.143
DEFOGLIAZIONE*ANNO	0**	0.59	0.312	0.694	0.156	0.39 5	0**	0.00 9**	0.013*
DIRADAMENTO*ANNO	0.527	0.89 2	0.453	0.204	0.225	0.56 6	0.743	0.37 9	0.721
N_GEMME*LOCALITÀ	0.031 *	0.57 1	0.092	0.621	0.929	0.29 9	0.004**	0.17 5	0.057
DEFOGLIAZIONE*LOCALITÀ	0.23	0.16 5	0.092	0.008 **	0.064	0.99 9	0**	0.00 2**	0.008*
DIRADAMENTO*LOCALITÀ	0.284	0.74 3	0.11	0.17	0.514	0.07 9	0.297	0.52	0.077
DEFOGL*N_GEMME	0.72	0.89 7	0.644	0.737	0.136	0.35 1	0.565	0.46 1	0.728
DIRADAMENTO*N_GEMME	0.338	0.16 2	0.268	0.253	0.405	0.46 6	0.994	0.65 8	0.074
DIRADAMENTO*DEFOGLIAZIONE	0.003 **	0.42	0.965	0.855	0.663	0.26 7	0.032	0.00 3**	0.053

Tabella 2.5. Analisi della varianza per i vigneti a Sangiovese (Brollo e Cortigliano) negli anni 2008-2009-2010. Significatività P-value: $P < 0.01^{**}$; $P < 0.05^{*}$.

linea di ricerca A2

FONTE DI VARIABILITÀ	IBIMET giugno	IBI- MET luglio	IBIMET agosto	IASMA giugno	IASMA luglio	IASMA agosto	DIPROVE giugno	DI- PRO- VE luglio	DIPRO- VE agosto
ANNO	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**
LOCALITÀ	0**	0**	0**	0.214	0**	0.01*	0**	0.598	0**
LOCALITÀ*ANNO	0**	0**	0**	0**	0**	0.001**	0**	0**	0**
BLOCCO(LOCALITÀ)	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0**	0.001**
BLOCCO*ANNO(LOCALITÀ)	0**	0**	0**	0.009**	0**	0.004**	0**	0**	0.001**
N_GEMME	0.265	0**	0.001**	0.015*	0.089	0.479	0**	0.053	0.335
DEFOGLIAZIONE	0**	0.554	0.371	0.028*	0.541	0.501	0**	0**	0.014*
DIRADAMENTO	0.097	0.864	0.028*	0.636	0.783	0.495	0.08*	0.747	0.625
N_GEMME*ANNO	0.668	0.761	0.929	0.176	0.904	0.499	0.479	0.467	0.475
DEFOGLIAZIONE*ANNO	0.008**	0.143	0.27	0.596	0.067	0.906	0**	0.323	0.041*
DIRADAMENTO*ANNO	0.997	0.775	0.839	0.996	0.991	0.86	0.354	0.613	0.573
N_GEMME*LOCALITÀ	0.373	0.901	0.69	0.718	0.475	0.23	0.383	0.468	0.392
DEFOGLIAZIONE*LOCALITÀ	0.609	0.054	0.594	0.769	0.168	0.426	0**	0.213	0.658
DIRADAMENTO*LOCALITÀ	0.367	0.541	0.538	0.041*	0.738	0.308	0.48	0.448	0.943
DEFOGL*N_GEMME	0.347	0.313	0.149	0.719	0.663	0.339	0.029	0.169	0.119
DIRADAMENTO*N_GEMME	0.352	0.829	0.373	0.144	0.118	0.222	0.448	0.476	0.04*
DIRADAMENTO*DEFOGLIAZIONE	0.649	0.396	0.088	0.148	0.03*	0.071	0.093	0.646	0.64

Tabella 2.6. Analisi della varianza per i vigneti a Cabernet Sauvignon (Cacciagrande e Donna Olimpia) negli anni 2008–2009–2010. Significatività P-value: $P < 0.01^{**}$; $P < 0.05^{*}$.

Fattori ambientali

La presente analisi statistica indica che i fattori ambientali sono sempre statisticamente significativi (tranne che per le acquisizioni IASMA di metà luglio sul fattore anno) nell'influenzare i valori di NDVI registrati dai tre differenti sistemi di acquisizione su ambedue le cultivar. Tale risultato conferma quanto emerso dalle altre linee di ricerca viticole del Progetto, cioè che le condizioni climatiche e geo-pedo-morfologiche, rappresentati rispettivamente dal fattore anno, dal fattore località e vigore blocco PAB, nelle aree di studio rivestono un ruolo fondamentale nello sviluppo della pianta. In questa ottica si spiega la sempre maggior attenzione che viene posta negli ultimi anni nello studio della caratterizzazione ambientale delle aree produttive ad un'alta scala di risoluzione.

Pratiche agronomiche su Sangiovese

Nella cultivar Sangiovese, la differente carica di gemme causa differenze statisticamente significative nei rilievi di giugno con i tre differenti sensori. Nei rilievi di luglio e agosto l'influenza della carica di gemme si manifesta in maniera statisticamente significativa solo nei rilievi IBIMET tramite aereo. Ulteriori analisi mostrano una diversa sensibilità dei vari sistemi di acquisizione nei confronti della BAP (Tab.2.7). Nei rilievi IBIMET, a giugno si registrano valori medi maggiori nelle tesi a più alto carico di gemme, mentre a luglio e agosto tali risultati si invertono. Questo risultato è stato trovato anche nei rilievi IASMA-FEM, non in quelli DIPROVE in cui invece si trovano sempre valori più alti nelle tesi a maggior carico di

linea di ricerca A2

gemme, ma come detto si tratta in ambedue i casi di risultati statisticamente non significativi per luglio e agosto.

		IBIMET giugno	IBIMET luglio	IBIMET agosto	IASMA giugno	IASMA luglio	IASMA agosto	DIPRO- VE giu- gno	DIPRO- VE luglio	DIPRO- VE agosto
San- gio- vese	C0	0.577	0.520	0.589	0.649	0.673	0.647	0.820	0.806	0.784
	C1	0.584	0.514	0.583	0.663	0.666	0.643	0.831	0.809	0.784
Cab. Sauv.	C0	0.686	0.655	0.614	0.685	0.689	0.707	0.850	0.838	0.826
	C1	0.683	0.643	0.602	0.697	0.682	0.702	0.859	0.840	0.826

Tabella 2.7. Medie NDVI per le tesi a differente carica di gemme (C0=1; C1=3) per i vitigni oggetto di sperimentazione, Sangiovese e Cabernet Sauvignon.

La spiegazione ai risultati di luglio e agosto di IBIMET può essere data considerando che le piante a minor carica di gemme hanno più risorse disponibili da poter spendere sul lungo periodo e quindi daranno meno germogli, ma più vigorosi e con una canopy più spessa, fattore questo che non può essere registrato da sensori da terra come quelli del DIPROVE, ma che può essere colto invece con un rilievo aereo. Si è quindi cercato riscontri a questa teoria e sono state perciò svolte indagini sull'effetto che può avere la carica di gemme sulla quantità di clorofilla presente nelle foglie, misurata tramite rilievi SPAD svolti da IASMA-FEM in corrispondenza delle misurazioni di PAB. Una prima analisi sui dati disponibili (mancano attualmente i dati 2010) mostra che, differentemente da quello che è emerso nell'anno 2007, nelle annate 2008-2009 le piante a minor carico di gemme mostrano un moderato maggior contenuto di clorofilla e queste differenze diventano

linea di ricerca A2

anche statisticamente significative come a Cortigiano luglio 2009 (grafico 2.2).

Least Squares Means

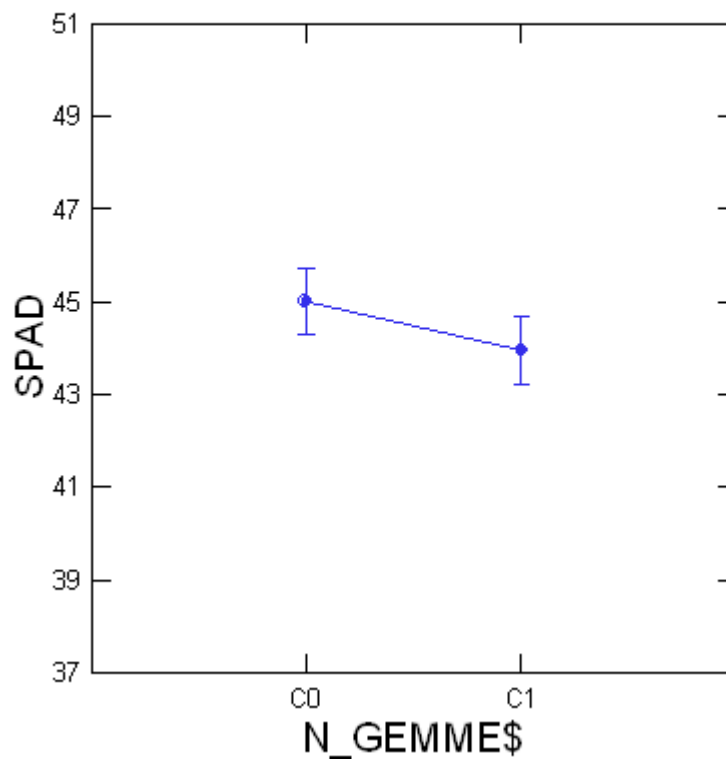


Grafico 2.2. Medie SPAD delle tesi a differente carico di gemme (C0=1; C1=3) per il vigneto Cortigiano a luglio 2009. Significatività P-value = 0.043.

L'effetto della defogliazione dei primi sei nodi basali si manifesta in maniera statisticamente significativa nei rilievi di giugno dei tre sensori, successivamente solo a luglio sui rilievi

linea di ricerca A2

DIPROVE dando conferma che per questo tipo di trattamento l'angolo di acquisizione di un sensore montato in posizione parallela rispetto alla spalliera permette una più facile individuazione del trattamento in questione. Le medie delle tesi defogliate e non (Tab.2.8) mostrano come generalmente si hanno valori più alti nelle tesi non defogliate, fattore questo riscontrabile maggiormente a giugno, cioè pochi giorni dopo che il trattamento è stato effettuato. Inoltre tale risultato è spiegabile anche con il fatto che le piante che subiscono la defogliazione basale tendono a ripristinare la superficie fogliare asportata tramite una emissione maggiore di femminelle.

		IBIMET giugno	IBIMET luglio	IBIMET agosto	IASMA giugno	IASMA luglio	IASMA agosto	DIPRO- VE giu- gno	DIPRO- VE luglio	DIPRO- VE agosto
San- gio- vese	A0	0.596	0.516	0.588	0.666	0.671	0.644	0.839	0.812	0.782
	A1	0.565	0.518	0.584	0.646	0.668	0.646	0.812	0.803	0.785
Cab. Sauv.	A0	0.692	0.650	0.609	0.698	0.685	0.704	0.864	0.841	0.828
	A1	0.676	0.649	0.607	0.684	0.686	0.705	0.845	0.836	0.824

Tabella 2.8. Medie NDVI per le tesi non defogliate (A0) o defogliate (A1) per i vitigni oggetto di sperimentazione, Sangiovese e Cabernet Sauvignon.

Il diradamento mostra influenze significative sui valori NDVI di agosto registrati da IBIMET e IASMA-FEM. Tale risultato è particolarmente interessante perché dimostra che le pratiche agronomiche hanno effetto non solo sulla stagione in corso, ma anche sulle seguenti. I rilievi svolti in agosto vengono infatti effettuati prima che il diradamento dei frutti venga realizzato (indicativamente verso il 25 di agosto), quindi le differenze significative riscontrate sui rilievi NDVI di agosto sono causate

linea di ricerca A2

dagli effetti del diradamento degli anni precedenti. La spiegazione, da un punto di vista fisiologico, è che diminuendo il carico in frutti complessivamente diminuiscono i *sink* a beneficio della vegetazione rimanente. Tale effetto risulta evidente nei rilievi NDVI di giugno (Tab.2.9) in quanto le parcelle che hanno subito il diradamento l'anno precedente hanno dei valori medi più alti, per quanto non statisticamente significativi. Interessanti conferme sono emerse analizzando i dati del contenuto di zuccheri strutturali nel legno del ceppo campionato ogni anno a marzo da IASMA-FEM.

		IBIMET giugno	IBIMET luglio	IBIMET agosto	IASMA giugno	IASMA luglio	IASMA agosto	DIPRO- VE giu- gno	DIPRO- VE luglio	DIPRO- VE agosto
San- gio- vese	D0	0.571	0.539	0.589	0.651	0.672	0.648	0.827	0.812	0.786
	D1	0.597	0.485	0.582	0.662	0.667	0.641	0.823	0.802	0.781
Cab. Sauv.	D0	0.672	0.661	0.593	0.689	0.686	0.701	0.849	0.842	0.827
	D1	0.705	0.633	0.630	0.694	0.685	0.710	0.863	0.835	0.824

Tabella 2.9. Medie NDVI per le tesi non diradate (D0) o diradate (D1) per i vitigni oggetto di sperimentazione, Sangiovese e Cabernet Sauvignon.

Tali analisi hanno infatti mostrato che le piante che subiscono diradamento mostrano ogni anno via via un maggior contenuto di zuccheri strutturali fino a raggiungere differenze significative rispetto alle non defogliate nel 2010 per il vigneto di Brolio (grafico 2.3). Questo risultato è tanto più sorprendente pensando che le riserve di zuccheri strutturali (amido) vengono stoccate principalmente nelle radici, in misura fino a 4 volte superiore rispetto al ceppo.

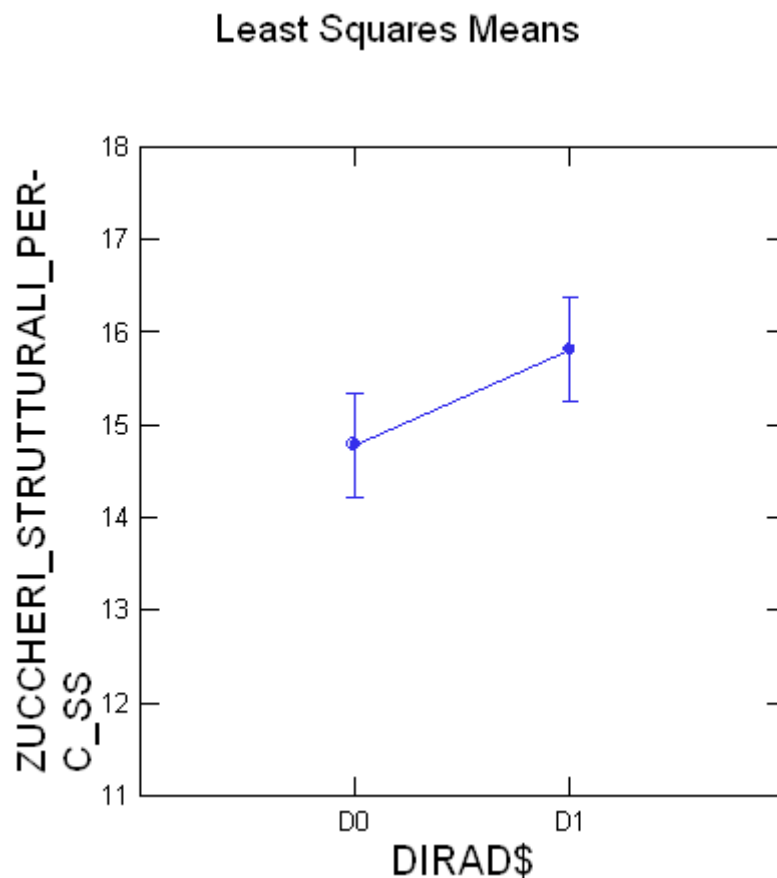


Grafico 2.3. Valori medi del contenuto di zuccheri strutturali delle tesi su cui non viene effettuato il diradamento dei frutti (D0) e quelle diradate (D1) per il vigneto Brolio a marzo 2010. Significatività P-value = 0.013

Le interazioni dei trattamenti agronomici con l'andamento climatico annuale, fattore anno, non si dimostrano quasi mai statisticamente significative, mentre sui rilievi DIPROVE si ha sempre significatività fra defogliazione e anno. I trattamenti

agronomici mostrano raramente un'interazione statisticamente significativa anche con il fattore località, che rappresenta i fattori pedo-morfologici che insistono sui vigneti, tranne che per l'interazione con defogliazione sui rilievi DIPROVE. Nel complesso queste scarse interazioni fra trattamenti e fattori ambientali suggeriscono che l'effetto dei trattamenti agronomici sulla vigoria delle piante vengono poco influiti dai secondi. Infine l'analisi della varianza mostra che ci sono poche interazioni significative anche fra gli stessi trattamenti agronomici.

Pratiche agronomiche su Cabernet Sauvignon

L'effetto dei singoli trattamenti nei vigneti a Cabernet Sauvignon segue grosso modo quello riscontrato sui vigneti a Sangiovese. La carica di gemme viene riscontrata da IASMA-FEM e DIPROVE solo a giugno mentre da IBIMET nei successivi voli. Anche per i vigneti a Cabernet Sauvignon è emerso che le tesi a minor carica di gemme generalmente hanno valori di SPAD più alti rispetto alle altre e sono state riscontrate anche differenze statisticamente significative come in Donna Olimpia a giugno 2009 (grafico 2.4). La defogliazione basale viene rilevata da IASMA-FEM e IBIMET solo a giugno mentre è statisticamente significativa in DIPROVE per tutti i rilievi. Le interazioni dei trattamenti agronomici con l'andamento climatico annuale, fattore anno, e con le caratteristiche pedo-morfologiche dei vigneti, fattore località, appaiono ancora più rare rispetto a quelle riscontrate per Sangiovese dimostrando il carattere "internazionale" del primo vitigno, al contrario della maggior "sensibilità" del secondo.

linea di ricerca A2

Anche le interazioni fra i trattamenti non risultano quasi mai significative.

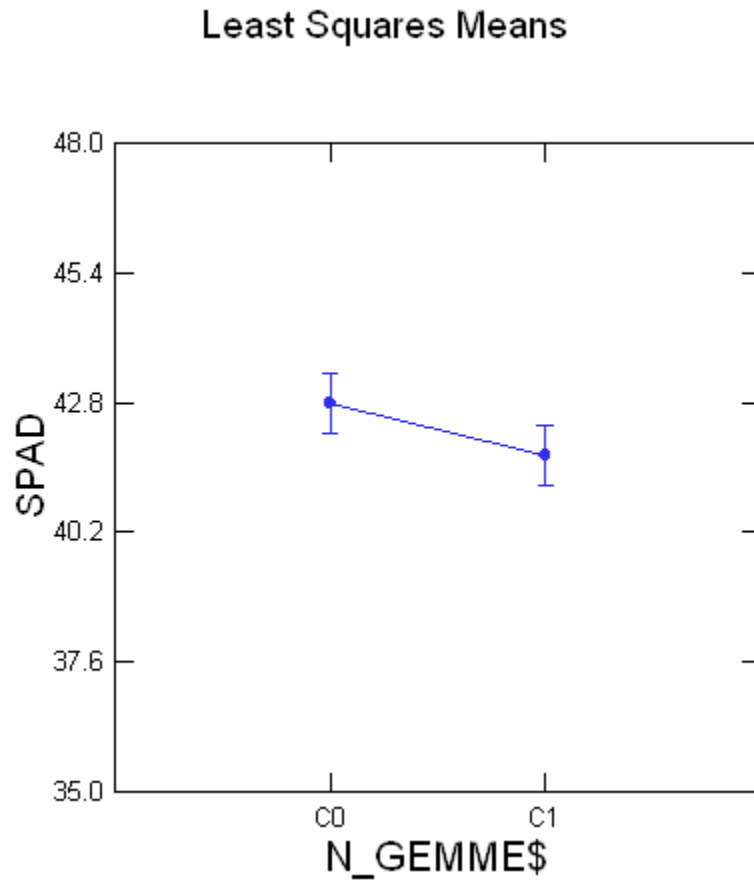


Grafico 2.4. Medie SPAD delle tesi a differente carico di gemme (C0=1; C1=3) per il vigneto Donna Olimpia a giugno 2009. Significatività P-value = 0.021.

MODELLI LINEARI

Per lo studio delle correlazioni dei dati NDVI con i parametri di qualità delle uve sono stati utilizzati i dati relativi a mosti ottenuti dalla vendemmia tecnologica e circa due settimane dopo, vendemmia tardiva, per la linea di ricerca A1 “Sperimentazione viticola integrata attraverso diverse modalità di gestione della chioma”. Tali dati vengono influenzati dalla combinazione dei trattamenti agronomici che vengono eseguiti su ogni singola tesi in base al disegno sperimentale. Al fine di valutare la correlazione effettiva che esiste fra NDVI e parametri di qualità al netto dei trattamenti agronomici, sono stati realizzati dei modelli di regressione lineare (Allegato 2.3). Tali modelli sono stati effettuati per i singoli anni e per i singoli vigneti in quanto con l’analisi della varianza è emerso che i fattori ambientali, quali l’andamento climatico e i fattori pedo-morfologici, giocano un ruolo fondamentale sia sulla PAB sia sui parametri produttivi delle uve. Lo scopo di tale analisi è quello di verificare la capacità predittiva dei rilievi NDVI ottenuti dai tre differenti sensori in ottica di viticoltura di precisione e quindi la capacità di fornire indicazioni utili ai viticoltori per produzioni di qualità. Il grado delle varie correlazioni per ogni vigneto nei singoli anni è fortemente influenzato dalla variabilità della PAB e dei parametri di qualità delle uve registrato nei singoli vigneti. Dai modelli lineari è emerso chiaramente che si ottengono generalmente correlazioni statisticamente significative nel vigneto di Brolio dove c’è una maggior variabilità dovuta a fattori ambientali, mentre al contrario in vigneti come Donna Olimpia,

linea di ricerca A2

caratterizzati da una maggior omogeneità, tali correlazioni, sono molto scarse o nulle.

Per il vigneto di Brolio (Tab. 2.9 e 2.10) le correlazioni sono significative su numerosi parametri e con andamenti generalmente logici, cioè si denota una diminuzione dei parametri di qualità delle uve (quali contenuto zuccherino, polifenolico e antocianico) all'aumentare della vigoria.

	IBIMET_1	IBIMET_2	IBIMET_3	DIPROVE_1	DIPROVE_2	DIPROVE_3	IASMA_1	IASMA_2	IASMA_3
Brix_A	-	-0.632*	N.S.	-0.867***	-0.672**	N.S.	0.579*	-0.718**	N.S.
Ph_A	-	-0.611*	N.S.	-0.614*	N.S.	-0.554*	N.S.	N.S.	N.S.
AcTitol_A	-	0.823***	0.752***	0.721**	0.559*	0.864***	N.S.	0.746**	0.811***
Antoctot2_A	-	0.839***	N.S.	-0.882***	0.832***	N.S.	0.845***	0.845***	N.S.
Poliftot2_A	-	-0.69**	N.S.	0.611*	-0.669**	N.S.	0.651**	-0.651**	N.S.
Brix_B	-	-0.547*	N.S.	-0.711***	N.S.	N.S.	0.637*	-0.76**	N.S.
Ph_B	-	N.S.	-0.713**	N.S.	N.S.	-0.587*	N.S.	N.S.	0.578*
AcTitol_B	-	0.634**	0.785***	N.S.	N.S.	0.787***	N.S.	N.S.	-0.67
Antoctot2_B	-	-0.54*	0.65**	0.811***	-0.68**	0.8***	0.885***	N.S.	N.S.
Poliftot2_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	0.527*	N.S.	N.S.	N.S.

Tabella 2.9 – Correlazioni fra PAB e parametri di qualità delle uve al netto dei trattamenti agronomici per il vigneto di Brolio nell'anno 2008.

Tale relazione inversa è causata da vari motivi tra cui il fatto che le uve prodotte dalle viti più vigorose presentano un minore contenuto zuccherino. Infatti gli zuccheri prodotti con la fotosintesi vengono maggiormente utilizzati per la maggior quantità di biomassa verde che viene prodotta da tali piante.

linea di ricerca A2

	IBIMET_1	IBIMET_2	IBIMET_3	DIPROVE_1	DIPROVE_2	DIPROVE_3	IASMA_1	IASMA_2	IASMA_3
Brix_A	-0.891***	N.S.	N.S.	-0.714**	N.S.	N.S.	-	N.S.	N.S.
Ph_A	0.731**	N.S.	-0.731**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
AcTitol_A	0.654**	N.S.	0.866**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	0.578*	N.S.
Antoctot2_A	-0.904***	N.S.	N.S.	0.706**	-0.801***	-0.518*	-	N.S.	N.S.
Poliftot2_A	-0.932***	N.S.	N.S.	0.795**	-0.76***	N.S.	-	N.S.	N.S.
Brix_B	-0.726**	-0.576*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	-0.651**	N.S.	0.53*
Ph_B	N.S.	N.S.	-0.591*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	0.637*	N.S.
AcTitol_B	N.S.	N.S.	-0.566*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	-0.651**	N.S.
Antoctot2_B	0.77***	N.S.	N.S.	-0.664**	-0.582*	N.S.	-0.686**	N.S.	N.S.
Poliftot2_B	0.869***	N.S.	N.S.	-0.803***	-0.607*	N.S.	-	N.S.	N.S.

Tabella 2.10 – Correlazioni fra PAB e parametri di qualità delle uve al netto dei trattamenti agronomici per il vigneto di Brolio nell'anno 2009.

Inoltre va considerato che le piante più vigorose producono uve con acini di dimensioni maggiori; numerosi composti fondamentali per produzioni di qualità, quali polifenoli e antociani, vengono generalmente contenuti nelle bucce; all'aumentare delle dimensioni dell'acino diminuisce però il rapporto fra superficie e volume, cioè fra bucce e polpa dell'acino, e quindi all'aumentare delle dimensioni dell'acino diminuisce il contenuto percentuale di questi importanti composti. Per i rilievi di IBIMET si può notare delle differenze abbastanza marcate fra parametri qualitativi come contenuto zuccherino, polifenolico e antocianico e parametri di acidità quali pH e acidità titolabile; per i primi, nei due anni, il volo di giugno, meno influenzato dall'andamento climatico annuale, si dimostra il più efficiente nella caratterizzazione del vigneto, mentre gli altri due voli non forniscono informazioni aggiuntive. Per i parametri di acidità tutti e tre i voli, o almeno due, di

solito sono statisticamente significativi nelle correlazioni con la PAB. La spiegazione di tale risultato è legata al fatto che alcuni parametri, quali contenuto zuccherino, polifenolico e antocianico, sono maggiormente influenzati, nel singolo anno, da fattori strutturali costituenti del vigneto; altri parametri, come l'acidità, vengono invece fortemente influenzati dall'andamento climatico annuale e quindi tutti e tre i voli, effettuati in periodi diversi, permettono di ottenere informazioni utili alla caratterizzazione delle uve in ottica di viticoltura di precisione. Nei rilievi DIPROVE e IASMA tale fenomeno non è riscontrabile e in genere i voli di giugno e luglio sono ambedue statisticamente significativi nelle loro correlazione con i parametri di qualità delle uve. Inoltre i rilievi mostrano correlazioni significative anche con i parametri di qualità delle uve raccolte alla vendemmia tardiva indicando che le mappe NDVI possono essere utilizzate in viticoltura di precisione con la finalità di caratterizzare uve ad alto contenuto zuccherino per ottenere vini ad alta gradazione alcolica.

Per il vigneto di Cortigliano (Tab. 2.11 e 2.12) si nota una notevole differenza fra le due annate 2008 e 2009. Nel primo anno si registrano correlazioni significative solo per pochi parametri (contenuto zuccherino e pH) e solamente alla vendemmia tecnologica. Nel 2009 invece le correlazioni si registrano per quasi tutti i parametri di qualità; in particolare spiccano i rilievi di giugno di IBIMET e IASMA-FEM che mostrano correlazioni molto forti.

linea di ricerca A2

	IBIMET_1	IBIMET_2	IBIMET_3	DIPROVE_1	DIPROVE_2	DIPROVE_3	IASMA_1	IASMA_2	IASMA_3
Brix_A	-	-0.658**	N.S.	-0.604**	0.497*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Ph_A	-	0.686***	-0.451*	-0.535*	N.S.	0.742***	N.S.	N.S.	0.731***
AcTitol_A	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	-0.498*	N.S.	N.S.	-0.549*
Antoctot2_A	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Poliftot2_A	-	N.S.	N.S.	-0.507*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Brix_B	-	-0.705***	N.S.	-0.802***	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Ph_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
AcTitol_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	-0.467*	N.S.	N.S.	N.S.
Antoctot2_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Poliftot2_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Tabella 2.11 – Correlazioni fra PAB e parametri di qualità delle uve al netto dei trattamenti agronomici per il vigneto di Cortigliano nell'anno 2008.

	IBIMET_1	IBIMET_2	IBIMET_3	DIPROVE_1	DIPROVE_2	DIPROVE_3	IASMA_1	IASMA_2	IASMA_3
Brix_A	0.66***	N.S.	-0.553**	N.S.	N.S.	N.S.	-0.533**	N.S.	N.S.
Ph_A	0.499*	0.544**	-0.668***	0.537**	-0.532**	-0.453*	-	N.S.	N.S.
AcTitol_A	-0.624**	N.S.	0.557**	N.S.	N.S.	0.435*	0.659***	N.S.	N.S.
Antoctot2_A	0.697***	0.414*	-0.508*	N.S.	N.S.	-0.58**	0.725***	-0.524**	-0.461*
Poliftot2_A	0.61**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	0.604**	N.S.	-0.417*
Brix_B	0.521**	N.S.	-0.434*	N.S.	N.S.	N.S.	-0.569**	N.S.	N.S.
Ph_B	0.707***	-0.682***	0.543**	0.688***	-0.642***	0.5*	-0.83***	N.S.	N.S.
AcTitol_B	-0.428*	-0.433*	0.532**	N.S.	N.S.	N.S.	0.621**	N.S.	N.S.
Antoctot2_B	N.S.	-0.406*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Poliftot2_B	0.464*	N.S.	N.S.	N.S.	-0.42*	N.S.	-	N.S.	N.S.

Tabella 2.12 – Correlazioni fra PAB e parametri di qualità delle uve al netto dei trattamenti agronomici per il vigneto di Cortigliano nell'anno 2009.

Per il vigneto di Cacciagrande (Tab. 2.13 e 2.14), adiacente a Cortigliano, si notano delle analogie nei risultati con quelli ottenuti sul vigneto di Cortigliano. Infatti nell'annata 2009 si riscontrano correlazioni più forti, soprattutto per i rilievi DIPROVE e IASMA-FEM; tale risultato conferma che l'andamento climatico annuo influisce sul grado delle

linea di ricerca A2

correlazioni fra la PAB e i parametri di qualità. Va inoltre riscontrato che, soprattutto per il 2008, in alcuni casi le correlazioni non hanno andamento logico, cioè non sono inversamente correlate.

	IBIMET_1	IBIMET_2	IBIMET_3	DIPROVE_1	DIPROVE_2	DIPROVE_3	IASMA_1	IASMA_2	IASMA_3
Brix_A	-	-0.905**	-0.793*	N.S.	N.S.	0.875**	N.S.	N.S.	0.815**
Ph_A	-	0.728*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
AcTitol_A	-	N.S.	0.853**	N.S.	N.S.	-0.855*	N.S.	N.S.	N.S.
Antoctot2_A	-	0.904**	N.S.	N.S.	-0.878**	N.S.	N.S.	0.907**	N.S.
Poliftot2_A	-	0.737*	N.S.	N.S.	-0.928**	N.S.	N.S.	-0.82*	N.S.
Brix_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Ph_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
AcTitol_B	-	-0.936***	0.885**	N.S.	0.812*	-0.906**	N.S.	N.S.	-0.786
Antoctot2_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Poliftot2_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Tabella 2.13 – Correlazioni fra PAB e parametri di qualità delle uve al netto dei trattamenti agronomici per il vigneto di Cacciagrande nell'anno 2008.

	IBIMET_1	IBIMET_2	IBIMET_3	DIPROVE_1	DIPROVE_2	DIPROVE_3	IASMA_1	IASMA_2	IASMA_3
Brix_A	0.965***	-0.563*	N.S.	0.927***	N.S.	0.79**	-	-	0.669*
Ph_A	-0.926***	N.S.	N.S.	-0.843***	N.S.	0.764**	0.798**	0.832***	N.S.
AcTitol_A	0.82***	N.S.	N.S.	0.668*	-0.68*	N.S.	N.S.	0.765**	-0.729**
Antoctot2_A	-0.894***	N.S.	N.S.	0.718**	N.S.	-0.555*	-0.742**	0.906***	0.662*
Poliftot2_A	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Brix_B	-0.913***	N.S.	N.S.	-0.778**	N.S.	N.S.	0.748**	-0.9***	N.S.
Ph_B	0.856***	N.S.	N.S.	-0.58*	N.S.	-0.577*	0.577*	-	N.S.
AcTitol_B	-0.826***	N.S.	N.S.	0.693**	-0.739**	N.S.	N.S.	-	N.S.
Antoctot2_B	0.605*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	-0.695**	N.S.
Poliftot2_B	-0.911***	N.S.	N.S.	0.822***	N.S.	N.S.	-0.792**	-0.634*	N.S.

Tabella 2.14 – Correlazioni fra PAB e parametri di qualità delle uve al netto dei trattamenti agronomici per il vigneto di Cacciagrande nell'anno 2009.

linea di ricerca A2

Per il vigneto di Donna Olimpia (Tab. 2.15 e 2.16) invece non si registrano quasi mai correlazioni significative o con andamento logico; nel complesso, i risultati ottenuti per questo vigneto risentono sia di una limitata variabilità di PAB riscontrabile sull'area interessata dal disegno sperimentale, sia di una notevole presenza di erbe infestanti nell'interfila che diminuisce il rapporto segnale/rumore.

	IBIMET_1	IBIMET_2	IBIMET_3	DIPROVE_1	DIPROVE_2	DIPROVE_3	IASMA_1	IASMA_2	IASMA_3
Brix_A	-	N.S.	N.S.	0.697*	N.S.	N.S.	N.S.	-0.675*	0.643*
Ph_A	-	N.S.	N.S.	-0.66*	N.S.	-0.631*	N.S.	N.S.	N.S.
AcTitol_A	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	0.615*	N.S.	N.S.	-0.64*
Antoctot2_A	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Poliftot2_A	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Brix_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	-0.639*	N.S.	N.S.	0.637*
Ph_B	-	N.S.	N.S.	-0.64*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
AcTitol_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Antoctot2_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Poliftot2_B	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	-0.675*

Tabella 2.15 – Correlazioni fra PAB e parametri di qualità delle uve al netto dei trattamenti agronomici per il vigneto di Donna Olimpia nell'anno 2008.

	IBIMET_1	IBIMET_2	IBIMET_3	DIPROVE_1	DIPROVE_2	DIPROVE_3	IASMA_1	IASMA_2	IASMA_3
Brix_A	N.S.	-0.647*	N.S.	0.786**	N.S.	N.S.	-0.647*	N.S.	N.S.
Ph_A	0.949***	N.S.	N.S.	0.791**	-0.726*	-0.802**	N.S.	N.S.	N.S.
AcTitol_A	-0.648*	N.S.	N.S.	N.S.	0.845**	N.S.	0.634*	N.S.	-0.667*
Antoctot2_A	N.S.	0.765**	N.S.	-0.733*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Poliftot2_A	N.S.	N.S.	N.S.	-0.703*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Brix_B	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Ph_B	0.85***	N.S.	N.S.	N.S.	-0.658*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
AcTitol_B	-0.805**	-0.864***	N.S.	N.S.	N.S.	0.737**	N.S.	N.S.	N.S.
Antoctot2_B	N.S.	0.831**	N.S.	-0.779**	N.S.	-0.673**	N.S.	N.S.	N.S.
Poliftot2_B	N.S.	N.S.	-0.63*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Tabella 2.16 – Correlazioni fra PAB e parametri di qualità delle uve al netto dei trattamenti agronomici per il vigneto di Donna Olimpia nell'anno 2009.

Questo secondo fattore è maggiormente influente nei rilievi IBIMET in quanto per questo vigneto non si è potuto applicare il filtro a finestra mobile che viene invece generalmente applicato per rimuovere efficacemente i valori di NDVI dovuti all'interfila. Nei rilievi DIPROVE, non essendo influenzati dalla presenza di erbe infestanti nell'interfila grazie alla acquisizione parallela alla spalliera, si notano talvolta risultati statisticamente significativi, soprattutto nel 2009. In generale, i risultati ottenuti per questo vigneto, suggeriscono la necessità di studi ulteriori per individuare dei parametri soglia di variabilità intravigneto di NDVI per la valutazione della validità e convenienza aziendale della applicabilità di queste nuove tecnologie.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha messo in evidenza che l'indice NDVI può essere uno strumento efficiente per predizioni di qualità, a patto però che nel vigneto esista una certa variabilità, dovuta alle caratteristiche pedo-morfologiche e microclimatiche insistenti sul vigneto, dei valori di PAB delle piante. In questo senso si riscontra la necessità di individuare in future linee di ricerca valori soglia di variabilità della PAB entro i quali risulti auspicabile o non l'utilizzo di tali nuove tecniche di rilevamento. Inoltre, emerge un altro interessante risultato, cioè che le pratiche agronomiche inducono dei cambiamenti fisiologici nelle piante che sono riscontrabili non solo nella stagione in corso, ma anche in quelle successive e che possono essere colti anche con le strumentazioni utilizzate nella presente ricerca. I risultati hanno quindi evidenziato che i

tre differenti metodi di acquisizione sono efficaci nel rilevare l'indice NDVI per predizioni di qualità delle uve, seppur con gradi diversi. La scelta del metodo più idoneo per il rilevamento NDVI si basa quindi su considerazioni di tipo economico-operativo, soprattutto riguardo la dimensione dell'area che si vuole monitorare. La strumentazione montata a spalla ovviamente si dimostra un utile strumento per fini di ricerca o comunque per monitorare un numero molto esiguo di piante. Il monitoraggio tramite quad può essere preferibile da un punto di vista economico per acquisire informazioni su aree di dimensioni medio-piccole e presenta il vantaggio rispetto al telerilevamento di una maggior flessibilità rispetto alle condizioni meteorologiche. Il telerilevamento da aereo rimane comunque uno strumento indispensabile per monitorare aree di grandi dimensioni sia per motivi economici sia per la capacità di acquisire informazioni riguardanti diversi vigneti nello stesso momento, fattore questo fondamentale soprattutto in ambito di ricerca in quanto il grado e l'angolo di illuminazione solare influenzano in maniera determinante le immagini acquisite.

Al fine di rendere lo strumento del telerilevamento ancora più flessibile ed a basso costo per le aziende, il gruppo di ricerca sulla viticoltura di precisione di IBIMET si è recentemente dotato di un drone telecomandato o UAV (Unmanned Aerial Vehicle) (Fig. 1) e della relativa strumentazione da utilizzare per il monitoraggio remoto dei vigneti. Il drone si propone come lo strumento ideale per il monitoraggio dei vigneti in progetti di ricerca e per realtà

linea di ricerca A2

aziendali medio-piccole dove il telerilevamento da aereo risulta economicamente non sostenibile.



Fig. 2.5 - UAV (Unmanned Aerial Vehicle) per il monitoraggio del vigneto.

Attività trasversali alle linee di ricerca

3. Geo-db e visualizzatore

Il geodatabase del progetto ha il compito di raccogliere in maniera ottimale e razionale i dati provenienti dalle differenti linee di ricerca del Consorzio Tuscania.

Il geodatabase è una soluzione adottata per la gestione della componente spaziale che consente di utilizzare un'unica struttura basata su un RDBMS (Relational Data Base Management Systems) per la gestione dell'informazione geografica nella sua interezza. Non si utilizzano quindi più files diversi, spesso in gran numero e di notevoli dimensioni e non correlati fra loro ma un unico insieme di dati strutturati, sia per quanto riguarda la componente geografica che tabulare.

I principali vantaggi che la creazione di un GeoDB apporta all'intero Consorzio sono:

- Tutti i dati geografici sono memorizzati in un database relazionale;
- Memorizzazione centralizzata dei dati geografici e tabulari per una migliore amministrazione;
- Si introducono indici spaziali che consentono un aumento delle prestazioni del sistema;
- La ridondanza è minimizzata;

linee di ricerca A1-A2

- Possibilità di soluzioni scalabili (da personal DB a web server oriented);
- Inclusione di regole per mantenere l'integrità dei dati (domini, relazioni, topologia);
- Regole comportamentali standard facili da usare;
- Facilita lo sviluppo di opzioni di personalizzazione;
- Editing multiutente (con accesso controllato);
- Esistenza di un linguaggio per la gestione e l'interrogazione del database (SQL);
- Supporta una varietà di funzioni per la modellazione, la gestione e l'analisi.

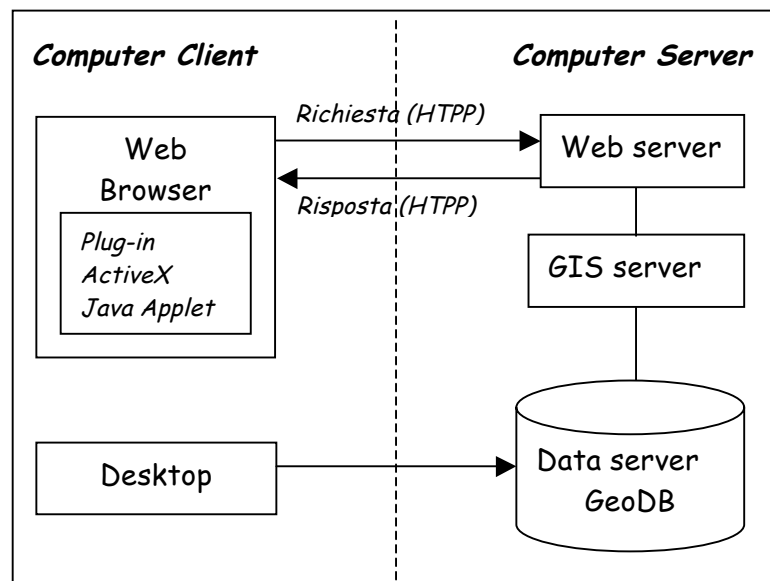


Fig. 3.1 – Architettura base di un WebGIS

L'adozione di un GeoDataBase inoltre apre le possibilità di sviluppo verso architetture di sistemi distribuiti (fig.3.1) e tra loro interoperabili dando la possibilità di accesso agli utenti dotati di software ClientGIS o Client SQL in grado di accedere via Internet all'informazione geografica e tabulare.

Infatti in questa prospettiva il GeoDB del Consorzio diviene una componente di un sistema più complesso che permetterà lo sviluppo di una geoportale web dedicato all'agricoltura di precisione.

3.1 Attività svolte

Le attività oggetto di questo rapporto sullo sviluppo del geodb e del geoportale, dedicato alla visualizzazione ed interrogazione dei dati relativi ai vigneti sperimentali del consorzio, possono essere schematizzata nelle seguenti fasi operative :

Configurazione hardware e software

- Specifiche tecniche del server
- Configurazione del server con componenti Open Source
- Test della configurazione
- Controlli lato server (autorizzazioni accesso GeoDB)
- Presentazione dell'architettura del server
- Costituzione FTP server: dati e documenti di progetto
- Definizione protocollo di manutenzione del server

linee di ricerca A1-A2

Sviluppo componente RDBMS del geoportale

- Raccolta dati storici (caratterizzazione del territorio)
- Coordinamento raccolta dati Consorzio T.
- Analisi/valutazione/pre-elaborazione dati spaziali
- Progettazione e sviluppo del GeoDB
- Popolamento del GeoDB

Test e debugging del sistema

- Test e debugging della configurazione del sistema
- Test e debugging del GeoDB

Manutenzione ed aggiornamento

- Aggiornamento real-time dei software Open Source
- Definizione diritti di connessione per l'utente
- Manutenzione del server

3.1 Configurazione hardware e software

Di seguito sono riportate in dettaglio le specifiche tecniche dell'architettura di sistema di secondo livello (fig. 3.2) messe a punto nella prima fase del progetto.

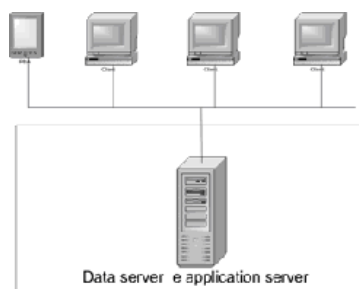


Fig. 3.2 architettura hardware di secondo livello

linee di ricerca A1-A2

Il server Tuscania, utilizzato sia per l'archiviazione e gestione dei dati sia per lo sviluppo di applicazioni, è un Server HP ML350T G4P con le seguenti le caratteristiche:

processore	Intel Xeon Processor 3.0 GHz/800-2 MB L2
ram	512 MB PC2-3200 DDR2 SDRAM (400MHz) 6 slot - capacità max 12GB - 2 GB a bordo
cache	Integrated 2 MB Level 2 cache
hard disk	Massima espandibilità: 2 x 250 GB with standard controller + 4 x 250 GB with 2 x 250 GB a bordo
optional	SATA array controller
Versione	Tower
Controller	HP integrated 2 Port SATA controller (bypassato con sistema di backup a copia fisica)
Scheda di Rete (NIC)	Embedded NC7761 PCI 10/100/1000T Gigabit network adapter
Scheda grafica	Integrated ATI RAGE XL Video Controller with 8-MB SDRAM
Floppy Disk	1.44 MB
CD-ROM	48x IDE (ATAPI) CD-ROM Drive
Sistema operativo	GNU/LINUX Distribuzione Fedora Core 6
Alimentatore	Hot plug models include: 725 Watt, Power Factor Correction (PFC), Hot Plug 100 to 240 VAC Rated Input Voltage (Auto-sensing), CE Mark Compliant Optional 2 nd power supply for hot-pluggable 1 + 1 redundancy
Tastiera	Opzionale
Mouse	Opzionale

linee di ricerca A1-A2

In sintesi per rendere operativo il Server Linux sono stati installati dei seguenti sw Open Source:

Apache	Web server Apache 2.2.6
PHP	Per PHP/MapScript 5.1.2
MapServer	5.0.0
libpng	v. 1.2.23
freetype	2.2.1
GD	v. 2.0.35
Zlib	1.2.3 - 3
PostgreSQL	DB relazionale a oggetti - v. 8.2.5
PostGIS	DB spaziale per informazioni geografiche - v. 1.3.2
Proj4	Libreria che permette la riproiezione delle coordinate spaziali x PostGIS e MapServer - v.4.5.0
GEOS	Libreria che permette il test delle geometrie con PostGIS v. 2.2.3
GDAL	Librerie per l'accesso a 42 tipi di formati raster v. 1.4.2 + OGR per l'accesso a 18 tipi di formati vettoriali.

3.2 Sviluppo componente RDBMS del geoportale

Il GeoDB del progetto è stato realizzato usando il software Open Source PostgreSQL con la componente PostGIS. PostgreSQL è un “free object-relational database server” ovvero un DBMS realizzato sotto licenza BSD (Berkeley Software Distribution) ed appartiene ad una famiglia di software

a licenza libera che offrono un'alternativa alle soluzioni commerciali. Come altri progetti Open Source (Apache, Linux, e Mediawiki) PostgreSQL non è controllato da una singola compagnia ma è realizzato da una comunità globale di sviluppatori e compagnie. PostGIS, sviluppato dalla Refraction Research, come progetto di ricerca nel campo della tecnologia dei database Open Source, aggiunge la componente spaziale a PostgreSQL, permettendo il suo uso anche nell'ambito dei Sistemi Informativi Geografici. Ovvero permette a PostgreSQL server di essere il DB spaziale per un Sistema Informativo Geografico (GIS) come potrebbero essere, nel caso di software commerciale, lo Spatial Data Engine ESRI o la Spatial Extension di Oracle.

PostGIS è stato realizzato sotto licenza GNU ed il suo sviluppo, tuttora in corso, ha sempre seguito la specifica di Simple Features Specification for SQL dell'OGC (Open Geospatial Consortium).

Ovviamente la scelta di un software OpenSource ha permesso di abbattere notevolmente i costi rinunciando all'acquisto di licenze dei software commerciali, ma ha richiesto l'impegno di più risorse umane (progettisti, programmatori ed informatici) per lo sviluppo e la configurazione del sistema.

I vantaggi dell'interoperabilità nello sviluppo lato server consentono l'accesso diretto da parte dell'utente, la personalizzazione dell'interfaccia per normali operazioni di popolamento del database, aggiornamento e manutenzione. La soluzione Open Source permette notevoli potenzialità di

sviluppo di funzioni personalizzate anche nel corso del progetto.

Definizione delle necessità dei diversi utenti

L'obiettivo principale di questa fase è stato quello di identificare i bisogni dei diversi utenti del GeoDB in modo tale da rendere questo ultimo idoneo a diversi usi (elaborazioni statistiche, applicazioni, modelli etc) e favorire l'integrazione delle informazioni provenienti da diversi partner di progetto in un unico database relazionale. Infatti i dati verranno usati in maniera diversa dai vari partner, e di conseguenza si è riscontrato che alcuni preferiscono avere accesso ai dati grezzi e compiere personalmente le loro elaborazioni, mentre altri trovano più utile e comodo avere accesso a dati pre-elaborati o elaborati. Inoltre si è cominciato a identificare i bisogni dei partner del Consorzio che dovranno usare il GeoDB (archiviazione dei dati, sviluppo di funzioni, estrazione dati o semplice accesso all'informazione) al fine di identificare dei percorsi di accesso al GeoDB per le diverse categorie di utilizzatori e per definire funzioni personalizzate per l'aggiornamento, la gestione e l'estrazione dei dati.

Si è anche ritenuto necessario verificare che non esistessero sovrapposizioni e ridondanza dei dati disponibili. A tal fine è stato creato il catalogo dei dati (vedi fig. 3.3) caratterizzati per aree tematiche, tipologia, contenuti, formato ed eventuali proiezione, estensione geografica e risoluzione raster ottenendo la strutturazione dei dati per categorie logiche.

linee di ricerca A1-A2

Aree tematiche	Tipologia	Contenuti	Formato	Proiezione	Datum	Estensione Geografica	Risoluzione raster
Cartografia di base	Dati raster	DEM	esri grid	UTM 32	WGS 84	quadro 10k	10 m
		Hillshade	esri grid	UTM 32	WGS 84	quadro 10k	10 m
		Toscana_250k	ecw	UTM 32	WGS 84	regionale	31 m
	Dati vettoriali	Limiti Amministrativi	shape	UTM 32	WGS 84	regionale	
		Rete viaria	shape	UTM 32	WGS 84	regionale	
		Rete idrica	shape	UTM 32	WGS 84	regionale	
Cartografia area di studio	Dati raster	Ortofoto voli Sky Arrow 4-3-2	tif	UTM32	WGS 84	azienda	30/60 cm
	Dati vettoriali	Vigneto	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
		Piante	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
		Campioni	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
		Blocchi	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
		Parcelle	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
		Stazioni meteo	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
Dati SIS	Dati Raster	Analisi pedologiche	esri grid	UTM 32	WGS 84	vigneto	1 m
Dati Meteo	Dati tabulari	Dati raccolti da stazioni master	Files comma delimited				
		Dati raccolti da stazioni slave	Files comma delimited				
Dati IASMA	Dati tabulari	Analisi su parametri ecoflogici	excell				
Dati DOC	Documenti	Caratteristiche stazioni meteo	word				
		Mappe del vigore nei vigneti	bmp	no	no	vigneto	no
		Dati gestione aziende	word				
		Protocollo Toscana	word				
		Relazioni varie di avanzamento lavori	word				

Fig. 3.3 – Catalogo dati per GeoDB Toscana.

Definizione degli oggetti e delle relazioni esistenti

In questa fase sono state indicate le varie tipologie di entità spaziali/geografiche e non, raggruppabili attraverso un insieme di caratteristiche comuni. Anche in questo caso il dialogo con gli altri partner del progetto è stato fondamentale, in particolare con l'Istituto Agronomico di San Michele all'Adige che, compiendo gran parte delle analisi di campo sui vigneti, è anche produttore della maggior parte dei dati. Le azioni previste sono state l'identificazione e descrizione delle entità e delle relazioni fra le diverse categorie di oggetti. Si è così ottenuto la descrizione degli oggetti (ovvero tabelle, cartografia tematica, delle regole e dei documenti informativi oggetto del GeoDB) la descrizione delle relazioni fra le diverse categorie di oggetti e il disegno del diagramma del GeoDB (disegno del modello dati con UML). Il disegno del diagramma del GeoDB (vedi fig. 3.4) è stato effettuato utilizzando il software OpenSource Eclipse opportunamente dotato del plugin 2UML della Soyatec. Tale software è sicuramente meno intuitivo e immediato dei corrispettivi commerciali, ma offre chiari vantaggi di natura economica e il suo utilizzo si sposa bene con le scelte fatte precedentemente sull'utilizzo di un OpenSource RDBMS come PostgreSQL. Bisogna comunque tener presente che lo schema del GeoDB potrebbe in futuro essere modificato o ampliato in base a specifiche richieste.

Selezione della rappresentazione geografica più opportuna.

In questa fase si è definito il tipo di rappresentazione geografica più opportuna per gli oggetti da inserire nel GeoDB. Infatti, a causa della diversa natura che possono avere tali oggetti, discreta o continua, si scelto di usare formati vettoriale o raster. Inoltre, avendo a che fare con dati provenienti da enti e strutture differenti, si è dovuta scegliere una proiezione geografica di riferimento, alla quale devono sottostare tutti gli elementi geografici del GeoDB. Parte dei dati, quelli riguardanti la cartografia di base, erano proiettati secondo il sistema Gauss Boaga, mentre gli altri, in particolare le ortofoto ad alta risoluzione (30 cm) effettuate con lo Sky Arrow e tutte le analisi pedologiche della John Deere, usavano il sistema di proiezione UTM 32 Nord. La scelta è ricaduta sul sistema di proiezione UTM 32 Nord in quanto le ortofoto ad alta definizione saranno successivamente usate come base per la costruzione di strati informativi discreti, quali shapefile riguardanti i limiti dei vigneti, dei blocchi, delle parcelle e la posizione di piante, pali di sostegno, stazioni meteorologiche. Particolare attenzione è stata prestata ad una corretta georeferenziazione delle foto aeree effettuate sui vigneti sperimentali e che saranno uno degli strati informativi geografici fondamentali del GeoDB nonostante alcuni elementi di criticità emersi durante lo sviluppo delle attività (vedi cap. 5. - Criticità).

linee di ricerca A1-A2

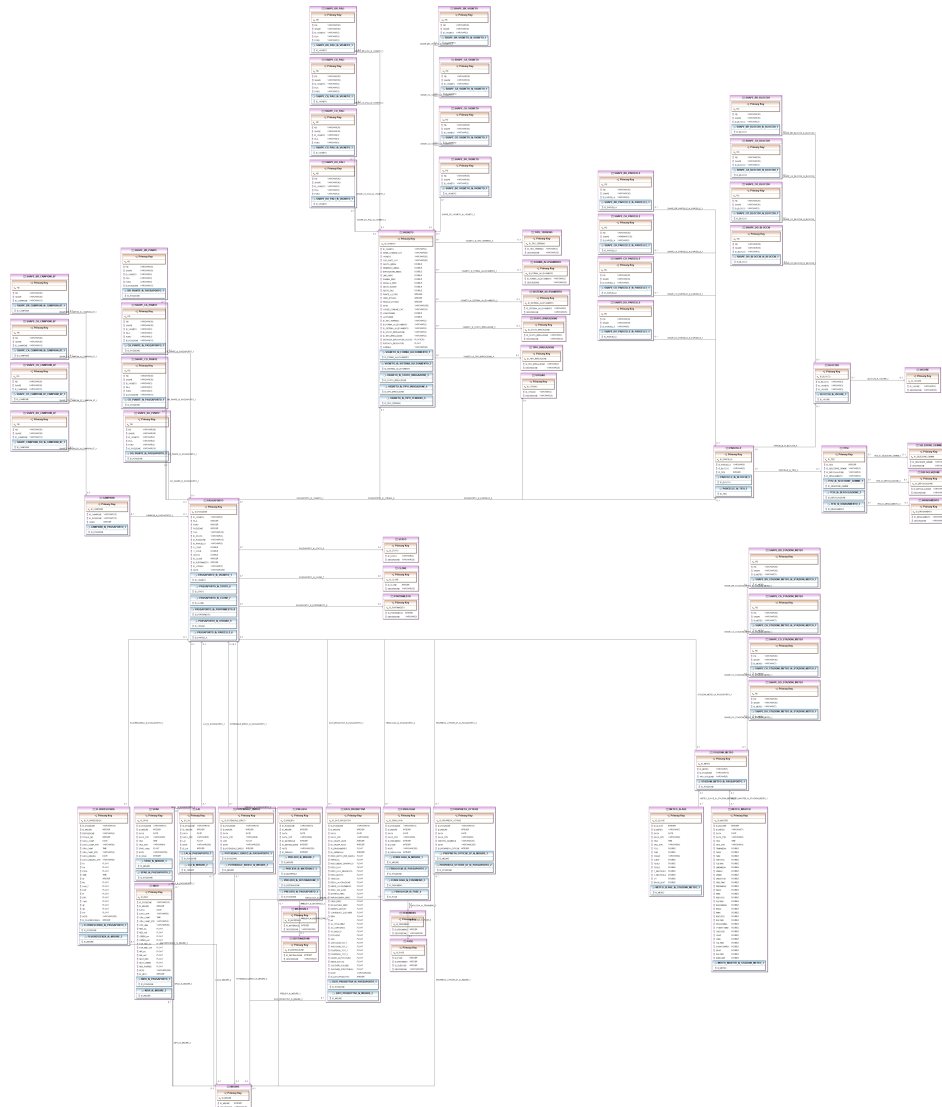


Fig. 3.4 – Schema del GeoDB Toscana (file disponibile per maggiore leggibilità su sito FTP, server: 149.139.16.152 , user: tuscania , password: datatusc2007, cartella: Diagramma GeoDB Toscana)

I risultati ottenuti sono stati la descrizione della tipologia di dati geografici e loro gerarchizzazione in funzione della scala, la definizione delle unità minime di riferimento in base allo schema sperimentale, l'identificazione della cartografia di base di riferimento, la definizione dei metadati e l'archiviazione di tutti i dati di riferimento.

Trasferimento dello Schema sul DBMS PostgreSQL

Dopo aver effettuato le prime verifiche sulle caratteristiche dello schema (capacità di stoccaggio dati, congruità delle relazioni, ridondanza dei dati) è stato effettuato il trasferimento dello stesso sul server Tuscania opportunamente configurato con il DBMS PostgreSQL; si è ottenuta così la prima versione ufficiale del database.

Il trasferimento è stato possibile utilizzando un plugin commerciale per l'ambiente Eclipse; EclipseDatabase; grazie ad esso è stato possibile integrare in un unico ambiente di sviluppo la parte riguardante gli applicativi e quella riguardante lo schema concettuale della banca dati. EclipseDatabase ha fornito alcune funzionalità che hanno permesso una più efficiente stesura dello schema e delle verifiche inerenti la congruità della struttura; inoltre ci ha permesso in seguito di riversare in pochi passaggi lo schema (comprensivo di tabelle, relazioni, definizione dei campi, delle chiavi, etc) direttamente sul DBMS PostgreSQL precedentemente installato e configurato; il plugin fornisce inoltre un'ottima interfaccia per

le modifiche e le revisioni successive dello schema e dei contenuti del database.

Organizzazione della struttura del geodatabase

Come già accennato precedentemente, la versione 1.0 dello schema concettuale è stata realizzata utilizzando l'ambiente di sviluppo integrato Eclipse, attraverso il quale è stato possibile disegnare la struttura del database.

Lo schema è stato progettato con l'obiettivo di organizzare diverse tipologie di dati e di metterli facilmente in correlazione tra loro facendo attenzione a creare un database funzionale e snello nella consultazione e manutenzione dei dati.

Il database di Toscana può essere suddiviso in quattro sezioni principali; ogni sezione è strutturata per contenere specifici dati, ma allo stesso tempo questi quattro macro blocchi sono messi in correlazione tra di loro; ciò permetterà di collegare logicamente i dati analitici con i dati meteo e con le loro posizioni geografiche.

Il database è dunque composto dai seguenti blocchi logici:

- **Blocco meteo:** contiene tutti i dati pervenuti dalle stazioni meteo Master e Slave, lo schema permette di censire le singole stazioni mettendole in correlazione con le piante (nel caso delle Slave) e con le parcelle dei vigneti. Per ogni stazione il database è in grado di associare tutti i dati temporali raccolti.
- **Blocco analisi:** contiene tutti i dati di analisi sulle piante, le varie tesi sono tutte messe in correlazione con i dati della loro ubicazione spaziale

linee di ricerca A1-A2

- **Blocco geografico:** grazie all'utilizzo della libreria PostGIS i dati geografici vettoriali saranno inseriti direttamente nel database sottoforma di tabelle spaziali; ogni singolo elemento dei vari strati informativi sarà identificato univocamente record per record; inoltre attraverso un apposito campo identificativo sarà legato alle piante e ai relativi dati analitici.
- **Blocco strutturale:** contiene i dati strutturali e fondamentali dei vari vigneti, cioè le informazioni tabulari su piante, vigneti, blocchi e parcelle.

Popolamento del database

Il popolamento di un database è una fase molto importante e delicata in quanto ci permette di fare una prima verifica sulle capacità del database nella gestione dei dati e la congruità degli stessi; in un database complesso e composto a sua volta da più substrati come quello di Toscana, il popolamento dei dati avviene a fasi separate coinvolgendo di volta in volta i dati appartenenti ad un unico gruppo logico; nel nostro caso dati meteo, dati di analisi, dati geografici e dati strutturali.

Le procedure per popolare il database possono variare a seconda dei casi e delle esigenze richieste; in generale tre sono le modalità per l'inserimento dei dati:

- Accesso diretto: utilizzando applicativi specifici per l'accesso ai database come pgAdminIII, è possibile eseguire manualmente le query di inserimento dei dati, questo è sicuramente il procedimento più

macchinoso nel caso di inserimento di grosse quantità di dati; sicuramente è il modo più consigliato per piccole variazioni su un esiguo numero di dati.

- Applicativo personalizzato: attraverso un applicativo sviluppato ad hoc in grado di eseguire compiti di inserimento ed interrogazione diretti. Tali applicativi possono essere sviluppati come programmi web-oriented o stand alone conformemente alle esigenze di progetto. Questo sistema permette un accesso al DB di tipo semi-automatico dove l'utente è comunque in grado di decidere le modalità di accesso e di manipolazione dei dati.
- Moduli background ETL (Extact Transform Load module): sono anche essi applicativi ma non prevedono un interazione con l'utente, vengono eseguiti in background, attivati tramite una chiamata ciclica o attraverso eventi; questi moduli si aspettano un flusso dati in ingresso che seguono determinate specifiche, ne estraggono i dati e li riformattano per la loro importazione nel database.

Nell'ambito del progetto sono stati sviluppati vari strumenti per l'accesso ai dati che rispondono ai criteri degli esempi sopra riportati; i moduli sviluppati sono quelli per il trattamento dei dati provenienti dalle stazioni meteo, dati delle analisi e dati della lienea enologica: Riguardo i dati meteo data la natura degli stessi flussi è stato deciso per orientarsi sullo sviluppo di moduli ETL richiamabili automaticamente.

I due moduli ETL sviluppati per il caricamento dei dati meteo sono stati sviluppati utilizzando il linguaggio Java

linee di ricerca A1-A2

(versione 1.5.0) ed hanno il compito di prelevare i dati provenienti dalle stazioni meteo (slave e master), di elaborarli per renderli compatibili con la struttura dati del database e di inserirli in quest'ultimo al fine di popolare le relative tabelle.

In questa fase i due moduli funzionano attraverso una procedura semi manuale: una volta avviati, le due procedure apriranno i file ASCII contenenti i dati delle stazioni meteo, interpreteranno i valori contenuti ed effettueranno l'inserimento dei dati rimodulati per essere congrui con le specifiche del database (fig. 3.5 e fig. 3.6).

data	pra	Tcjc	Tair	Tgrap	Tleaf	Tsoil1	Tsoil2	T_heatsoil1	T_heatsoil2	VV	Bat	Bagn	leaf
01/01/08	11	11.100000	10.200000	8.400000	16.500000	7.200000	10.900000	10.300000	7.700000	0.300000	6744.000000	0.000000	
01/01/08	12	12.700000	11.000000	9.500000	19.000000	8.500000	11.700000	10.800000	8.600000	0.000000	6759.000000	0.000000	
01/01/08	13	13.700000	11.900000	10.400000	18.300000	11.000000	17.100000	12.600000	20.500000	0.000000	6767.000000	0.000000	
01/01/08	14	12.900000	11.300000	10.200000	16.300000	8.000000	16.700000	9.500000	19.200000	0.000000	6773.000000	0.000000	
01/01/08	15	12.600000	10.300000	9.400000	16.000000	8.500000	16.000000	11.300000	20.700000	0.000000	6776.000000	0.000000	
01/01/08	16	10.900000	8.500000	8.300000	11.500000	11.300000	13.100000	13.900000	17.700000	0.000000	6746.000000	0.000000	
01/01/08	17	7.300000	6.500000	6.600000	6.500000	9.400000	11.700000	11.800000	14.500000	0.000000	6269.000000	1.000000	
01/01/08	18	6.300000	6.100000	6.100000	6.000000	9.200000	10.600000	11.700000	14.000000	0.000000	6211.000000	1.000000	
01/01/08	19	5.800000	5.700000	5.600000	5.800000	8.600000	10.200000	11.800000	14.100000	0.000000	6200.000000	1.000000	
01/01/08	20	5.700000	5.500000	5.400000	5.700000	8.500000	10.400000	12.000000	14.000000	0.300000	6194.000000	1.000000	
01/01/08	21	5.500000	5.500000	5.500000	5.100000	9.300000	11.000000	11.800000	14.100000	0.000000	6190.000000	1.000000	
01/01/08	22	5.000000	4.900000	4.900000	4.900000	8.100000	9.600000	11.700000	14.100000	0.300000	6185.000000	1.000000	
01/01/08	23	5.100000	4.500000	4.800000	5.100000	10.300000	10.500000	11.800000	13.900000	0.000000	6180.000000	1.000000	

Fig. 3.5 – Visualizzazione dei parametri registrati dalle stazioni slave del vigneto di Brolio (formato ASCII)

linee di ricerca A1-A2

	id_staz_me [PK] charac	data date	data_str [PK] charac	tcjc double prec	tair double prec	tgrap double prec	tleaf double prec	tsoil1 double prec	tsoil2 double prec	t_heatsoil1 double prec	t_heatsoil2 double pr
12	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	12.7	11	9.5	19	8.5	11.7	10.8	8.6
13	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	13.7	11.9	10.4	18.3	11	17.1	12.6	20.5
14	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	12.9	11.3	10.2	16.3	8	16.7	9.5	19.2
15	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	12.6	10.3	9.4	16	8.5	16	11.3	20.7
16	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	10.9	8.5	8.3	11.5	11.3	13.1	13.9	17.7
17	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	7.3	6.5	6.6	6.5	9.4	11.7	11.8	14.5
18	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	6.3	6.1	6.1	6	9.2	10.6	11.7	14
19	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	5.8	5.7	5.6	5.8	8.6	10.2	11.8	14.1
20	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	5.7	5.5	5.4	5.7	8.5	10.4	12	14
21	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	5.5	5.5	5.5	5.1	9.3	11	11.8	14.1
22	BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	5	4.9	4.9	4.9	8.1	9.6	11.7	14.1

Fig. 3.6 – Visualizzazione del risultato dei dati meteo dalle stazioni slave del vigneto di Brolio inseriti nel DB Tuscania tramite procedura ETL.

La procedura di importazione dei dati meteo è stata completamente automatizzata attraverso lo sviluppo di un sistema capace di monitorare il flusso dei dati provenienti dalle stazioni e che richiamerà all'occorrenza i due moduli ETL per la loro importazione.

Gli altri moduli analoghi per il popolamento di tutte le parti della banca dati Tuscania, le modalità e il loro funzionamento possono variare a seconda delle effettive specifiche dei dati in ingresso e dalle esigenze procedurali per la loro importazione.

L'obiettivo finale è stato quello di concentrare tutti i moduli ETL in un unico sistema centrale col compito di gestire in maniera efficiente il flusso dati.

3.3 Test e debugging del sistema

L'architettura del sistema è stata testata in tutte le sue componenti hw e sw. In vista dello sviluppo di un architettura di sistema predisposta allo sviluppo di tutte le componenti di un geoportale è stato testato anche il geoserver Mapserver e l'accesso al GeoDB tramite clientGIS e client SQL. Ulteriori test sono stati effettuati da utenti esterni a IBIMET per valutare la risposta dei protocolli di accesso al server ed i tempi di risposta in base alle transazioni in fase di regime.

3.3 Manutenzione ed aggiornamento

Per quanto riguarda le attività di manutenzione ed aggiornamento della componente hardware e software sono state definite le seguenti azioni:

- monitoraggio log di sistema per servizi fondamentali;
- procedure di backup pianificate;
- verifica funzionamento delle procedure di ottimizzazione del DB (indici, tablespace, access log, etc.)
- verifica release di sw OpenSource.

Inoltre sono state abilitate lato server le funzioni di controllo ed accesso al GeoDB.

I partner del progetto possono infatti connettersi al GeoDB Toscana tramite l'interfaccia conviviale pgAdmin III di PostgreSQL (<http://www.postgresql.org/ftp/pgadmin3/release/>)

linee di ricerca A1-A2

come “user” definiti dall’amministratore di sistema nelle seguenti modalità:

- Per l’amministratore di sistema con autorizzazione alle operazioni di editing:
User: **mapadmin**
Pw: riservata
- Per il generico utente senza autorizzazione all’editing.
User: **mapguest**
Pw: non richiesta

Un esempio di connessione al DB PostgreSQL, mediante interfaccia di accesso pgAdmin III, è rappresentato in fig. 3.7 nel caso di connessione in qualità di “guest” e in fig. 3.8 nel caso di accesso con diritti di amministratore di sistema.

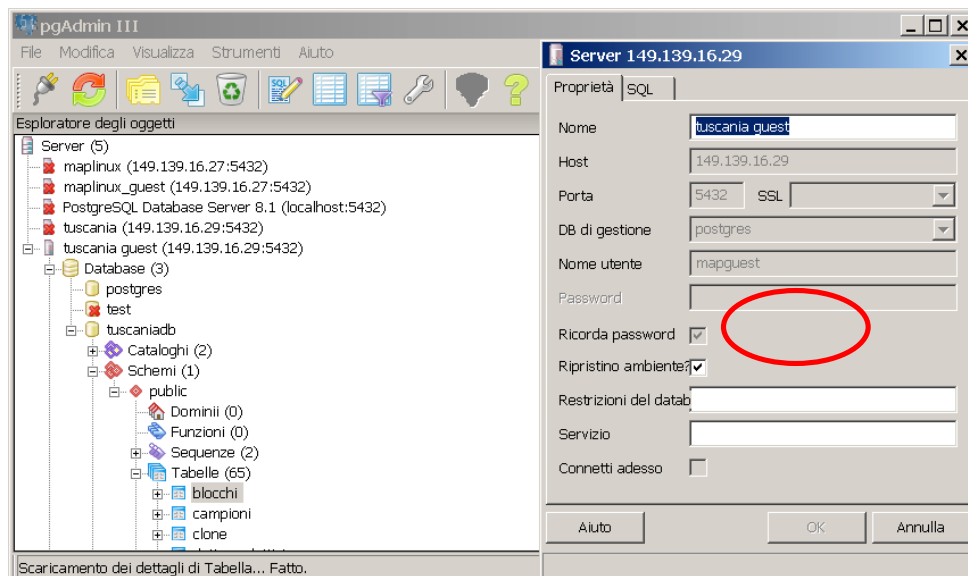


Fig. 3.7– Connessione al DB Tuscania con diritti “guest”.

linee di ricerca A1-A2

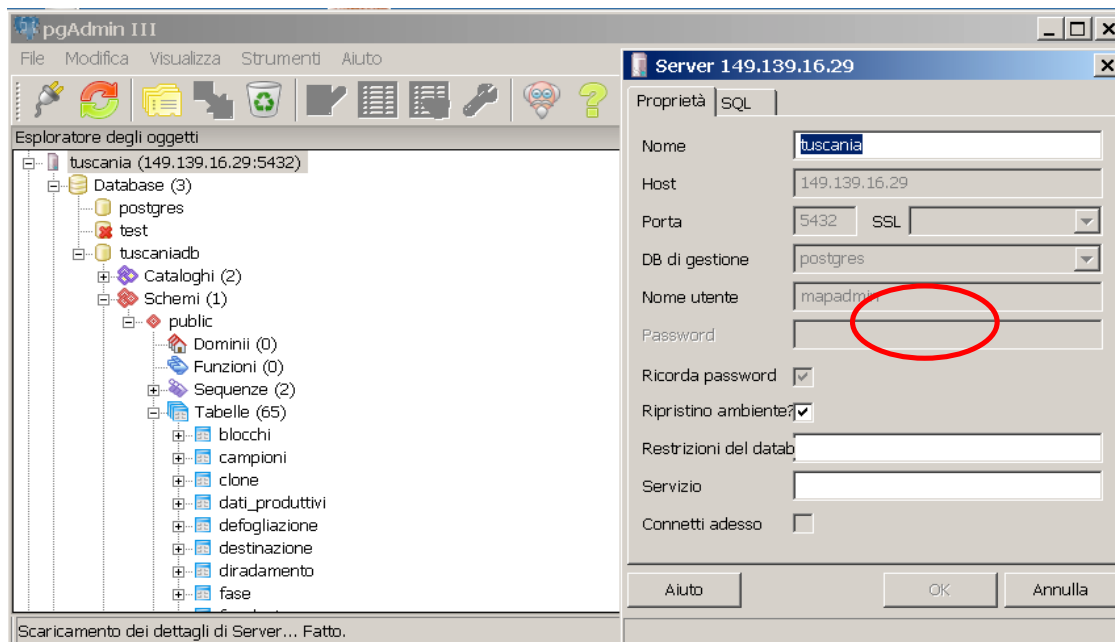


Fig. 3.8 – Connessione al DB Tuscania con diritti “amministratore”.

3.4 Integrazioni allo sviluppo del geodb

Parallelamente alle attività sin qui descritte è stata iniziata un’attività svolta alla compilazione del Thesaurus (vedi appendice 4). In informatica si fa riferimento al Thesaurus per l’insieme delle parole chiave che danno accesso a una banca dati o a vocabolari (con elenchi di sinonimi). L’inserimento dei termini nel Thesaurus porterebbe a una definizione univoca degli elementi descritti e registrati nel GeoDB evitando

dualismi o possibili fraintendimenti e alla possibilità di costruire una specie di motore di ricerca interno che, attraverso la correlazione fra i termini principali e i termini correlati, permetterebbe di trovare tutte le informazioni presenti nel GeoDB correlate a tale termine. Inoltre, sembra non essere disponibile attualmente un thesaurus riguardante il singolo settore vitivinicolo e di conseguenza la sua compilazione potrebbe essere un interessante novità. Tale attività si presenta complessa e necessita di collaborazione da parte dei partner del progetto, al fine di specificare in maniera corretta e univoca tutti i termini.

3.5 Criticità

La precisione spaziale richiesta in un progetto di ricerche sull'agricoltura di precisione deve essere molto alta in un'ottica di trasferimento dei risultati verso applicazioni operative. Questo è dovuto al fatto che vengono raccolti dati che riguardano le singole piante dei vigneti sperimentali; essendo queste georiferite e, nell'ottica di interpolare dati puntuali con i dati spettrali raccolti dai voli Sky Arrow, si ha bisogno di raggiungere una precisione spaziale ben al di sotto del metro. Se l'errore fosse superiore si correrebbe il rischio di usare dati di piante accanto sulla stessa fila o addirittura sulla fila accanto. Questo è un rischio reale in quanto i dati spaziali hanno origini e fonti diverse e quindi l'errore geografico insito non è omogeneo, ma varia in base alla fonte. In più si ha il problema che per ottenere una buona

georeferenziazione delle immagini, come per esempio le foto dei voli Sky Arrow, è necessario sempre usare una immagine come base che abbia una risoluzione spaziale più accurata e che si abbiano dei punti facilmente riconoscibili, come per esempio gli angoli degli edifici. Ciò non è attualmente possibile nel nostro caso e quindi si sta pianificando una campagna di raccolta punti con GPS a tecnologia RTK, che permetterebbe la registrazione di una serie di punti con la precisione necessaria per il nostro progetto. Una tale integrazione di dati puntuali permetterà una migliore georeferenziazione delle ortofoto Sky Arrow per ottenere il grado di precisione richiesto e poi usare queste immagini come base per la creazione dei vari strati informativi vettoriali, come per esempio gli shapefile delle piante, blocchi, parcelle. Se tale procedura darà dei risultati migliori, non solo sarà risolto il problema della migliore georeferenziazione delle immagini aeree, ma il GeoDB stesso si porterà in una posizione di eccellenza nei confronti di progetti analoghi riguardo alla precisione spaziale, permettendo analisi e interpolazioni spaziali di alta precisione.

3.6 Il geoportale ed il visualizzatore

La creazione del GeoDB Toscana non solo è funzionale alla semplice raccolta razionale dei dati, ma si inserisce anche nella offerta di un servizio Web-GIS fruibile attraverso il sito del Consorzio Toscana. E' stato infatti sviluppato di un vero e proprio Geoportale per il Consorzio Toscana accessibile attraverso la pagina web del Consorzio. Il Geoportale

costituisce il punto di accesso web a risorse geospaziali distribuite, o molto semplicemente un sito web dove può essere organizzato anche il contenuto geografico disponibile su internet. Il Geoportale organizza sia i contenuti che i servizi, ad esempio gli strumenti per la ricerca, sia informazioni per la comunità di utenti, supporta la gestione dei dati e le applicazioni; inoltre offre la possibilità di collegarsi direttamente on-line ad altri servizi del geoportale sul web.

Lo sviluppo del Geoportale per il Consorzio Tuscania ha permesso a tutti i partecipanti del Consorzio, anche con poca esperienza nel settore dell'elaborazione e gestione dei dati geografici, di accedere al subset di dati geografici archiviati nel GeoDB sul server Ibimet. Come in molte delle pagine web anche nel Geoportale potrà essere inclusa una sezione che permetterà lo scambio e l'accesso all'informazione (documenti, pubblicazioni scientifiche, etc.) delle principali linee di ricerca del Progetto. Inoltre i problemi legati al flusso, aggiornamento, integrazione dei dati raccolti per le elaborazioni ed analisi ed applicazione di modelli agrometeorologici potranno essere facilmente superati in futuro con lo sviluppo di funzioni personalizzate per 'accesso controllato all'intero GeoDB via web.

Sempre nell'ottica di rendere il Geoportale sempre più conviviale per l'accesso ai dati potrà essere creata in sviluppi futuri un interfaccia web per accesso facilitato al GeoDB. Allo stato attuale un esempio è fornito dall' interfaccia per accedere al servizi di consultazione del catalogo dei dati. Questi strumenti permetteranno una più facile fruizione e consultazione dei dati da parte dei vari user.

linee di ricerca A1-A2

Le fasi di sviluppo relative alle componenti dell'intero sistema web-oriented, possono essere dunque sintetizzate come segue:

Sviluppo componente RDBMS del geoportale

- Creazione dei Metadati
- Progettazione dei servizi del geoportale
- Implementazione delle funzioni di Geoportale
- Sviluppo del webmapping

Test e debugging del sistema

- Test e debugging del GeoDB
- Test e debugging del web mapping
- Test e debugging di applicazioni personalizzate

Manutenzione ed aggiornamento

- Integrazione /aggiornamento funzioni personalizzate del Geoportale
- Integrazione /aggiornamento web services (mapping, geoprocessing, ricerca)

4. Bibliografia

Beckwith, R., D. Teibel, e P. Bowen. 2004. Report from the field: Results from an agricultural wireless sensor network. p. 471-478. In 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, 2004.

Bergqvist J., Dokoozlian N., Ebisuda N. – 2001 – Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of ‘Cabernet Sauvignon’ and ‘Grenache’ in the Central San Joaquin Valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.*, 52, 1, 1-7.

Bindi et al., 1995 M. Bindi, J.R. Porter and F. Miglietta, Comparison of models to simulate leaf appearance in wheat, *European Journal of Agronomy* 4 (1995), pp. 15-25.

Camilli, A., C.E. Cugnasca, A.M. Saraiva, A.R. Hirakawa, e P.L. Corrêa. 2007. From wireless sensors to field mapping: Anatomy of an application for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 58(1): 25-36.

Cartechini A., Palliotti A. – 1995 – Effect of shading on vine morphology and productivity and leaf gas exchange

characteristics in grapevines in the field. *Am. J. Enol. Vitic.*, 46, 2, 227– 234.

Castia, T., M.A. Franco, F. Mattivi, G. Muggiolu, G. Sferlazzo, e G. Versini. 1992. Characterization of grapes cultivated in Sardinia: chemometric methods applied to the anthocyanic fraction= Caractérisation de cultivar en Sardaigne: méthode chémométriques appliquées à l'analyse fractionnée des anthocyanes. *Sciences des aliments*. 12(2): 239–255.

Chorti, E., Guidoni, S., Ferrandino, A., Novello, V.. Effect of Different Cluster Sunlight Exposure Levels on Ripening and Anthocyanin Accumulation in Nebbiolo Grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 61:1:23–30 (2010)

Cola, G., Failla, O., Mariani, L., BerryTone—A simulation model for the daily course of grape berry temperature, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 149, Issue 8, 3 August 2009, Pages 1215–1228.

Cook, S.E., e R.G.V. Bramley. 1998. Precision agriculture—opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 38(7): 753–763.

Crippen D.D., Morrison J.C. – 1986 – The effect of sun exposure on the phenolic content of 'Cabernet sauvignon' berries during development. *Am. J. Enol. Vitic.*, 37, 4, 243–247.

Dokoozlian N.K., Kliewer W.M. – 1996 – Influence of light on grape berry growth and composition varies during fruit development. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 121, 5, 869-874.

Downey M.O., Harvey J.S., Robinson S.P. – 2004 – The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation on 'Shiraz' grapes. Aust. J. Grape and Wine Research, 10, 55-73.

Downey, M.O., N.K. Dokoozlian, e M.P. Krstic. 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: a review of recent research. American Journal of Enology and Viticulture. 57(3): 257.

Flint, A.L., G. Campbell, K. Ellett, e C. CALISSENDORFF. 2002. Calibration and temperature correction of heat dissipation matrix potential sensors. Soil Science Society of America journal. 66(5): 1439-1445.

Fregoni, M., Biondi Santi, F., Pezzato, S., 2002. L'indice bioclimatico di qualità Fregoni applicato al Brunello di Montalcino. L'Informatore Agrario 22, 53-54.

Gao Y., Cahoon G.A. – 1994 – Cluster shading effects on fruit quality, fruit skin color, and anthocyanin content and composition in Reliance (Vitis hybrid). Vitis, 33, 205-209.

Garcia de Cortazar V., Cordova C., Pinto M. – 2005 – Canopy structure and photosynthesis modeling of grapevines (*Vitis vinifera* L. cv Sultana) grown on an overhead (parronal) trellis system in Chile. *Aust. J. Grape and Wine Research*, 11, 328-338.

Gladstone, 1992 J. Gladstone, *Viticulture and the Environment*, Wine Titles, Adelaide, Australia (1992).

Haselgrove L., Botting D., van Heeswijck R., Høi P.B., Dry P.R., Ford C., Iland P.G. – 2000 – Canopy microclimate and berry composition: the effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv 'Shiraz' grape berries. *Aust. J. Grape and Wine Research*, 6, 2, 141-149.

Iacono F. – 2004 – Escursione termica giornaliera durante la maturazione dell'uva. *L'Inform. Agr.*, 40, 47-49.

Jeong S.T., Goto-Yamamoto N., Kobayashi S., Esaka M. – 2004 – Effects of plant hormones and shading on the accumulation of anthocyanins and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in grape berry skins. *Plant Sci.*, 167, 247-252.

Johnson, H., J. Robinson, e O.P.G. Limited. 2001. *The world atlas of wine*. Mitchell Beazley.

Keller M., Hrazdina G. – 1998 – Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. II.

Effects on anthocyanin and phenolic development during grape ripening. *Am. J. Enol. Vitic.*, 49, 341-349.

Kliewer W.M., Lider L.A. – 1968 – Influence of cluster exposure to the sun on the composition of ‘Thompson Seedless’ fruit. *Am. J. Enol. Vitic.*, 19, 175-184.

Kim, Y., e R.G. Evans. 2009. Software design for wireless sensor-based site-specific irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 66(2): 159-165.

Liang, Q., D. Yuan, Y. Wang, e H.H. Chen. 2007. A cross-layer transmission scheduling scheme for wireless sensor networks. *Computer Communications*. 30(14-15): 2987-2994.

Matese, A., S.F. Di Gennaro, A. Zaldei, L. Genesio, e F.P. Vaccari. 2009. A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 69(1): 51-58.

Miglietta et al., 1996 F. Miglietta, A. Giuntoli and M. Bindi, The effect of free air carbon dioxide enrichment (FACE) and soil nitrogen availability on the photosynthetic capacity of wheat, *Photosynth. Res.* 47 (1996), pp. 281-290.

Monteith, J.,L.,. Climate and the efficiency of crop production in Britain – *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 281, 277-294 (1977)

Morais, R., M.A. Fernandes, S.G. Matos, C. Seródio, P. Ferreira, e M. Reis. 2008. A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 62(2): 94-106.

Mori K., Sugaya S., Gemma H. – 2005 – Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. *Sci. Hortic.*, 105, 319-330.

Morrison J.C., Noble A.C. – 1990 – The effects of leaf and cluster shading on the composition of ‘Cabernet sauvignon’ grapes and on fruit and wine sensory properties. *Am. J. Enol. Vitic.*, 41, 3, 193-200.

Pierce, F.J., e T.V. Elliott. 2008. Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington. *Computers and Electronics in Agriculture*. 61(1): 32-43.

Pirie A.J.G. – 1977 – Phenolics accumulation in red wine grapes (*Vitis vinifera* L.). PhD Thesis. Univ. Sydney, Sydney, AUS.

Porter, J., P. Arzberger, H.W. Braun, P. Bryant, S. Gage, T. Hansen, P. Hanson, C.C. Lin, F.P. Lin, T. Kratz, e others. 2005. Wireless sensor networks for ecology. *BioScience*. 55(7): 561-572.

Ramos MC, Jones GV, Martínez-Casasnovas JA (2008) Structure and trends in climate parameters affecting winegrape production in northeast Spain. *Clim Res* 38:1-15

Reynolds A.G., Pool R.M., Mattick L.R. – 1986 – Influence of cluster exposure on fruit composition and wine quality of ‘Seyval blanc’ grapes. *Vitis*, 25, 85-95.

Rojas-Lara B.A., Morrison J.C. – 1989 – Differential effects of shading fruit or foliage on the development and composition of grape berries. *Vitis*, 28, 199-208.

Roubelakis-Angelakis K.A., Kliewer W.M. – 1986 – Effects of exogenous factors on phenylalanine ammonia-lyase activity and accumulation of anthocyanin and total phenolics in grape berries. *Am. J. Enol. Vitic.*, 37, 275-280.

Sivilotti, P., C. Bonetto, M. Paladin, e E. Peterlunger. 2005. Effect of soil moisture availability on Merlot: from leaf water potential to grape composition. *American Journal of Enology and Viticulture*. 56(1): 9.

Smart R.E., Robinson J.B., Due G.R., Brein C.J. – 1985 – Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. II. Effects on must and wine composition. *Vitis*, 24, 119-128.

linee di ricerca A1-A2

Smart R.E., Dick J.K., Gravett I.M., Fisher, B.M. – 1990 – Canopy management to improve grape yield and wine quality – principles and practices. *S. A f r. J. Enol. Vi t i c .*, 11, 1, 3–17.

Smart R.E., , Influence of light on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae* 206, 1987 37. Grapevine Canopy & Vigor Management.

Spayd S.E., Tarara J.M., Mee D.L., Ferguson J.C. – 2002 – Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv ‘Merlot’ berries. *Am. J. Enol. Vitic.*, 53, 3, 171–182.

Vellidis, G., M. Tucker, C. Perry, C. Kvien, e C. Bednarz. 2008. A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation. *computers and electronics in agriculture*. 61(1): 44–50.

Wang, N., N. Zhang, e M. Wang. 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry–Recent development and future perspective. *Computers and electronics in agriculture*. 50(1): 1–14.

Winkler, A.J., J.A. Cook, W.M. Kliever, e L.A. Lider. 1974. *General viticulture*. Berkeley. University of California Press.

WMO, W. 2006. *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. World Meteorological Organization, Geneva–Switzerland.

linee di ricerca A1-A2

Yamane T., Jeong S. T., Goto-Yamamoto N., Koshita Y., Kobayashi S. – 2006 – Effects of temperature on anthocyanin biosynthesis in grape berry skins. *Am. J. Enol. Vitic.*, 57, 1, 54-59.