

Alla mia famiglia
e Bill

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA

Colture Arboree ed Agrosistemi Forestali, Ornamentali e Paesaggistici

Ciclo XX

Settore scientifico disciplinare di afferenza: AGR/03

**L'INERBIMENTO NELL'ECOSISTEMA VIGNETO:
CONFRONTO DI METODOLOGIE DI MISURA DEL CONSUMO
IDRICO DEL PRATO E RISPOSTA ALLO SFALCIO**

Presentata dalla Dott.ssa CENTINARI MICHELA

Coordinatore Dottorato

Prof. Silviero Sansavini

Tutore

Prof. Stefano Poni

Cotutore

Prof. Cesare Intrieri

Esame finale anno 2008

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1. I CAMBIAMENTI CLIMATICI E L'IMPORTANZA DELLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE IN VITICOLTURA	1
1.2. GESTIONE DEL SUOLO: INFLUENZA SULLE CARATTERISTICHE DEL TERRENO E DELLA VITE.....	4
1.3. INCIDENZA DEI CONSUMI IDRICI DEL SUOLO INERBITO NELLA DETERMINAZIONE DELL'EVAPO-TRASPIRAZIONE TOTALE DEL VIGNETO	11
1.4. DETERMINAZIONE DELL'EVAPO-TRASPIRAZIONE DEL SUOLO INERBITO PER VIA INDIRECTA (EQUAZIONE DI PENMAN-MONTEITH)	14
1.5. METODOLOGIE UTILIZZABILI IN UN VIGNETO INERBITO PER LA DETERMINAZIONE DIRETTA DELL'EVAPO-TRASPIRAZIONE DEL SUOLO.....	17
2. SCOPO DELLA TESI	24
3. MATERIALI E METODI	26
3.1. REALIZZAZIONE ED IMPIEGO DI "MINI-LISIMETRI"	26
3.2. REALIZZAZIONE ED IMPIEGO DI UNA "CAMERA"	28
3.3. CONFRONTO TRA "MINI-LISIMETRI" E "CAMERA" PER LA VALUTAZIONE DIRETTA DEL CONSUMO IDRICO DEL SUOLO INERBITO.....	31
3.3.1. Calibrazione del sistema basato sull'uso della camera.....	31
3.3.2. Influenza della portata del flusso di aria sul tasso di evapo-traspirazione del suolo inerbito e sulla temperatura all'interno della camera	32
3.3.3. Prova di confronto tra i due metodi di valutazione diretta dei consumi idrici del prato (mini-lisimetri e camera) e raffronto con un approccio di tipo indiretto (ET _o)	33
3.3.4. Analisi statistica dei dati.....	35

3.4. STIMA DEL CONSUMO IDRICO DEL PRATO USANDO MISURE DI RADIAZIONE E DI ALTRI PARAMETRI CLIMATICI (TEMPERATURA, UMIDITÀ DELL'ARIA) 36

3.4.1. Misurazione dei consumi idrici del suolo inerbito mediante il metodo gravimetrico (mini-lisimetri) 36

3.4.2. Misurazione dei consumi idrici del suolo inerbito mediante l'utilizzo della metodologia della camera..... 39

3.4.3. Determinazione di alcuni parametri climatici, dell'ET_o e della radiazione a disposizione nell'interfilare inerbito..... 39

3.4.4. Analisi statistica dei dati..... 41

3.5. EFFETTO DELLO SFALCIO SUI CONSUMI IDRICI DEL PRATO 43

3.5.1. Effetto dello sfalcio sui consumi idrici del prato. Valutazioni col metodo gravimetrico (mini-lisimetri) 43

3.5.2. Effetto dello sfalcio sui consumi idrici del prato. Valutazione con il metodo della camera..... 47

3.5.3. Analisi statistica dei dati..... 49

4. RISULTATI E DISCUSSIONE.....51

4.1. CONFRONTO TRA " MINI-LISIMETRI" E "CAMERA" PER LA VALUTAZIONE DIRETTA DEL CONSUMO IDRICO DEL SUOLO INERBITO51

4.1.1. Calibrazione del sistema basato sull'uso della camera..... 51

4.1.2. Influenza della portata del flusso d'aria sul tasso di evapo-traspirazione e sulla temperatura all'interno della camera 52

4.1.3. Prova di confronto tra i due metodi di valutazione diretta dei consumi idrici del prato (mini-lisimetri e camera) e raffronto con uno di tipo indiretto (ET_o)..... 55

4.2. STIMA DEL CONSUMO IDRICO DEL PRATO USANDO MISURE DI RADIAZIONE E DI ALTRI PARAMETRI CLIMATICI (TEMPERATURA, UMIDITÀ DELL'ARIA)	57
4.2.1. Analisi dei consumi idrici giornalieri del prato, determinati mediante il metodo mini-lisimetrico, in relazione ai principali parametri climatici che guidano la domanda evaporativa	57
4.2.2. Analisi dei consumi idrici del prato, determinati mediante il metodo della camera, in relazione ai principali parametri climatici che guidano la domanda evaporativa	64
4.3. EFFETTO DELLO SFALCIO SUI CONSUMI IDRICI DEL PRATO	67
4.3.1. Effetto dello sfalcio sui consumi idrici del prato. Valutazioni col metodo gravimetrico (mini-lisimetri)	67
4.3.2. Effetto dello sfalcio sui consumi idrici del prato. Valutazione con il metodo della camera.....	71
5. CONCLUSIONI.....	77
6. BIBLIOGRAFIA.....	80

1. INTRODUZIONE

1.1. I CAMBIAMENTI CLIMATICI E L'IMPORTANZA DELLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE IN VITICOLTURA

La disponibilità di acqua e la domanda idrica sono tra i fattori che principalmente influenzano l'adattamento, lo sviluppo e la crescita delle piante sulla terra e quindi l'economia del sistema agricolo. Tali tematiche sono state largamente analizzate in passato, ma negli ultimi anni le prospettive di studio si stanno modificando in funzione dei cambiamenti climatici globali in atto e dell'aumento della competizione per la risorsa idrica tra le esigenze agricole e civili (Dragoni et al., 2005). Ormai da diversi anni le problematiche relative ai cambiamenti del clima sono al centro di dibattiti internazionali (IPCC 2001); in particolare si prevede un continuo e progressivo surriscaldamento della crosta terrestre che non riguarderà in maniera uniforme tutte le regioni e sarà particolarmente evidente nei paesi dell'emisfero settentrionale. Relativamente alla situazione italiana è stato già rilevato da diversi anni un aumento del valore medio annuale della temperatura minima e massima (Figura 1).

I cambiamenti relativi all'entità e alla distribuzione delle precipitazioni sono più difficili da prevedere: secondo alcuni modelli si assisterà, a livello globale, ad un aumento delle precipitazioni, ma con larga variabilità da regione a regione (Houghton et al., 2001 in Schultz e Lebon, 2005), aumento che comunque non sarà sufficiente a bilanciare quello del tasso di evaporazione determinato dall'incremento delle temperature (Schultz e Lebon, 2005, l.c.). Molto importanti sono le alterazioni dell'andamento annuale delle precipitazioni, che potrebbero determinare una maggiore incidenza di piogge forti nel periodo invernale e minore nel periodo estivo con un conseguente aumento dei fenomeni di siccità (Kerr et al., 2005 in Iglesias et al., 2007).

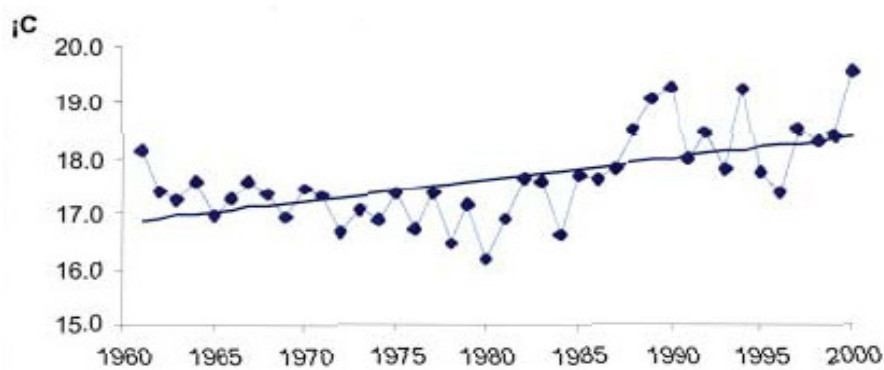
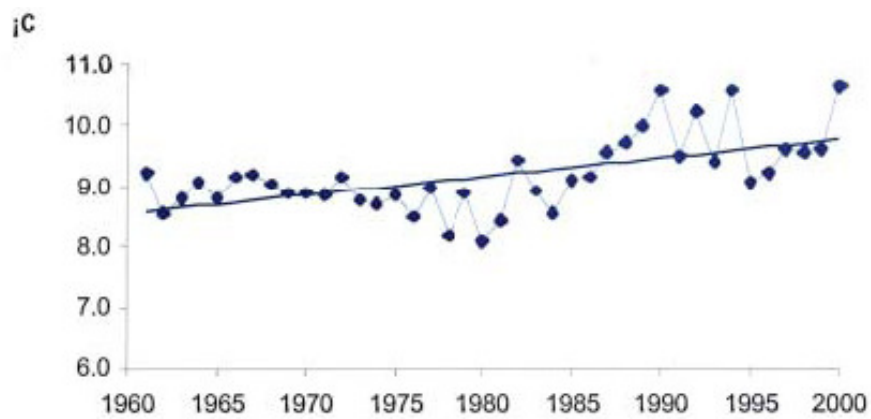


Figura 1 - Andamento della temperatura minima e massima (media annuale) in Italia dal 1960 al 2000 (tratto da Vento D., 2004).

All'interno del contesto europeo tali cambiamenti climatici comportano profonde implicazioni per la viticoltura con diversi effetti sulla coltura della vite:

a) una modificazione della distribuzione geografica dei vitigni in seguito ad un aumento delle cosiddette sommatorie termiche delle aree viticole dovute al riscaldamento terrestre (Poni, 2005). Uno studio di Schultz et al. (2000) sull'evoluzione delle temperature a Geisenheim (Germania, 50 N) ha evidenziato un aumento delle sommatorie termiche del decennio 1989-1999, calcolate utilizzando l'indice bioclimatico di Huglin, rispetto a quelle del trentennio precedente. Da questa ricerca risulta che un'area viticola "fredda" come Geisenheim idonea alla messa a coltura di vitigni precoci (Pinot bianco, Pinot grigio, Riesling, etc.) con basse esigenze termiche, intorno ai 1600 GG, sta diventando adatta alla messa a coltura di genotipi medio tardivi che presentano maggiori esigenze termiche (Merlot e Cabernet Sauvignon, etc.). Viceversa aree oggi considerate "temperato - fresche" e adatte alla produzione di vini di eccellenza si potrebbero trasformare in zone caratterizzate da clima caldo - arido con conseguenti problemi di stress idrico e riflessi negativi sulla dinamica di maturazione e sulla qualità del vino;

b) un'alterazione del bilancio idrico del vigneto che potrebbe risultare sempre più deficitario in conseguenza ad una riduzione delle riserve idriche dei suoli da un lato ed ad un aumento dei consumi evapo-traspirativi delle colture dall'altro (Poni, 2005, l.c.). Anche in aree del centro-nord Italia, infatti, si stanno registrando con maggiore frequenza fenomeni di stress idrico che, seppur temporanei, possono produrre effetti negativi sulla qualità e quantità dell'uva.

In relazione a questi probabili cambiamenti climatici è quindi evidente come la gestione delle risorse idriche assumerà un ruolo sempre più importante nella conduzione del vigneto.

1.2. GESTIONE DEL SUOLO: INFLUENZA SULLE CARATTERISTICHE DEL TERRENO E DELLA VITE

Tra i vari fattori che influenzano il bilancio idrico del vigneto spicca la modalità di gestione del suolo. Tale tecnica colturale ha subito, dalla fine degli anni 60 ad oggi, una profonda evoluzione determinata da vari fattori, quali la diffusione della meccanizzazione, la necessità di contenimento dei costi, un progressivo cambiamento nella gestione degli equilibri vegeto-produttivi finalizzati ad un'ottimizzazione della qualità dell'uva ed infine una maggiore sensibilità per le problematiche ambientali. In particolare negli ultimi anni si sta valorizzando l'importante ruolo dell'agricoltura nel preservare l'equilibrio dell'ambiente e, in quest'ottica, le tecniche di gestione del suolo devono essere volte ad alterare il meno possibile la composizione (sostanza organica, fertilità), la struttura e la biodiversità naturale del terreno così da ridurre la degradazione, l'erosione ed il compattamento (figure 2 e 3).

L'insieme di queste motivazioni ha portato alla rinuncia totale o parziale alle lavorazioni tradizionali che fino a qualche decennio fa rappresentavano la tecnica colturale prevalente effettuata per ostacolare la crescita della flora infestante, interrare i fertilizzanti e limitare le perdite d'acqua per evaporazione. Numerosi studi hanno infatti messo in evidenza come le lavorazioni possano risultare negative sotto vari punti di vista (Van der Knijff J.M. et al., 2000). Tale pratica colturale velocizza i normali processi di erosione del suolo i quali comportano la perdita degli strati microbiologicamente più fertili del terreno ed anche più ricchi di sostanza organica: considerando che circa il 65 % degli impianti viticoli italiani è dislocato in zone collinari o pedecollinari, questo fenomeno può assumere entità elevate. Le lavorazioni determinano una progressiva perdita della normale struttura glomerulare del suolo, che può essere causa di numerosi altri problemi, e la distruzione del capillizio radicale delle piante nelle zone superficiali del terreno più ossigenate e fertili. Infine, in un vigneto gestito mediante tale pratica colturale l'ingresso delle macchine operatrici in campo può avvenire solo se il terreno è asciutto per limitare il rischio di compattazione e formazione di una suola di lavorazione impermeabile, causata dal loro passaggio su suolo bagnato o comunque non in tempera, che comporterebbe un aumento dei rischi di ristagno idrico (Ramazzotti e Intrieri, 2008).



Figura 2 - Vigneto collinare di nuovo impianto, con terreno non ancora assestato, in cui i temporali estivi hanno creato profonde canalizzazioni causate dallo scorrimento superficiale delle acque (foto Intriери)



Figura 3- Inerbimento interfilare costituito da essenze graminacee. Le zone lungo i filari sono invece gestite con diserbo (foto Intriери)

Queste e altre motivazioni hanno determinato la necessità, sia nei terreni declivi sia in quelli di pianura, di ricorrere a tecniche di gestione del suolo diverse dalle lavorazioni. Tra queste inizialmente è stata adottato il diserbo chimico su tutta la superficie, in seguito abbandonato soprattutto a causa del suo negativo impatto ambientale.

La tecnica che si sta progressivamente imponendo per la gestione del suolo nella viticoltura italiana e straniera, in alternativa alle lavorazioni tradizionali e al diserbo totale, è rappresentata dall'inerbimento nelle sue varie forme (interfilare, a filari alterni, temporaneo, spontaneo, seminato, ecc.). L'inerbimento influisce positivamente su importanti caratteristiche fisico-meccaniche, chimiche e biologiche del terreno mediante una serie di effetti tra loro interagenti (Mattii e Ferrini, 2005). La presenza del cotico protegge infatti il terreno dall'erosione (Battany and Grismer, 2000; Di Lorenzo et al., 1999) ed esercita una positiva influenza sulla sua struttura, grazie all'eliminazione delle lavorazioni ed ad una limitazione degli effetti negativi esercitati dall'azione della pioggia battente (Stocking, 1988 in Celette et al., 2005). L'inerbimento aumenta l'apporto di sostanza organica al suolo (Morlat e Jacquet, 2003), spesso limitata nei vigneti, ed accresce la sua possibilità nel trattenere i nutrienti, mediante un miglioramento della capacità di scambio cationico del terreno, favorendo così un'attività microbica più intensa. Inoltre, il migliore stato di aggregazione delle particelle del suolo rilevato nei suoli inerbiti determina un aumento della loro permeabilità rispetto a quelli lavorati (Morlat et al., 1993) con conseguente miglioramento del tasso di infiltrazione dell'acqua nel terreno e riduzione delle perdite idriche per scorrimento superficiale (Di Lorenzo et al., 1999, l.c.). Un ulteriore aspetto positivo legato all'uso di tale tecnica colturale è dato dalla limitazione dello sviluppo delle infestanti (Porqueddu, 2000 in Celette et al., l.c.) e dalla possibilità di entrare tempestivamente con i mezzi meccanici nel vigneto dopo le piogge.

Nonostante i numerosi vantaggi l'inerbimento esercita nei confronti della vite una competizione idrica - nutrizionale che a volte può risultare rilevante, anche se dalla letteratura emergono risultati contrastanti. Il livello di tale competizione dipende infatti da numerosi fattori tra cui l'andamento climatico, in particolare pluviometrico (entità e distribuzione delle precipitazioni), i fabbisogni idrici del vigneto, la capacità delle radici di ciascuna delle due specie (erbacea e arborea) di assorbire l'acqua dal suolo e le caratteristiche del terreno.

La vite, in linea generale non rappresenta un buon competitore nei confronti delle essenze erbacee coltivate o infestanti a causa della bassa densità (n. di radici per m³ di suolo) del suo

apparato radicale in confronto a quello delle specie erbacee (Lakso, comunicazione personale). D'altra parte le radici della vite, in assenza di strati di suolo impermeabili, possono esplorare zone di terreno abbastanza profonde e, in presenza di un'essenza erbacea, distribuirsi al di sotto dello strato di suolo interessato dall'apparato radicale del cotico erboso (Intrieri et al., 2005).

Studi condotti in Francia da Morlat e Jacquet (2003, l.c.) e successivamente da Celette et al. (2005, l.c.) hanno rilevato come le radici di vite siano più omogeneamente distribuite lungo il profilo orizzontale e verticale del suolo nelle parcelle di vigneti gestite mediante la tecnica del diserbo rispetto a quelle gestite mediante inerbimento dell'interfilare. In questi casi la presenza dell'apparato radicale dell'essenza erbacea ha ridotto notevolmente l'espansione laterale delle radici della vite verso l'interfilare determinandone inoltre una maggior concentrazione, rispetto alla tesi diserbata, negli strati più profondi del suolo. Una relazione negativa di tipo esponenziale (figura 4) è stata messa in evidenza da Morlat e Jacquet tra il numero di radici di vite e il peso secco di quelle del prato negli strati di suolo 0-0.45m di profondità, evidenziando come la presenza delle radici del prato impedisca la crescita di quelle di vite in tali zone.

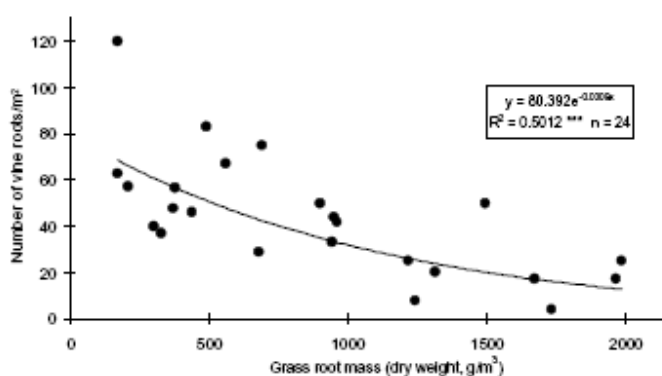


Figura 4 - Relazione tra il numero di radici di vite su m² di suolo ed il peso secco delle radici del prato su m³ di suolo, misurati alla profondità del terreno di 0-0.45 m (da Morlat e Jacquet 2003)

L'effetto competitivo determinato dall'inerbimento a livello dell'apparato vegetativo delle viti può determinare una riduzione dello sviluppo dei germogli (Di Lorenzo et al., 1999, l.c.; Celette et al., 2005, l.c.; Tesic et al., 2007) e dell'area fogliare delle piante con un conseguente miglioramento del microclima della chioma e dello stato sanitario dei grappoli, anche se quest'ultimo dipende principalmente dall'andamento climatico stagionale. Studi condotti da Pool

et al. (1995) hanno evidenziato come il momento di maggior competizione esercitata dalla presenza del cotico erboso sulla crescita dei germogli sia nel periodo successivo alla fioritura quando le esigenze idriche della pianta risultano più elevate poiché avvengono contemporaneamente processi di sviluppo dell'apparato vegetativo, radicale e di crescita degli acini.

La riduzione della produzione di uva (Silvestroni et al. 1999, Celette et al., 2005, l.c.) rilevata in viti gestite mediante inerbimento del suolo viene generalmente compensata da un suo miglioramento qualitativo (maturazione anticipata, grado zuccherino più elevato), sebbene in misura variabile a seconda delle caratteristiche del vigneto, del tipo di inerbimento e della piovosità: il verificarsi di piogge estive in qualche annata può uniformare infatti le condizioni in cui avviene la maturazione, riducendo così gli effetti positivi sopraelencati (Scalabrelli et al., 1999).

Alcuni studi riportano come la gestione del suolo vada ad influire sulle caratteristiche dei vini, in particolare sugli aspetti aromatici, sul contenuto di polifenoli e di azoto prontamente assimilabile a disposizione dei lieviti e quindi sulle sue caratteristiche sensoriali. Una sperimentazione condotta su Sangiovese nella zona del Brunello di Montalcino, ha messo in evidenza un maggior contenuto in polifenoli in vini ottenuti da viti gestite mediante inerbimento (specialmente con *Festuca rubra*) rispetto a quelle gestite mediante lavorazione del suolo (Bertuccioli et. al., 1997 in Scalabrelli et al., 1999, l.c.). Tuttavia in taluni casi, specialmente in varietà a frutto bianco, la competizione del cotico erboso può comportare una eccessiva riduzione della nutrizione azotata che porta ad una diminuzione nei mosti della presenza degli aromi e una difficoltà dei lieviti a terminare la fermentazione a causa della bassa concentrazione di azoto prontamente assimilabile (Colugnati et al., 2006).

La gestione del prato nell'interfilare del vigneto prevede generalmente sfalci periodici nel periodo primaverile estivo, in media da 2 a 4 (Intrieri et al., 2002), o occasionali interventi di disseccamento al fine di ridurre i consumi idrici. Indagini effettuate da Pool et al. (1995, l.c.) hanno rilevato come lo sfalcio non sempre comporti una riduzione del tasso di evapotraspirazione del prato in quantità tale da giustificare un suo uso nell'ottica di un risparmio della risorsa acqua nella gestione del vigneto. Inoltre, da questa ricerca non sono emerse differenze statisticamente significative sugli effetti indotti dalle due differenti gestioni del prato nell'interfilare, sfalciato e non sfalciato, sui parametri vegetativi e produttivi della vite.

L'inerbimento risulta una modalità di gestione del suolo raccomandata in aree viticole caratterizzate da climi temperati, da una buona disponibilità idrica del suolo e da una domanda evaporativa non elevata (es. Europa centrale). In questi casi la competizione esercitata dal cotico erboso sulle viti ha effetti positivi riducendone l'eccessiva vigoria e permettendo così alle piante di raggiungere valori più equilibrati dell'attività vegeto-produttiva. Anche in queste aree però si possono verificare periodi, seppur temporanei, in cui la domanda evaporativa supera la disponibilità idrica del suolo e, in questi casi, la presenza del prato potrebbe favorire lo sviluppo di stress idrici delle viti (Lopes et al., 2004).

In aree viticole caratterizzate da lunghi periodi estivi siccitosi, come ad esempio quelle centro-meridionali del nostro Paese, l'applicazione dell'inerbimento presenta il rischio di un'eccessiva competizione idrica nei confronti della vite con eventuali conseguenze negative sul suo comportamento vegetativo e produttivo. In queste situazioni, si può ricorrere a tecniche di gestione del suolo che sfruttino i vantaggi apportati dal cotico erboso riducendone al minimo gli effetti negativi causati soprattutto da un'eventuale mancanza di acqua e azoto. Ad esempio in tali zone si potrebbe ricorrere ad un inerbimento a file alterne (figura 5) o ad un inerbimento temporaneo effettuato nel periodo autunno-invernale, all'uso di essenze erbacee poco competitive, che entrino in dormienza durante il periodo estivo, o all'utilizzo del diserbo chimico per disseccare la coltura erbacea al momento opportuno.



Figura 5 - Inerbimento a file alterne (foto Intrieri).

1.3. INCIDENZA DEI CONSUMI IDRICI DEL SUOLO INERBITO NELLA DETERMINAZIONE DELL'EVAPO-TRASPIRAZIONE TOTALE DEL VIGNETO

In relazione ai cambiamenti climatici che si stanno verificando, ed in particolare al surriscaldamento della crosta terrestre, anche per la vite si porrà in futuro, con frequenza crescente, il problema di dovere integrare con l'irrigazione gli apporti idrici naturali (Poni, 2004). Al fine di poter razionalizzare gli interventi irrigui è importante conoscere i consumi idrici totali del vigneto, dati dalla somma delle perdite di acqua per traspirazione dalla vite e dalle essenze erbacee eventualmente consociate e per evaporazione dal suolo. In assenza di fenomeni di scorrimento superficiale l'acqua immagazzinata nel suolo in seguito ad eventi piovosi o irrigui viene infatti persa per percolazione profonda o per evapo-traspirazione (figura 6).

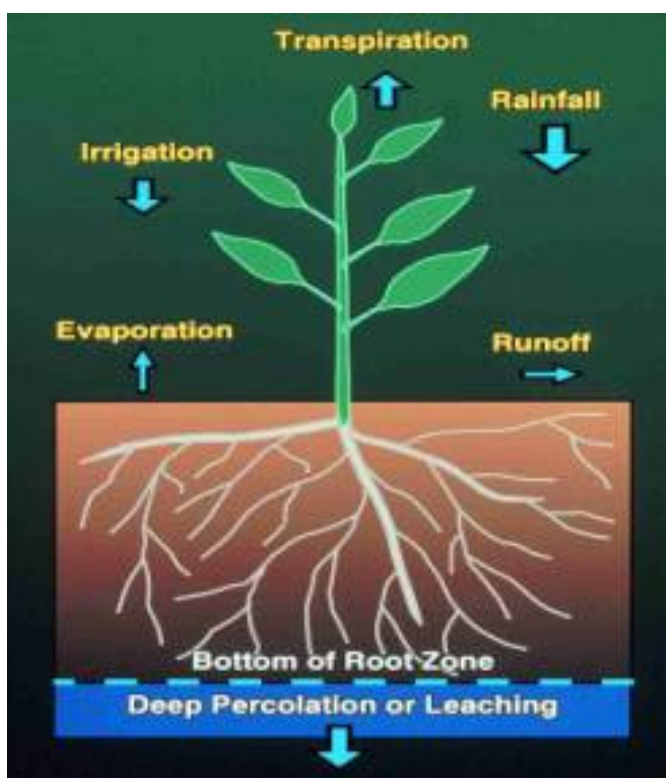


Figura6- bilancio idrico del suolo a livello dell'apparato radicale delle piante

I consumi idrici del suolo nudo e soprattutto di quello inerbito, consociato al vigneto, sono stati in passato poco studiati poiché rappresentano esclusivamente delle “perdite” e non contribuiscono a migliorare l’efficienza d’uso dell’acqua della vite. Tuttavia il loro peso nel calcolo dell’evapo-traspirazione totale del vigneto può assumere valori elevati, soprattutto in relazione alle caratteristiche della chioma della vite.

A tal proposito le distanze di impianto ed i sistemi di allevamento utilizzati influenzano la quantità di radiazione a disposizione del suolo nudo o inerbito per i processi evapo-traspirativi. Ad esempio in vigneti orientati Nord- Sud con chiome “vincolate” in parete, nel corso delle ore centrali della giornata, quando i raggi del sole sono pressoché ortogonali al piano terrestre, una quota considerevole di radiazione è perduta direttamente al suolo e non contribuisce alla perdita traspiratoria della vite (Poni et al., 1999). Inoltre a parità di sistema di allevamento, le diverse distanze di impianto possono influire sul livello di copertura fogliare del terreno da parte delle piante.

Uno studio condotto da Heilman et al. (1996) ha messo in evidenza come l’incidenza dell’evaporazione del suolo sui consumi idrici totali del vigneto sia diminuita da un anno al successivo, passando da una percentuale del 44-68% ad una del 16-19%, in relazione al cambiamento di gestione delle chiome delle viti, ristrette in fili di contenimento (LAI = 0.9) nella prima stagione e lasciate libere di crescere (LAI = 1.4) nella seconda.

Numerosi sono i fattori che insieme alla radiazione possono incidere sui consumi idrici del suolo inerbito consociato al vigneto tra cui la disponibilità idrica del suolo e la profondità di radicazione dell’apparato radicale della specie erbacea utilizzata.

Fino ad oggi pochi studi hanno preso in considerazione in maniera separata i consumi idrici di tutte le componenti (vite, suolo ed essenze erbacee) che determinano l’ecosistema vigneto, specialmente in quelli gestiti mediante inerbimento del suolo. Molte ricerche effettuate in passato si sono infatti concentrate esclusivamente sullo studio delle perdite di acqua per traspirazione dalla vite.

A tal proposito va citato uno studio condotto da Yunusa et al. (1997) in un vigneto irrigato durante due stagioni vegetative, in cui la traspirazione della vite è stata monitorata mediante sensori di sap - flow, quella del cotico erboso ricavata da misure mini-lisimetriche e l’evaporazione del suolo calcolata come differenza tra l’evapo-traspirazione potenziale e le componenti misurate. I risultati ottenuti in tali indagini hanno messo in evidenza come le viti,

allevate a contropalliera, contribuiscano, durante tutta la stagione vegetativa, per il 18- 19% all'evapo-traspirazione totale, mentre il prato (essenza erbacea *Lolium perenne*), che rimane verde solo per un periodo di tempo limitato (3-5 mesi), per un 33% ed il suolo per il restante 49%.

In indagini svolte da Lopes et al. (2004, l.c.) in un vigneto adulto di Riesling allevato a Guyot in prossimità di Geisenheim, la traspirazione delle principali essenze erbacee seminate ed infestanti presenti nell'interfilare è stata monitorata nell'arco di due giornate usando una strumentazione portatile dotata di un analizzatore a gas all'infrarosso (LC4-ADC) e confrontata con quella delle viti misurata contemporaneamente mediante sensori sap-flow (tabella 1). Da questo studio è emerso che solo la *Festuca rubra* ha dei consumi idrici simili a quelli della vite, mentre le altre hanno valori di traspirazione superiori.

Tabella 1 - In tabella sono riportati per 2 essenze erbacee seminate (indicate in carattere corsivo) e per 4 specie erbacee infestanti i valori giornalieri integrali di traspirazione tra le ore 8 e le 18 (ΣE), l'indice di area fogliare (LAI) e il contributo potenziale di ciascuna specie all'evapo-traspirazione se la loro copertura del suolo fosse del 100%. I dati sono confrontati con quelli di traspirazione della vite misurata utilizzando i sensori di sap-flow in un vigneto a Geisenheim il 15, 22 agosto 2001 (Riadattata da Lopes et al, 2004)

Specie	18h ΣE 8h (1 m ⁻² Area fogliare)	LAI (m ² m ⁻²)	Traspirazione per m ² di suolo al giorno (mm gg ⁻¹)
<i>Medicago lupulina</i>	1.94	1.28	2.48
<i>Festuca rubra</i>	0.60	1.18	0.71
Chenopodium album	2.93	0.76	2.21
Cirsium arvense	1.74	1.22	2.12
Malva neglecta	4.79	0.93	4.45
Taraxacum officinale	2.08	1.38	2.48
VITE	0.46	2.31	0.89

Gli studi finora effettuati testimoniano quindi nel caso di vigneti con piante allevate a contropalliera, forma di allevamento comunemente usata in impianti commerciali, che i consumi idrici del suolo inerbito hanno un'elevata incidenza nella valutazione delle perdite idriche totali.

1.4. DETERMINAZIONE DELL'EVAPO-TRASPIRAZIONE DEL SUOLO INERBITO PER VIA INDIRETTA (EQUAZIONE DI PENMAN-MONTEITH)

In condizioni di buona disponibilità idrica del suolo l'evapo-traspirazione può essere valutata in maniera indiretta partendo dalla determinazione dei parametri climatici che guidano la domanda evaporativa rappresentati dalla radiazione solare, la temperatura, l'umidità dell'aria e la velocità del vento. La radiazione solare e, in maniera minore, la temperatura dell'aria forniscono l'energia necessaria per il passaggio delle molecole di acqua da liquido a vapore; la forza con cui il vapor acqueo viene rimosso dalla superficie evaporante è determinata dalla differenza della pressione di vapore, dipendente dalla temperatura e dall'umidità dell'aria, tra tale superficie e l'atmosfera. Infine, al procedere dell'evaporazione l'aria tende a diventare progressivamente satura determinando così una riduzione dei flussi idrici fino ad un loro completo annullamento, se tali strati di aria non vengono rimossi dal vento e sostituiti con altri più secchi (Allen et al., 1998).

Numerosi modelli più o meno empirici si sono sviluppati nel corso degli ultimi 50 anni per cercare di stimare l'evapo-traspirazione partendo dalla misura delle variabili climatiche coinvolte in questo processo; molti di questi sono stati calibrati con riferimento a condizioni locali e spesso non possono essere usati a livello globale.

La necessità di disporre di un modello unico utilizzabile prontamente dagli operatori, nelle diverse situazioni e per le diverse specie vegetali, ha portato un gruppo di esperti della FAO, a seguito di una considerevole mole di studi condotti in anni recenti nelle più diverse condizioni ambientali, a raccomandare l'uso dell'equazione di Penman-Monteith come modello di riferimento per il calcolo dell'evapo-traspirazione: tale equazione esprime il potere evapo-traspirativo dell'atmosfera su di una coltura di riferimento, rappresentata da un prato in condizioni idriche del suolo non limitanti.

Il modello proposto da Monteith (1998) (equazione 1) tiene in considerazione sia l'equazione termodinamica del bilancio energetico che quella aerodinamica basata sul trasferimento di calore ed introduce, rispetto all'originaria formula di Penman (1948) i termini di resistenza del manto vegetale (r_s) e di resistenza aerodinamica (r_a). I complessi meccanismi che controllano la diffusione del vapore acqueo nell'aria vengono qui semplificati assumendo che nel

passaggio dalla cavità sottostomatica alla superficie fogliare e poi all'atmosfera, il vapore acqueo incontra due resistenze, che operano in serie (r_s ed r_a).

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (\text{equazione 1})$$

λET : flusso evapo-traspirativo [MJ m⁻² d⁻¹]

Δ : pendenza che esprime la tensione di vapore saturo in funzione della temperatura [kPa °C⁻¹]

R_n : radiazione netta [MJ m⁻² d⁻¹]

G : flusso di calore nel suolo [MJ m⁻² d⁻¹]

ρ_a : densità media dell'aria [Kg m⁻³]

c_p : calore specifico dell'aria a pressione costante [KJ Kg⁻¹ °C⁻¹]

e_s : tensione di vapore saturo [KPa]

e_a : tensione di vapore dell'aria [KPa]

r_a : resistenza aerodinamica al flusso di vapore [s m⁻¹]

r_s : resistenza del manto vegetale al flusso di vapore [s m⁻¹]

λ : il calore latente di evapo-traspirazione [MJ Kg⁻¹]

γ : la costante psicrometrica [KPa °C⁻¹]

Al fine di poter utilizzare l'equazione di Penman-Monteith quale standard nella stima dell'evapo-traspirazione, gli esperti della FAO hanno definito le caratteristiche geometriche, morfologiche e fisiologiche della coltura di riferimento, stabilendo a priori i valori da utilizzare per r_s e r_a .

Esplicitando tutte le costanti, l'equazione per il calcolo dell'evapo-traspirazione di riferimento (equazione 2) assume, su scala giornaliera, la seguente forma:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (\text{equazione 2})$$

T : temperatura media dell'aria

u : intensità media della velocità del vento

La determinazione dell'evapo-traspirazione di riferimento fornisce quindi un metodo di facile utilizzo per determinare i processi evapo-traspirativi di una superficie vegetale, in quanto richiede la misura o la stima di comuni parametri climatici quali la radiazione netta, la temperatura, l'umidità relativa dell'aria e l'intensità del vento (figura 7).

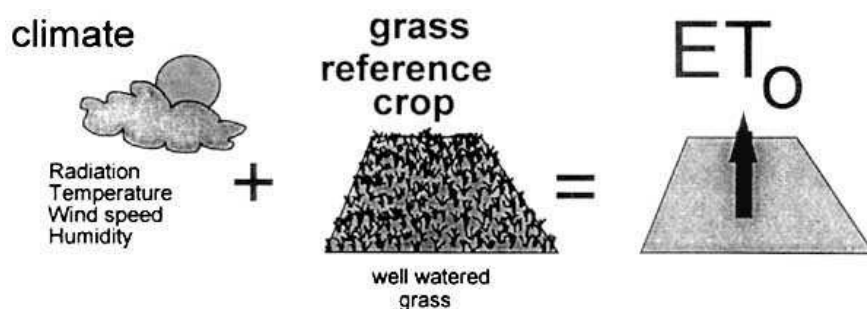


Figura 7 – Evapo-traspirazione di riferimento (da Allen, 1998)

L'affidabilità delle valutazioni effettuate con l'equazione di Penman – Monteith in gran parte dipende dalla similarità dei valori della resistenza del manto vegetale e aerodinamica, introdotti nella formula come costanti, con quelli della coltura presa in esame.

L'utilizzo dell'evapo-traspirazione di riferimento, seppur con l'uso di appositi coefficienti colturali per determinare i consumi idrici di colture con caratteristiche geometriche e morfologiche diverse da quelle del prato per cui è stato messo a punto, è tuttora soggetto a diverse critiche (Dragoni et al., 2006). Infatti chiome discontinue, come quelle degli alberi, rappresentano una superficie irregolare che, favorendo un buon rimescolamento dell'aria circostante, oppongono una bassa resistenza aerodinamica ai processi traspirativi e comunque inferiore a quella di piante che ricoprono in maniera uniforme il terreno (McNaughton and Jarvis, 1983).

Tale modello, nonostante alcune sue limitazioni, rimane uno dei metodi più largamente usati per valutare in maniera indiretta i consumi idrici di una coltura, specialmente nel caso di colture erbacee (caso del un suolo inerbito).

1.5. METODOLOGIE UTILIZZABILI IN UN VIGNETO INERBITO PER LA DETERMINAZIONE DIRETTA DELL'EVAPO-TRASPIRAZIONE DI UN SUOLO

Misurare in maniera diretta e con un buon livello di precisione i consumi idrici del suolo inerbito non risulta una operazione facile. In studi condotti in un frutteto o nello specifico in un vigneto, la valutazione dell'evapo-traspirazione del prato utilizzando misurazioni di umidità del suolo non è consigliabile in quanto risulta difficile separare e determinare con precisione la zona di terreno occupata dall'apparato radicale delle due specie (arborea ed erbacea). Inoltre, la ridotta superficie di suolo presente tra i filari delle piante impone ulteriori limitazioni spaziali nella scelta della metodologia da usare.

Limitate sono le informazioni disponibili in bibliografia su indagini effettuate allo scopo di valutare direttamente i consumi idrici del suolo inerbito nel vigneto. A tal proposito va citato uno studio eseguito da Yunusa et al. (1997, l.c.) in cui le perdite idriche del prato nell'interfilare del vigneto sono state misurate usando un metodo gravimetrico basato sull'utilizzo di mini-lisimetri. Tale metodologia è stata anche impiegata in studi per monitorare l'evaporazione del suolo nudo (Yunusa et al., 1993; Bonachela et al., 1998; Trambouze et al., 1998).

Lopes et al. (2004, l.c.) hanno determinato la traspirazione di essenze erbacee presenti nel vigneto posizionando alcune lamine del cotico erboso all'interno di una camera fogliare, generalmente utilizzata per monitorare gli scambi gassosi di foglie di vite, collegata ad un analizzatore a gas all'infrarosso (LC4-ADC).

Di seguito è riportata una descrizione di due approcci metodologici ritenuti, per le loro caratteristiche peculiari, idonei alla misurazione dei consumi idrici del suolo inerbito consociato al vigneto.

Mini-lisimetri

I mini-lisimetri rappresentano l'alternativa più diffusa ai lisimetri, rispetto ai quali si presentano come una tecnica più economica e adattabile a valutare i consumi evapo-traspirativi di superfici vegetali non estese (Boast e Robertson, 1982). Essi sono costituiti da contenitori di ridotte dimensione, inseriti nel terreno, e riempiti con un campione di suolo (figura 8). I consumi idrici del suolo nudo o inerbito presente in tali recipienti sono direttamente determinati per via

gravimetrica, mediante cambiamenti di massa tra una pesata e l'altra. Per attribuire tali cambiamenti esclusivamente a fenomeni evapo-traspirativi e non a percolazione delle acque è necessario, in seguito ad un evento piovoso o irriguo, aspettare almeno ventiquattro ore prima di pesare i mini-lisimetri per assicurarsi che le perdite idriche per drenaggio siano nulle.

I mini-lisimetri possono avere dimensione variabile (in genere 0.1-0.3 m di diametro e 0.15-0.4 m di altezza) ed essere fabbricati con differenti materiali (plastica, acciaio). Indagini effettuate da Evett et al. (1995) hanno messo in evidenza come l'utilizzo di contenitori in materiale plastico (PVC) sia consigliabile rispetto a quelli in acciaio per minimizzare le differenze di temperatura del suolo tra l'interno e l'esterno del mini-lisimetro.

Per la loro realizzazione si può procedere in diverso modo; ad esempio, al fine di ottenere un blocco di terreno indisturbato, si può inserire direttamente nel suolo un tubo in PVC o in altro materiale, la cui parte basale viene successivamente chiusa con una rete metallica per consentire il drenaggio dell'acqua. In alternativa si può trapiantare una zolla di terra all'interno di un contenitore (ad esempio un vaso); in tal caso è opportuno aspettare alcune settimane prima di cominciare gli esperimenti per dare il tempo al suolo di assestarsi all'interno del recipiente (Bremer et al, 2003).

Diverse ricerche in passato si sono avvalse dell'uso dei mini-lisimetri per indagini di confronto tra i consumi idrici di differenti gestioni del suolo (Pool et al., 1995, l.c.) e di diverse essenze erbacee in buone condizioni idriche (Aronson et al., 1987) ed inoltre per studiare l'influenza che fattori ambientali e colturali hanno sui fenomeni evapo-traspirativi del suolo inerbito (Feldhake et al., 1983, 1985).

Stabilire se le informazioni ottenute con i mini-lisimetri siano o meno rappresentative dell'evaporazione o evapo-traspirazione del suolo nudo o inerbito dell'intero campo oggetto di studio risulta una questione più difficile da stabilire. È necessario tenere in considerazione una combinazione di fattori tra cui l'iniziale contenuto idrico del suolo, l'entità della domanda evaporativa, le caratteristiche idrauliche del terreno, la lunghezza dei contenitori usata e la frequenza delle piogge. Inoltre, qualora i mini-lisimetri vengano usati per studi su essenze erbacee, è importante che la vegetazione all'interno di tali contenitori sia rappresentativa di quella esterna specialmente in termini di superficie fogliare, densità e composizione floristica (Bremer et al., 2003).

In uno studio effettuato da Yunusa et al. (1993), i mini-lisimetri usati per valutare la evaporazione del suolo in un campo di grano erano sostituiti, con una frequenza di due o tre giorni, con degli altri nuovi preparati di volta in volta per essere certi che le misure così ottenute fossero rappresentative di quelle del suolo esterno.

Bonachela et al. (1999, l.c.) hanno installato 18 mini-lisimetri di dimensioni ridotte (0.11 m di diametro e 0.15 m di altezza) all'interno di un lisimetro di 6 m² di superficie, utilizzato come riferimento. Le misure di evaporazione del suolo ottenute per via gravimetrica usando i mini-lisimetri sono state confrontate con quelle lisimetriche nei 14 giorni successivi un intervento irriguo. I risultati conseguiti non hanno evidenziato significative differenze tra i valori ottenuti con i due metodi rendendo così possibile l'utilizzo dei mini-lisimetri per monitorare l'evaporazione del suolo in un oliveto per un periodo continuativo di due settimane circa.

Trambouze et al. (1998) hanno utilizzato il metodo mini-lisimetrico per valutare l'evaporazione del suolo nudo in un vigneto durante il periodo estivo. Le misure mini-lisimetriche ottenute sono state considerate rappresentative di quelle della restante parte del vigneto sulla base di simili valori di umidità dei primi 25 cm di terreno, monitorati all'interno e all'esterno dei contenitori per l'intera durata delle indagini. Secondo gli autori la concordanza di tali misurazioni è spiegata dal fatto che, in seguito alla scarsità di eventi piovosi, i valori di umidità del suolo sono rimasti bassi nel corso di tutta la stagione: la quasi totale assenza di flussi idrici nel terreno avrebbe quindi reso le condizioni in cui si trovava il suolo presente in un sistema di tipo indisturbato simili a quelle del suolo presente in un sistema di tipo semichiuso rappresentato dai mini-lisimetri.

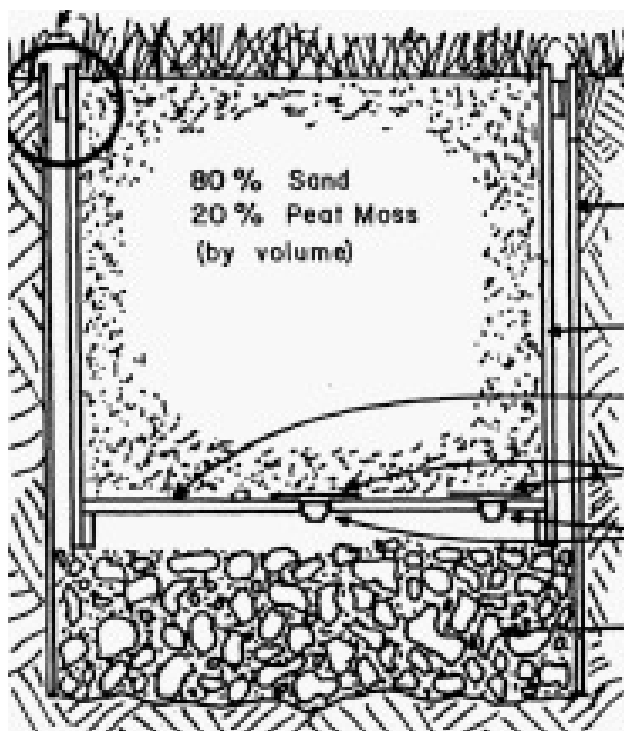


Figura 8- Rappresentazione schematica di un mini-lisimetro costituito da un contenitore plastico inserito nel terreno e riempito con una zolla di suolo inerbita. Nella parte basale del mini-lisimetro si possono osservare dei fori per lo sgorgo delle acque (Da Feldhake et al., 1983).

Camere ventilate

La valutazione dell'acqua persa da un suolo inerbito mediante tale approccio metodologico si basa essenzialmente sulla misurazione della variazione di vapore acqueo di un flusso di aria in entrata ed uscita da una camera, per mezzo di un analizzatore di gas all'infrarosso o di psicrometri collegati allo strumento (figura 9).

L'idea di poter monitorare gli scambi gassosi di una pianta inserendola in un involucro di grosse dimensioni non è recente, la costruzione delle prime camere rigide risale infatti al 1936 (Heincke e Chiders, 1936 in Intriери e Poni, 1998); una camera realizzata con materiale plastico e collegata ad un analizzatore di gas all'infrarosso è stata utilizzata da Sirois e Cooper (1964) per misurare i flussi di anidride carbonica nel melo. Il maggior interesse verso tale strumentazione si è avuto nelle scorse decadi con l'utilizzo di tale approccio per misurare gli scambi gassosi (in termini di CO_2 assimilata e H_2O persa) di numerose specie vegetali, sia erbacee (Grau 1995,

Dugas et al., 1997, McLeod et al. 2004, Burkart et al. 2007, Balogh et al. 2007) che arboree, come il melo (Corelli e Magnanini, 1993) e la vite (Poni et al. 1997).

Le camere ventilate possono essere utilizzate come sistema chiuso (Grau, 1995, l.c.; Dugas et al., 1997, l.c.; McLeod et al., 2004, l.c.) o aperto (Garcia et al., 1990, Corelli e Magnanini 1993, l.c.; Poni et al., 1997, l.c.; Balogh et al. 2007, l.c.). Nel primo caso la durata delle misure deve essere molto breve, dell'ordine di secondi, a causa del progressivo aumento della concentrazione del vapore acqueo che si determina all'interno dell'involucro. L'utilizzo della camera come sistema aperto permette invece di effettuare misurazioni in continuo per lunghi periodi di tempo, giorni o settimane, determinando però una modifica prolungata delle naturali condizioni ambientali, oltre a richiedere l'impiego di maggiori tecnologie e la necessità di misurare il flusso di aria utilizzato.

Una critica rivolta all'uso di tale metodologia per determinare i consumi idrici di una coltura vegetale riguarda la modifica delle condizioni ambientali, in particolare radiazione, temperatura e differenza di pressione di vapore, che si verifica includendo una pianta in un sistema artificiale e che può determinare una discordanza dei flussi traspirativi così misurati rispetto ai reali. Il materiale plastico che costituisce le pareti della camera deve avere un'elevata trasparenza alla luce (trasmissione) e alterare il meno possibile lo spettro luminoso nella regione compresa tra 300 e 1100 nm e, inoltre, deve poter lasciar fuoriuscire verso l'atmosfera buona parte delle radiazioni di elevata lunghezza d'onda, evitando un eccessivo riscaldamento dell'involucro e del suo contenuto (Intrieri e Poni, 1998, l.c.). I materiali più comunemente usati (plexiglas, polietilene, Mylar, etc.) determinano un'attenuazione della radiazione, in particolare di quella nella regione del visibile (Pickering et al., 1993; Steduto et al., 2002; Balogh et al., 2007, l.c.), del 10-20% rispetto all'ambiente esterno; in tale intervallo rientra anche l'incremento della quota di radiazione diffusa (Pickering et al., 1993, l.c.; Steduto et al., 2002, l.c.; Burkart et al. 2007, l.c.) all'interno di tale involucro causata dalla rifrazione della plastica.

Il grado di surriscaldamento della camera rispetto alle condizioni esterne è controllato principalmente dalla portata del flusso di aria, oltre a dipendere dall'intensità della radiazione, e dalla quantità di area fogliare traspirante della coltura (Burkart et al., 2007, l.c.). Indagini condotte da Poni et al. (1999, l.c.) su una chioma di vite di 14 m² di area fogliare hanno rilevato come un incremento della velocità del flusso da 30 a 40 e a 47.5 l s⁻¹ determini una riduzione del differenziale di temperatura registrato all'ingresso e all'uscita della camera da 5.1 a 3.2 e a 2°C.

La portata del flusso deve essere inoltre regolata in maniera tale da consentire una buona miscelazione dell'aria all'interno della camera e da determinare valori della resistenza dello strato di confine, a livello della superficie fogliare, non limitanti per i processi traspirativi (Intrieri e Poni, 1998, l.c.). Infine la scelta del flusso da utilizzare deve tener in considerazione la proporzionalità inversa che esiste tra la velocità dell'aria e l'ampiezza del differenziale tra il vapor acqueo in ingresso e quello in uscita dalla camera. Un flusso troppo elevato che transita molto velocemente all'interno del sistema determina differenziali di vapor acqueo molto ridotti che, in particolare in studi di tipo comparativo, non permettono di evidenziare differenze di ridotte dimensioni tra i trattamenti (Intrieri e Poni, 1998, l.c.). Al contrario, flussi troppo bassi stazionano molto a lungo nella camera determinando aumenti elevati dell'umidità al suo interno.

Un aspetto importante da considerare risulta quindi l'identificazione del flusso di lavoro "ottimale", calibrato di volta in volta in funzione delle condizioni in cui si opera, oltre che la sua accurata misurazione nel caso in cui la camera venga utilizzata come sistema aperto: errori nella sua determinazione si possono riflettere in quelli della stima dell'acqua evapotraspirata.

Diversi studi hanno valutato l'affidabilità delle misurazioni ottenute con il metodo della camera mediante confronto con quelle realizzate usando altri approcci metodologici, quali ad esempio il bilancio energetico e l'eddy-covariance. Tali ricerche si riferiscono all'uso della camera come sistema chiuso ed in alcuni casi hanno evidenziato una stretta relazione tra i consumi idrici giornalieri valutati con tale metodo e gli altri analizzati rilevando differenze inferiori al 10% (Pickering et al., 1993, l.c.; Steduto et al., 2002, l.c.; Mc Leod et al., 2004, l.c.). D'altra parte altri studi hanno evidenziato come i flussi idrici misurati mediante l'approccio metodologico della camera tendano a essere sostanzialmente maggiori di quelli ottenuti utilizzando altre tecniche, raggiungendo anche differenze del 53% con il metodo del bilancio energetico (Bowen ratio) (Dugas et al., 1997, l.c.) e del 26% (Standard e Wertz, 2006) con l'eddy-correlation. Un esperimento condotto da Grau (1995, l.c.) ha rilevato una sovrastima delle misure di evapotraspirazione effettuate con la camera su piante in vaso di circa il 25% rispetto a quelle ottenute per via gravimetrica, pur evidenziando una buona correlazione tra i valori ottenuti.

Riassumendo varie ricerche hanno messo in evidenza come i consumi idrici di una coltura o di una superficie vegetale misurati includendola in un involucro in plastica siano tendenzialmente maggiori di quelli valutati con altre metodologie, anche se l'entità di queste differenze varia a seconda delle condizioni di lavoro, con particolare riferimento alle caratteristiche della camera e

del flusso utilizzati. Gli autori generalmente attribuiscono tali differenze riscontrate ad una condizione di ventosità all'interno del sistema superiore rispetto a quella presente nell'ambiente esterno che determinerebbe un incremento del naturale deficit di pressione di vapore e della conduttanza dello strato di confine (boundary layer). A tal proposito alcune ricerche hanno verificato una relazione positiva tra la velocità dell'aria insufflata nella camera e i flussi di acqua misurati (Dugas et al., 1997, l.c.; Heijmans et al., 2004; Mc Loed et al., 2004, l.c.). In tutti gli esperimenti il livello di correlazione delle misure effettuate con la camera con quelle conseguite con gli altri metodi è risultato comunque elevato, non dimenticando inoltre che anche questi ultimi sono affetti da un certo margine di errore.



Figura 9- Serie di camere con differente area basale ($4.5306—0.0044 \text{ m}^2$) e diametro (240.0–7.5 cm) in ordine da sinistra a destra (Da Czobel et a., 2005)

2. SCOPO DELLA TESI

Tenuto conto di quanto è emerso dalla letteratura internazionale relativamente alla crescente importanza che sta assumendo la gestione delle risorse idriche nella viticoltura da vino, anche in considerazione dei cambiamenti climatici in atto, si è ritenuto opportuno avviare questa ricerca con l'obiettivo primario di acquisire una maggiore conoscenza riguardo ai consumi idrici del prato consociato al vigneto. L'inerbimento, come riportato nel capitolo introduttivo, si impone in molti casi come scelta ormai prioritaria per ciò che riguarda almeno la gestione dell'interfilare (ciò sia per abbattere i costi di produzione puntando su una meccanizzazione integrale, sia per mantenere l'“ecosistema” vigneto in equilibrio) e, nel merito, limitate e a volte contrastanti sono le informazioni riguardanti i consumi idrici del cotico erboso, così come scarse sono le indicazioni sugli approcci metodologici utilizzabili per determinarli.

Alla luce di quanto premesso il lavoro di tesi è stato suddiviso in tre punti operativi di seguito riassunti:

a) la ricerca ha previsto una parte prettamente metodologica volta a determinare l'attendibilità di due approcci utilizzabili per lo studio dei consumi idrici del prato nel vigneto. A tale scopo gli esperimenti eseguiti sono stati finalizzati alla validazione dei due metodi di valutazione diretta scelti (mini-lisimetri e camera) e al loro confronto. Ad integrazione di queste due tecniche, l'evapo-traspirazione potenziale del cotico è stata stimata utilizzando l'equazione di Penman-Monteith, che come precedentemente riportato, rappresenta il modello raccomandato dagli esperti della FAO (Allen et al., 1998, l.c.) per la determinazione, in condizioni di buona disponibilità idrica del suolo, dei consumi idrici di una coltura;

b) la ricerca ha voluto analizzare la relazione esistente tra i consumi idrici del prato nel vigneto e i parametri climatici che guidano la domanda evaporativa (in particolare radiazione e deficit di pressione di vapore) per valutare la possibilità di determinare in maniera indiretta, in condizioni di disponibilità idrica del suolo non limitante, l'evapo-traspirazione del suolo inerbito partendo dalla misurazioni di tali parametri. A tale scopo, in relazione all'ombreggiamento esercitato dalle viti nell'interfilare, fondamentale risulta la misurazione della radiazione a disposizione del suolo inerbito per i processi evapo-traspirativi;

c) la ricerca ha inteso affrontare anche una problematica di tipo applicativo legata alla valutazione degli effetti dello sfalcio nel ridurre i consumi idrici del prato. Come è stato accennato nel capitolo introduttivo della tesi, tale pratica culturale è largamente usata per la gestione del cotico erboso nell'interfilare del vigneto, ma dati reperibili in letteratura relativamente all'entità della riduzione del tasso di evapo-traspirazione del suolo inerbito in seguito all'asportazione di biomassa fogliare sono molto limitati e fanno riferimento ad un unico lavoro pubblicato da Pool e Lakso nel 1995. All'interno di tale punto operativo sono state condotte indagini di confronto tra i consumi idrici del suolo inerbito e lavorato. In ambienti viticoli caldo aridi l'introduzione dell'inerbimento è limitata poiché potrebbe esercitare una eccessiva competizione idrica nei confronti della vite. Fino ad oggi sono però limitate le informazioni relative alle differenze tra i consumi idrici di un interfilare gestito mediante lavorazione del suolo e di uno gestito mediante inerbimento.

3. MATERIALI E METODI

Sulla base di quanto riportato relativamente allo scopo della tesi questo capitolo è stato suddiviso in funzione dei tre principali punti operativi della ricerca.

Prima di entrare nella loro trattazione specifica si è ritenuto necessario fornire una descrizione delle caratteristiche e dei principi di funzionamento delle due tecniche (mini-lisimetri e camera) usate per valutare in maniera diretta i consumi idrici del suolo inerbito e nudo consociato al vigneto nelle indagini effettuate all'interno dei tre punti operativi.

3.1. REALIZZAZIONE ED IMPIEGO DI “MINI-LISIMETRI”

I mini-lisimetri sono stati realizzati trapiantando zolle di terreno inerbite (essenza erbacea *Festuca arundinacea*), prelevate dall'interfilare del vigneto, in dei vasi in plastica di seguito collocati in corrispondenza delle buche scavate per l'asportazione del suolo (figura 10). La loro installazione è stata seguita da un intervento di irrigazione per facilitare l'assestamento della zolla nel vaso.

I contenitori (20cm di diametro e 40cm di altezza nel 2006 e 25cm di diametro e di altezza nel 2007) erano provvisti di appigli (cinghie in stoffa) per facilitarne l'estrazione dal suolo durante le pesate e di fori nella parte basale per la percolazione dell'acqua. Prima della loro messa a dimora, in ciascuna buca era stato collocato e lasciato per tutta la durata delle indagini un secondo vaso vuoto delle medesime dimensioni, in modo da evitare cedimenti del terreno circostante e favorire la collocazione e l'estrazione del mini-lisimetro dal suolo durante le pesate. Inoltre un mattone forato è stato posizionato sul fondo del contenitore esterno così da creare uno spessore utile ad ovviare eventuali problemi di ristagno idrico del suolo presente nel contenitore interno.

Le perdite idriche del suolo inerbito presente in ogni vaso sono state determinate direttamente per via gravimetrica, mediante i suoi cambiamenti di massa tra una pesata e l'altra. Tali cambiamenti sono attribuibili esclusivamente a fenomeni di evapo-traspirazione e non di percolazione delle acque in quanto, prima di effettuare la pesata iniziale, si attendeva che il terreno bagnato si fosse riportato alla capacità di campo, cioè che non vi fosse più percolazione sul fondo del vaso esterno. I valori così ottenuti sono stati poi riportati ad un'unità di superficie

(1m²) di suolo ed espressi in mm. La bilancia utilizzata per le pesate dei vasi (Scale House modello NWL) aveva una portata massima di 30 kg ed un livello di precisione 1 grammo.



Figura 10- Mini-lisimetro realizzato utilizzando un vaso in plastica in cui è stata trapiantata una zolla di *Festuca arundinacea* var *barfelix*.

3.2. REALIZZAZIONE ED IMPIEGO DI UNA “CAMERA”

Descrizione della strumentazione

La strumentazione di base era costituita da una camera in plexiglas di forma cilindrica (Czobel et al., 2005) e di volume pari a 0.198 m^3 (60 cm di diametro e 70 cm di altezza) successivamente implementata per le prove, applicando un ventilatore ed un analizzatore di gas all'infrarosso (IRGA) (CIRAS 1- PP System - Haverhill, MA).

Il ventilatore esterno, alimentato da una corrente alternata di 220V e posizionato ad un'altezza di 10 cm dal suolo, insufflava aria ambientale all'interno della camera tramite un tubo in PVC di 15 cm di diametro. Un secondo tubo dello stesso diametro era collocato sulla parte superiore dell'involucro di plastica per permettere la fuoriuscita dell'aria (figura 11). La diminuzione della radiazione incidente all'interno della camera è stata valutata effettuando delle misurazioni con un piranometro RG030 (Silimet, Modena, Italia) all'esterno e all'interno di tale involucro ed il valore medio ottenuto, 15% , è risultato nello stesso range di quelli riportati in uno studio effettuato da Balogh et al. (2007, l.c.) con una strumentazione con caratteristiche identiche.

La camera, utilizzata come sistema aperto, una volta calata su di un suolo inerbito o lavorato, veniva collegata ad un IRGA in grado di determinare la variazione di vapore acqueo tra il flusso d'aria in uscita (analisi) ed in entrata (riferimento) dallo strumento. Tale valutazione era effettuata tramite il campionamento di una porzione di aria ambientale prelevata in prossimità del ventilatore ed indirizzata all'analizzatore di gas all'infrarosso per la misurazione della pressione di vapore acqueo atmosferico (riferimento). Una quota di aria in uscita dalla camera era campionata e indirizzata nuovamente all'IRGA per misurare gli incrementi di pressione di vapore acqueo atmosferico determinati dai processi evaporativi del suolo e traspirativi della superficie fogliare del cotico erboso inclusi al suo interno. Durante i rilievi due termometri digitali (SNAP-IN, modello FM 880L) sono stati utilizzati per monitorare la temperatura dell'aria ambientale esterna ed interna alla camera, quest'ultima misurata al centro del tubo di uscita.

La registrazione dei valori della pressione del vapore acqueo di riferimento e di analisi era effettuata automaticamente dal CIRAS ogni 20s per l'intera durata di ogni rilievo.

Tale approccio metodologico è stato utilizzato per valutare la dinamica giornaliera dei consumi idrici del suolo inerbito o nudo eseguendo rilievi della durata di 10-15 minuti durante l'arco dell'intera giornata.

Procedura per il calcolo dell'evapo-traspirazione istantanea e cumulativa giornaliera

Costanti

P: pressione atmosferica (Pa)

Dati misurati

F: portata del flusso di aria in uscita (m³/s)

T: temperatura interna alla camera (°C)

H₂O_{ref}: pressione parziale di vapore dell'acqua in ingresso (mbar)

ΔH₂O : differenziale tra la pressione di vapore dell'acqua in uscita ed in entrata (mbar)

- Calcolo del flusso molare di aria all'ingresso (F_{mol}, mol/s):

$$F_{\text{mol}} = \frac{F * P * 8.314}{273.15 + T}$$

- Calcolo del tasso di evapo-traspirazione istantaneo (ET, mmol/s):

$$ET \text{ (mmol/s)} = \frac{F * \Delta H_2O * 0.001}{(1.013 - (\Delta H_2O * 0.001 + H_2O_{\text{ref}} * 0.001)) * 1000}$$

1.013: Pressione atmosferica espressa in bar

- Determinazione del tasso di evapo-traspirazione come valore medio orario:

$$ET \text{ (mm/ora)} = 3.6 * \frac{ET \text{ (mmol/s)}}{A} * \frac{18.01}{1000}$$

A: area basale della camera (m²)

18.01: peso molecolare dell'acqua (u.m.a)

3.6: fattore per convertire g di H₂O/ m² a mm/ora.

I valori dei consumi idrici cumulativi giornalieri (mm/giorno) sono stati valutati calcolando l'area sottesa dalla curva ottenuta mettendo in relazione il valore di evapo-traspirazione (mm/ora) calcolato con la procedura riportata e l'ora del giorno in cui è stato effettuato il rilievo (McLeod et al., 2004, l.c.).



Figura11- Suolo inerbito incluso nella camera in plexiglas. In figura sono anche visibili il ventilatore e l'analizzatore di gas all'infrarosso.

3.3. CONFRONTO TRA “MINI-LISIMETRI” E “CAMERA” PER LA VALUTAZIONE DIRETTA DEL CONSUMO IDRICO DEL SUOLO INERBITO

Nell'anno 2007 sono state condotte indagini finalizzate alla verifica dell'attendibilità delle misure effettuate con i due approcci metodologici (mini-lisimetri e camera). Si è pertanto ritenuto necessario effettuare una calibrazione per via gravimetrica del sistema basato sull'uso della camera ed un'analisi dell'incidenza della portata del flusso di aria usato sull'andamento dell'evapo-traspirazione del suolo inerbito. Infine, si è proceduto ad un prova di confronto diretto tra le due metodologie (mini-lisimetri e camera), nonché ad un raffronto dei valori di evapo-traspirazione giornaliera così determinati con quelli stimati utilizzando l'equazione di Penman-Monteith.

3.3.1. Calibrazione del sistema basato sull'uso della camera

L'affidabilità delle misurazioni ottenute con il sistema basato sull'uso della camera è stata valutata ponendo in relazione i valori di evaporazione rilevati con i dati oggettivi di perdita idrica di un substrato bagnato (tessuto spugnoso) inserito nella camera e quindi pesato.

La calibrazione è avvenuta effettuando 16 misurazioni, per ognuna delle quali le perdite di acqua sono state calcolate tramite la procedura precedentemente descritta al paragrafo 3.2 e determinate oggettivamente pesando i substrati con una bilancia elettronica di precisione prima e dopo le misure. La quantità di acqua evaporata è stata espressa in entrambi i casi in grammi al secondo (g/s).

La durata dei singoli rilevamenti (10-35 minuti) ed il livello di saturazione del substrato è stato variato nel corso dell'esperimento in modo da ottenere un range di tassi evaporativi più ampio possibile. Dieci e sei misurazioni sono state effettuate usando rispettivamente flussi pari a 9.21 l/s e 21.57 l/s

3.3.2. Influenza della portata del flusso di aria sul tasso di evapo-traspirazione del suolo inerbito e sulla temperatura all'interno della camera

L'analisi dell'influenza della portata del flusso sul tasso di evapo-traspirazione del suolo inerbito è stata valutata in un esperimento condotto in un interfilare di un vigneto di Sangiovese in fase di allevamento orientato Nord-Sud, situato in località Granarolo dell'Emilia, presso l'azienda Agraria dell'Università di Bologna (per una descrizione particolareggiata si rimanda al paragrafo 3.3). Le indagini sono state eseguite effettuando quattro rilievi nell'arco di una giornata soleggiata (dalle ore 9 alle ore 18) su due parcelle di suolo inerbito (essenza erbacea *Festuca arundinacea* var. *Barfelix*) a differente stadio di crescita (circa 5 e 25 cm di altezza del cotico erboso) in condizioni di contenuto idrico del suolo, determinato mediante il metodo TDR, pari circa a 27% v/v, e quindi non limitante, considerando che la capacità idrica di campo del terreno era stata calcolata come pari a 28.3%v/v.

Per regolare il flusso del ventilatore, sempre usato alla massima potenza, sono stati utilizzati 4 differenti diaframmi, applicabili alternativamente su di esso, per ridurre in maniera più o meno intensa la quantità di aria. È stato possibile in tal modo lavorare con 5 differenti flussi, la portata di ciascun dei quali (tabella 2) è stata determinata cronometrando il tempo richiesto per gonfiare un pallone cilindrico di polietilene di volume noto (0.755m^3) collegato al tubo in uscita della camera (Giuliani et al.,1997).

Tabella 2 - In tabella sono riportati per i 5 flussi di aria utilizzati, indicati con le lettere da A, B, C, D, E, la portata (espressa in l/s) e la velocità del flusso in uscita (m/s) dalla camera ed il numero di ricircoli (cicli) del flusso stesso all'interno dell'involucro plastico (espresso come cicli al minuto).

Sigla	Portata flusso in uscita l/s	Velocità vento in uscita m/s	Ricircoli aria nella camera Cicli /min
A	58.68	3.32	17.79
B	44.41	2.51	13.46
C	26.96	1.53	8.18
D	21.57	1.22	6.54
E	9.21	0.52	2.79

Durante ciascuno dei 4 rilievi è stata insufflata aria nella camera variando la portata di flusso, ad intervalli di tempo regolari di 10 minuti, passando da un valore minimo di 9.2 l/s ad uno massimo di 58.7 l/s. Per le misure effettuate con ciascun flusso la registrazione dei valori è cominciata quando i differenziali di vapor acqueo si stabilizzavano, in genere dopo 1-2 minuti dal cambio della portata.

3.3.3. Prova di confronto tra i due metodi di valutazione diretta dei consumi idrici del prato (mini-lisimetri e camera) e raffronto con un approccio di tipo indiretto (ET_o)

La prova è stata effettuata in un interfilare di un vigneto adulto di *Vitis vinifera* cv Montepulciano innestato su SO₄ e orientato Nord-Sud, situato in località Granarolo dell'Emilia, presso l'azienda Agraria dell'Università di Bologna. Le viti erano allevate a cordone speronato con distanze di impianto di 1 m sulla fila e 2.8 m tra le file. Il vigneto era gestito mediante inerbimento interfilare con essenza erbacea *Festuca arundinacea* var. Barfelix e diserbo sottofila. Il terreno era di tipo franco (42% di sabbia, 33% di limo, 24% argilla) a pH sub-acido (5.8-6.2) e caratterizzato da un contenuto di sostanza organica e di azoto pari rispettivamente all'1.8% e all'0.8%. Le costanti idrologiche del terreno (capacità idrica di campo, punto di appassimento e acqua disponibile), riportate in tabella 3, sono state calcolate mediante il programma SPAW (<http://www.bsyse.wsu.edu/saxton/soilwater>) elaborato da Saxton et al.,1996.

Tabella 3 - Capacità idrica di campo (C.I.C.), punto di appassimento (P.A.) ed acqua disponibile (l/m³) (A.D.) tra la C.I.C. e il P.A. .

C.I.C.	28.8 % Vol
P.A.	15.5 % Vol
A.D.	133 l/m ³

Un sistema di irrigazione a pioggia è stato installato in giugno nell'interfilare del vigneto in cui si è condotto l'esperimento in modo tale da mantenere il terreno tra le file di vite in buone condizioni idriche durante la stagione estiva.

Le indagini sono iniziate in una giornata in cui l'umidità del terreno era prossima alla capacità idrica di campo e sono terminate in una in cui il prato nei mini-lisimetri cominciava a dare segni di stress idrico (arricciamento della lamina fogliare).

I consumi idrici del suolo inerbito sono stati valutati mediante il metodo della camera effettuando rilievi, della durata di 10 minuti, su tre parcelle di prato ogni ora circa nell'arco di ciascuna giornata (dalle 9 alle 18) e oggettivamente determinate per via gravimetrica mediante il metodo mini-lisimetrico pesando 3 vasi inerbiti posizionati al centro dell'interfilare (1.4m dalla fila) all'inizio ed alla fine delle indagini giornaliere. Le misure eseguite con la camera, utilizzando una portata di flusso di 9.21 l/s, sono state effettuate in prossimità dei mini-lisimetri, accertandosi che il cotico erboso preso in esame avesse le stesse caratteristiche di quello all'interno del vaso (altezza e presenza della stessa essenza erbacea).

Ad integrazione di questi due metodi di rilevazione diretta, in corrispondenza dei giorni in cui sono stati effettuati i rilievi, è stata calcolata l'evapo-traspirazione di riferimento giornaliera (ET_o) utilizzando l'equazione di Penman-Monteith proposta da Allen et al. (1998, l.c.). I parametri climatici quali la temperatura, l'umidità dell'aria e la velocità del vento sono stati misurati da una stazione meteo posta in prossimità del vigneto.

La radiazione totale media giornaliera (W/m²) introdotta nel calcolo dell'equazione di Penman-Monteith si riferisce alla reale quantità di luce a disposizione del prato nell'interfilare del vigneto in prossimità dei mini-lisimetri e della camera. Tale valore è stato determinato utilizzando le misurazioni effettuate con una barra "ceptométrica" costituita da 64 sensori luminosi (per la cui descrizione dettagliata si rimanda al punto 3.4.3.) posizionata orizzontalmente lungo l'interfilare, in direzione perpendicolare a quella dei filari. L'evapo-traspirazione di riferimento così ottenuta è stata definita "modificata" per il termine radiazione.

Le misure di contenuto idrico del terreno sono state effettuate utilizzando il metodo TDR posizionando una coppia di sonde di lunghezza 15 cm internamente a ciascun mini-lisimetro ed esternamente in corrispondenza delle superfici di suolo analizzate dalla camera. Per la validazione del dato di umidità ottenuto usando tale metodologia è stato eseguito, nello stesso vigneto, una precedente taratura con metodo gravimetrico mediante carotaggio, a diverse condizioni di umidità del suolo, di porzioni di terreno ad una profondità pari a quella di sonde di 30 cm posizionate nell'interfilare. Il contenuto idrico gravimetrico del suolo, espresso in unità di peso (g g⁻¹), è stato moltiplicato per la sua densità apparente (g cm⁻³) e quindi convertito in unità

volumetrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Una relazione lineare ($R^2= 0.87$) è stata ottenuta tra i valori di umidità del terreno rilevati con il TDR ed i reali contenuti idrici volumetrici di questo espressi come valori percentuali.

3.3.4 Analisi statistica dei dati

Relativamente alla prova di confronto tra le metodologie (paragrafo 3.3.3) per il parametro umidità del suolo e per ciascuna data di rilievo è stata eseguita un'analisi della varianza utilizzando la procedura Mixed del pacchetto statistico SAS. Il t - test è stato utilizzato per il confronto tra le medie delle due tesi (dentro il mini-lisimetro –fuori il mini-lisimetro).

3.4. STIMA DEL CONSUMO IDRICO DEL PRATO USANDO MISURE DI RADIAZIONE E DI ALTRI PARAMETRI CLIMATICI (TEMPERATURA, UMIDITÀ DELL'ARIA)

Le ricerche relative a questo punto operativo sono state condotte nel corso di due anni, in ciascuno dei quali le indagini hanno previsto la misurazione diretta dei consumi idrici del suolo inerbito e, relativamente alle giornate con disponibilità idrica del suolo non limitante, l'analisi della loro relazione con i parametri climatici che determinano la domanda evaporativa (in particolare intensità della radiazione e VPD).

In una prima serie di indagini, effettuate nel 2006 presso la Stazione Sperimentale di Geneva della Cornell University (Stato di New York), l'evapo-traspirazione dell'interfilare inerbito del vigneto è stata valutata per via gravimetrica mediante l'uso di mini-lisimetri.

In una seconda serie di indagini, effettuate nel 2007 presso i vigneti dell'Azienda Agraria sperimentale dell'Università di Bologna, oltre alla metodologia utilizzata negli Stati Uniti (mini-lisimetri), ne è stata presa in considerazione una seconda basata sull'impiego di una camera in plexiglas collegata ad un IRGA.

L'evapo-traspirazione del suolo inerbito è stata quindi valutata sia su base giornaliera mediante il metodo mini-lisimetro nel 2006 e nel 2007 sia su base oraria mediante il metodo della camera nel 2007.

3.4.1. Misurazione dei consumi idrici del suolo inerbito mediante il metodo gravimetrico (mini-lisimetri)

Le ricerche condotte nel 2006 sono state effettuate in un vigneto di *Vitis labruscana* cv. Concord della Cornell University in Geneva, NY, (42N, 77W) orientato Nord-Sud, impiantato nel 1997 e condotto lungo la fila con due differenti forme di allevamento Cordone libero alto (Single Curtain) e GDC (per entrambi il sesto d'impianto era 2,74 m tra le file e 2,44 m sulla fila). Il vigneto era gestito mediante inerbitamento tra le file, principalmente con essenza erbacea *Festuca arundinacea*, e diserbo sottofila ed il suolo, catalogato come "lima series", era di natura limo argillosa, moderatamente profondo e con buona capacità di ritenzione idrica. I vasi utilizzati come mini-lisimetri (diametro di 20cm e altezza 40cm) sono stati installati lungo un

interfilare del vigneto sia nella parte con le viti allevate a Cordone libero che in quella con le viti allevate a GDC (una descrizione dettagliata sulla procedura di installazione in campo è riportata al paragrafo 3.1.). In corrispondenza di ogni forma di allevamento sono stati collocati 15 mini-lisimetri in modo tale da avere 3 ripetizioni ognuna costituita da 5 vasi posizionati tra le file ad una distanza di circa 10cm l'uno dall'altro (figura 12). La messa a dimora dei mini-lisimetri è avvenuta in maggio.

Nel 2007 le indagini sono stata effettuate in un vigneto adulto di *Vitis vinifera* cv Montepulciano innestato su SO4 e orientato Nord-Sud, situato in località Granarolo dell'Emilia, presso l'azienda Agraria dell'Università di Bologna. Le viti erano allevate a cordone speronato con distanze di impianto di 1m sulla fila e 2.8m tra le file; il vigneto era gestito mediante inerbimento interfilare con essenza erbacea *Festuca arundinacea* var. Barfelix e diserbo sottofila. Il terreno era di tipo franco (42% di sabbia, 33% di limo, 24% argilla) a pH sub-acido (5.8-6.2) e caratterizzato da un contenuto di sostanza organica e azoto pari rispettivamente all'1.8% e all'0.8‰. Le costanti idrologiche del terreno (capacità idrica di campo, punto di appassimento e acqua disponibile) sono riportate in tabella 4 (paragrafo 3.3.3.). Dodici mini-lisimetri (diametro di 25cm e altezza di 25cm) sono stati posizionati in un interfilare del vigneto in modo tale da avere 4 ripetizioni ognuna costituita da 3 vasi posizionati tra le file ad una distanza di circa 50 cm l'uno dall'altro (figura 13) (una descrizione dettagliata sulla procedura di installazione in campo è riportata al paragrafo 3.1.). La loro messa a dimora è avvenuta in marzo, diverse settimane prima di iniziare gli esperimenti ed in giugno si è provveduto all'installazione di un impianto di irrigazione a pioggia per garantire un bagnatura omogenea della superficie di suolo occupata dai vasi e di quella circostante.

In entrambi gli anni (2006-2007) il consumo idrico del suolo inerbito presente nei vasi è stato determinato mediante le variazioni di massa ottenute pesando i mini-lisimetri ad intervalli di 24 ore, generalmente alle 9 della mattina, partendo dal giorno successivo a quello in cui si era verificato un evento meteorico di almeno 10 mm di pioggia o un'irrigazione di uguale portata. I dati sono stati riportati ad unità di superficie e quindi espressi come mm/giorno.

Nel 2006 le valutazioni dei consumi idrici dei mini-lisimetri sono state eseguite durante i mesi di luglio ed agosto ed in parte settembre, mentre nel 2007 sono iniziate nel mese di maggio per concludersi nella prima settimana di agosto.

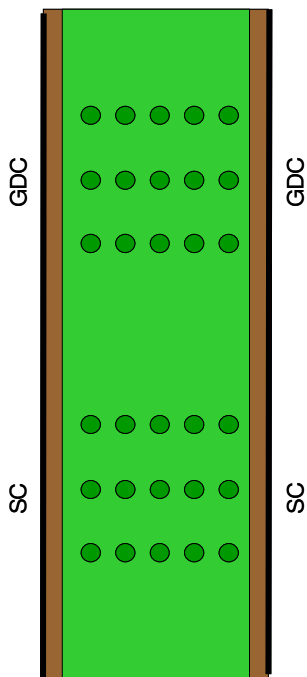


Figura 12 – Rappresentazione schematica dell'interfilare del vigneto della Cornell Univeristy in cui sono stati posizionati i mini-lisimetri rappresentati dal simbolo ●
 Le sigle SC e GDC (Single Curtain e Geneva Double Curtain) indicano i due sistemi di allevamento presenti lungo la fila.

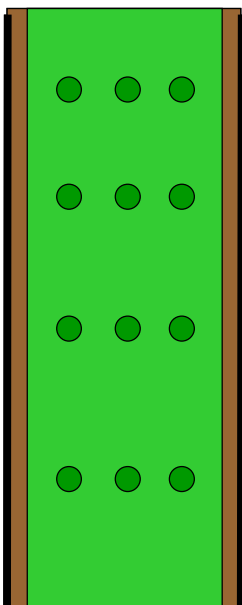


Figura 13 – Rappresentazione schematica dell'interfilare del vigneto dell'Università di Bologna allevato a Cordone speronato in cui sono stati posizionati i mini-lisimetri rappresentati dal simbolo ●

3.4.2. Misurazione dei consumi idrici del suolo inerbito mediante l'utilizzo della metodologia della camera

Nel 2007 una camera in plexiglas collegata ad un IRGA, per la cui descrizione dettagliata si rimanda al paragrafo 3.2., è stata utilizzata per valutare la dinamica giornaliera dei consumi idrici del prato, espressi come valori medi orari, posizionando tale strumentazione al centro dell'interfilare.

I rilievi sono stati generalmente effettuati dalle ore 9 alle ore 18, utilizzando due diverse portate di flusso (9.21 e 21.57 l/s). Le misurazioni realizzate con il flusso più basso sono state eseguite durante quattro giornate in agosto nello stesso interfilare in erano collocati i mini-lisimetri (paragrafo 3.4.1.); quelle con il flusso a 21.57 l/s sono state invece effettuate in un vigneto adiacente, anch'esso inerbito con *Festuca arundinacea* var *Barfelix* (vedi paragrafo 3.5.).

3.4.3. Determinazione di alcuni parametri climatici, dell'ET_o e della radiazione a disposizione nell'interfilare inerbito

In entrambi gli anni di prova (2006 e 2007) è stata determinata la quantità di radiazione a disposizione del prato nell'interfilare del vigneto mediante l'utilizzo di barre ceptometriche posizionate nell'interfilare ad alcuni centimetri da terra ed in direzione perpendicolare a quella dei filari (figura 14).

Nel 2006 cinque sensori di PAR (radiazione fotosinteticamente attiva) (LI-190SA quantum sensors, Li-Cor, Lincoln, NE, USA) sono stati inseriti in una barra di legno ad una distanza di 30 cm l'uno dall'altro in modo tale, una volta posizionati nell'interfilare, da poter misurare la radiazione intercettata dal prato in corrispondenza della parte centrale di ognuno dei cinque mini-lisimetri posti tra le file. Al di sopra delle chiome delle viti è stato installato un sesto sensore collegato, insieme agli altri cinque, ad un datalogger CR21X (Campbell Scientific Ltd, Lough-borough, UK) programmato in modo tale da poter registrare ogni minuto in completa automazione le misure effettuate dai sensori, fornendo come output il valore medio di radiazione calcolato in un intervallo di 10 minuti ed espresso come densità di flusso di fotoni ($\mu\text{mol fotoni m}^{-2}\text{s}^{-1}$). I sensori erano stati in precedenza calibrati con uno di riferimento (LI-250 Light meter; Li-Cor, Lincoln, NE, USA) ottenendo, per ciascuno, una

relazione di tipo lineare ($R^2=0.99$) in un intervallo di valori compreso tra 0 e 1800 $\mu\text{moli m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Le misurazioni sono state effettuate dal mese di agosto posizionando la barra, a settimane alterne, lungo l'interfilare nella parte del vigneto con le viti allevate a Cordone libero e a GDC.

Per entrambi i sistemi di allevamento è stata calcolata la frazione media di radiazione giornaliera a disposizione del prato rispetto a quella incidente sopra la chioma in funzione della distanza dei mini-lisimetri dal filare di vite. Utilizzando tali valori medi e moltiplicandoli per quelli della radiazione fotosinteticamente attiva rilevata al di sopra delle piante, è stato quindi possibile confrontare per le stesse giornate la quantità di radiazione a disposizione del prato nell'interfilare nella parte del vigneto allevata a Cordone libero e a GDC.

I principali parametri climatici quali temperatura e umidità dell'aria, radiazione solare totale, velocità del vento ed entità delle precipitazioni sono stati misurati dalla stazione meteorologica dell'Università posizionata a circa 1 km dal vigneto.

Nel 2007 le misurazioni di radiazione a disposizione del prato nell'interfilare del vigneto sono state effettuate tramite una barra a scansione costituita da 64 fototransistori (BPW20R Silicon PN Photodiode, Vishay Telefunken, Heilbronn, Germania) sensibili alle radiazioni comprese tra 300-1100nm, usata in precedenza in uno studio effettuato da Poni et al. (2003). I sensori erano inseriti in una barra di alluminio ad una distanza di 35 mm l'uno dall'altro in modo da raggiungere una lunghezza massima di misurazione di 2.205 m. La barra era connessa ad un datalogger CR10X (Campbell Scientific Ltd, Lough-borough, UK) provvisto di un multiplexer AM416, programmato in modo tale da poter registrare in completa automazione le misure effettuate dai 64 sensori ogni 5 minuti. Una relazione lineare ($0.98 < R^2 < 0.99$) è stata rilevata, per un intervallo di valori compreso da 0 a 980 W/m^2 , tra l'output (mV) di ciascun sensore e la radiazione totale (W/m^2) determinata usando un piranometro RG030 (Silimet, Modena, Italia) anch'esso connesso al datalogger. La barra è stata posizionata lungo l'interfilare ed il piranometro collocato sopra la chioma delle piante, ad un'altezza di 3m, per l'intera durata delle indagini. Le misurazioni sono cominciate all'inizio di maggio e si sono concluse nella seconda settimana di agosto. La quantità di radiazione a disposizione del prato presente nei mini-lisimetri in relazione alla loro distanza dalla fila è stata determinata prendendo in considerazione i valori registrati dai sensori luminosi posizionati in prossimità dei vasi.

La temperatura, l'umidità dell'aria, l'entità delle precipitazioni e la velocità del vento sono stati registrati da un capannina meteorologica posta in prossimità del vigneto.

In entrambi gli anni il deficit di pressione di vapore (VPD) medio giornaliero è stato determinato secondo la modalità di calcolo proposta da Allen et al. (1998) utilizzando i dati forniti dalla stazione meteorologica. Relativamente alle indagini effettuate con la camera il valore del VPD presente al momento del rilievo è stato calcolato utilizzando i valori di pressione di vapore acqueo (analisi) registrati dal CIRAS e quelli di temperatura dell'aria misurati dal termometro digitale inserito nella camera.

L'evapo-traspirazione di riferimento (ET_o) è stata calcolata utilizzando l'equazione di Penman-Monteith proposta da Allen et al. (1998) usando i valori di temperatura e umidità dell'aria e di velocità del vento rilevati dalla stazione meteorologica. Il valore della radiazione totale media giornaliera (W/m^2) introdotta nel calcolo dell'equazione si riferisce alla reale quantità di luce a disposizione del prato nell'interfilare del vigneto determinata dalle misurazioni effettuate in entrambi gli anni con le barre ceptometriche in prossimità dei mini-lisimetri.

3.4.4. Analisi statistica dei dati

Per i dati mini-lisimetrici di consumi idrico giornaliero è stata eseguita un'analisi della varianza utilizzando la procedura Mixed del pacchetto statistico SAS; il Tukey - test è stato eseguito per il confronto tra le medie delle tesi analizzate.

Il calcolo degli indici di correlazione e l'analisi della regressione lineare multipla sono stati effettuati rispettivamente utilizzando la procedura "corr" e "reg" del pacchetto statistico SAS.

Il confronto tra la pendenza e l'intercetta delle rette è stato eseguito usando il programma Statgraphics Plus ver. 4.1



Figura 14- Barra ceptométrica collegata al datalogger e posizionata lungo l'interfilare in prossimità dei mini-lisimetri di cui sono visibili le maniglie bianche.

3.5. EFFETTO DELLO SFALCIO SUI CONSUMI IDRICI DEL PRATO

L'effetto dello sfalcio sulla riduzione dei consumi idrici del prato è stato valutato usando l'approccio mini-lisimetrico nel corso di indagini svolte in due anni (2006-2007) e quello basato sull'impiego di una camera in plexiglas collegata ad un IRGA esclusivamente nel secondo (2007). Inoltre, nel 2007, sono state anche effettuate indagini di confronto, utilizzando le due metodologie sopra riportate, tra i consumi idrici del suolo inerbito e lavorato.

3.5.1. Effetto dello sfalcio sui consumi idrici del prato. Valutazioni col metodo gravimetrico

L'effetto dello sfalcio sul consumo idrico del cotico erboso è stato valutato negli anni 2006 e 2007 confrontando, a partire dal giorno successivo all'intervento di taglio, le perdite idriche giornaliere dei mini-lisimetri della tesi "prato sfalciato" con quelle dei mini-lisimetri della tesi di controllo "prato non sfalciato".

In una prima serie di indagini, effettuate nel 2006 presso la Stazione Sperimentale di Geneva (New York), si è proceduto ad uno sfalcio in settembre nello stesso vigneto in cui è stato condotto l'esperimento riportato al paragrafo 3.4.1. ed utilizzando gli stessi mini-lisimetri. Poiché durante il corso della stagione non erano state evidenziate differenze significative tra i consumi idrici del suolo inerbito delle 6 ripetizioni di vasi presenti, è stato possibile scegliere in maniera casuale solo metà dei mini-lisimetri (15), in cui il cotico erboso è stato raccorciato a 4 cm. Le valutazioni gravimetriche dei consumi idrici del prato sfalciato e di quello non sfalciato di controllo si sono protratte per due settimane.

Nel 2007 l'intervento di sfalcio è stato effettuato in maggio in un vigneto di due anni di Sangiovese innestato su S04 situato in località Granarolo dell'Emilia presso l'Azienda Agraria sperimentale dell'Università di Bologna. Le viti erano in fase di allevamento con una distanza di impianto di 2.8 m tra le file ed 1m sulla fila. Il suolo era di tipo franco (39% di sabbia, 39% di limo, 22% argilla) a pH sub-alcino (7.8) e caratterizzato da un contenuto di sostanza organica e azoto pari rispettivamente all'1.8% e all'0.95%. Le costanti idrologiche del terreno (capacità idrica di campo, punto di appassimento e acqua disponibile), riportate in tabella 4, sono state calcolate mediante il programma SPAW(<http://www.bsyse.wsu.edu/saxton/soilwater>) elaborato da Saxton et al.,1996.

Tabella 4 - Capacità idrica di campo (C.I.C.), punto di appassimento (P.A.) ed acqua disponibile (l/ m³) (A.D.) tra la C.I.C. e il P.A.

C.I.C.	28.3 % Vol
P.A.	14.4 % Vol
A.D.	139 l/m ³

Poiché il vigneto presentava una gestione differenziata del suolo nell'interfilare, nello specifico lavorazione ed inerbimento (essenza erbacea *Festuca arundinacea* var. *Barfelix*), è stato anche possibile confrontare, sempre su base mini-lisimetrica, il consumo idrico della parte inerbata con quella lavorata. Le tesi a confronto, distribuite in due blocchi randomizzati lungo un interfilare del vigneto erano: prato non sfalciato, prato sfalciato e suolo nudo. I vasi utilizzati (diametro di 25cm e altezza di 25cm) come mini-lisimetri sono stati posizionati in numero di 3 tra le file ad una distanza di circa 50 cm l'uno dall'altro, per un numero totale di 12 per ogni tesi (figura15).

Le operazioni di gestione del suolo del vigneto hanno previsto due sfalci del prato (22 maggio, 1 agosto) e due lavorazioni del suolo (10 maggio, 10 luglio).

In corrispondenza del primo intervento di taglio si è proceduto allo sfalcio del prato in metà dei mini-lisimetri, scelti in maniera casuale in ciascun blocco, e dell'area circostante effettuando un taglio ad un'altezza di 4 cm.

Per ciascun mini-lisimetro inerbato è stata determinata la biomassa asportata in termini di peso fresco e secco, quest'ultimo ottenuto mediante essiccazione dei campioni in stufa a 60°C fino a raggiungimento del peso costante. L'altezza del cotico erboso è stata misurata su un campione di 30 foglie all'interno di ciascun mini-lisimetro prima di effettuare lo sfalcio e la misurazione è stata ripetuta dopo tale intervento, sul prato che era stato sottoposto a taglio.

Le valutazioni dei consumi idrici delle tre tesi (prato non sfalciato, prato sfalciato e suolo nudo) si sono protratte per un mese circa, fino al 19 giugno.

Nelle indagini svolte durante il 2007 è stato determinato il contenuto idrico del suolo all'interno e all'esterno dei mini-lisimetri mediante la metodologia TDR. Per ciascuna tesi 6 coppie di sonde di 15 cm di lunghezza sono state inserite in altrettanti vasi e nel suolo dell'interfilare in prossimità dei mini-lisimetri. Ulteriori sonde di 30 cm di lunghezza sono state collocate, in numero di 4 coppie per tesi al centro dell'interfilare.

Per la validazione del dato di umidità ottenuto usando il TDR era stata eseguita, nello stesso vigneto, una precedente taratura con metodo gravimetrico, mediante carotaggio, a diverse condizioni di umidità del suolo, di porzioni di terreno ad una profondità pari a quella delle sonde di 30 cm. Il contenuto idrico gravimetrico del suolo, espresso in unità di peso (g g^{-1}) è stato moltiplicato per la sua densità apparente (g cm^{-3}) e quindi convertito in unità volumetrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Una relazione lineare ($R^2 = 0.85$) è stata ottenuta tra i valori di umidità del terreno rilevati con il TDR ed i reali contenuti idrici volumetrici di questo espressi come valori percentuali.

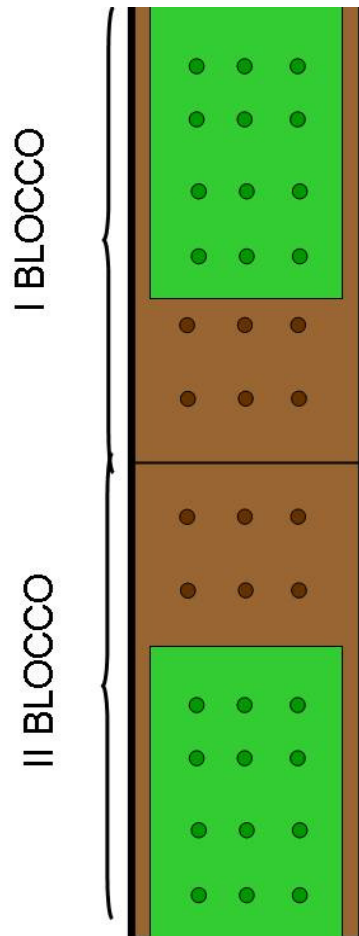


Figura 15- Rappresentazione schematica dell'interfilare del vigneto dell'Università di Bologna in cui sono stati posizionati i mini-lisimetri, rappresentati dal simbolo ● (suolo inerbito) ● (suolo nudo). In ogni blocco si è proceduto allo sfalcio del prato in metà dei mini-lisimetri, scelti in maniera casuale, e dell'area circostante.

3.5.2. Effetto dello sfalcio sui consumi idrici del prato e raffronto con una tesi di controllo lavorata utilizzando il metodo della camera

Nel corso delle indagini svolte a Bologna nel 2007, gli effetti dello sfalcio sulla riduzione delle perdite idriche del prato ed il raffronto dei consumi idrici del suolo inerbito e lavorato sono stati valutati utilizzando un secondo approccio metodologico basato sull'impiego di una camera in plexiglas collegata ad un IRGA, per la cui descrizione dettagliata si rimanda al paragrafo 3.2.. Le misurazioni effettuate con tale sistema sono state eseguite, nello stesso vigneto e nello stesso interfilare in cui erano collocati i mini-lisimetri, utilizzando un flusso di aria di 21.57 l/s e sempre in una situazione di disponibilità idrica del suolo non limitante, monitorata mediante il TDR usando sonde di 30 cm di lunghezza posizionate nel suolo all'interno dell'area analizzata con la camera.

Il giorno in cui è stato eseguito lo sfalcio nel vigneto (22 maggio), la camera, collegata all'IRGA, è stata posizionata nell'interfilare su di una parcella di prato non sfalciata eseguendo misurazioni del tasso evapotraspirativo per 15 minuti, al termine delle quali si è proceduto alla determinazione dell'altezza del cotico erboso su di un campione di 100 foglie e quindi al suo taglio. La quantità di biomassa vegetale asportata è stata determinata in termini di peso fresco e secco, quest'ultimo ottenuto mediante essiccazione dei campioni in stufa a 60°C fino a raggiungimento del peso costante. Lo strumentazione è stata di seguito posizionata su di un'altra parcella non sfalciata ripetendo le medesime misurazioni. Una seconda serie di rilievi, della stessa durata, è stata quindi eseguita sulle stesse parcelle dopo il taglio del cotico erboso.

Successive valutazioni, con la medesima procedura di quella usata in maggio, sono state effettuate su altre tre parcelle di prato in corrispondenza di un secondo sfalcio avvenuto all'inizio di agosto. In tutti i rilievi, le misurazioni sono state eseguite nelle ore centrali di giornate soleggiate, in modo tale che le condizioni climatiche fossero stabili per l'intera durata delle indagini.

Il metodo della camera è stata anche utilizzato per effettuare, il giorno successivo al primo intervento di sfalcio nel vigneto (23 maggio), misurazioni di dinamica giornaliera dei consumi idrici di parcelle di prato situate in un'area dell'interfilare sfalciata e di altre situate in un'area non sfalciata. Tali valutazioni sono state ripetute sulla stesse parcelle a circa tre settimane di distanza (10 giugno). Nella prima e nella seconda giornata di indagini sono stati eseguiti rispettivamente cinque e sette rilievi, in ognuno dei quali la camera e la

strumentazione connessa sono state posizionate prima sul prato non sfalciato, effettuando misurazioni del tasso di evapo-traspirazione della durata di 10 minuti, e poi su quello sfalciato ripetendo le stesse misure.

Valutazioni di confronto tra la dinamica giornaliera delle perdite idriche del suolo inerbito e lavorato sono state effettuate in due date (19 giugno e 12 luglio), la prima a circa un mese dall'ultima lavorazione del terreno, la seconda dopo due giorni da tale intervento; in entrambi i casi sono stati effettuati 6 rilievi nell'arco della giornata.

La procedura adottata è stata la stessa utilizzata per il confronto tra i consumi idrici del prato sfalciato e non: in questo caso sono state prese in esame parcelle di suolo situate nella zona dell'interfilare gestita mediante lavorazione e mediante inerbimento.

In corrispondenza di ogni rilievo effettuato e di ciascuna parcella di prato analizzata nel corso della stagione di indagini, sono stati valutati i parametri altezza, area fogliare e LAI (m^2 area fogliare m^{-2} di suolo) del cotico erboso. L'altezza media del prato è stata determinata su di un campione di 100 foglie.

Al fine di poter effettuare misurazioni di evapo-traspirazione sulla stessa parcella di prato in diverse giornate nel corso della stagione estiva, l'area fogliare del cotico erboso presente sulla superficie di suolo analizzata è stata determinata per via indiretta senza asportare la biomassa vegetale. A tal proposito è stata utilizzata una relazione lineare ricavata mettendo in correlazione i valori di area fogliare della copertura erbacea presente su unità di suolo (LAI) con quelli corrispettivi di altezza del prato, ottenuti effettuando rilievi, durante il periodo primaverile estivo, sul cotico erboso a diversi stadi di crescita, nello stesso interfilare e in prossimità della zona analizzata con la camera. È necessario precisare che, poiché il prato era stato seminato l'autunno precedente, esso copriva il terreno in maniera omogenea e non erano presenti altre specie erbacee infestanti.

In corrispondenza di ogni rilievo sono stati prelevati 3 campioni di biomassa vegetale ognuno su di una superficie di suolo pari a $0.01m^2$ determinata posizionando a terra una griglia di dimensioni 10×10 cm. Per ogni campione asportato sono stati determinati l'altezza del cotico erboso ed il suo peso fresco e secco; prima della loro essiccazione in stufa le foglie sono state scansionate in un computer, e la loro area è stata determinata dalle immagini ottenute usando il programma Image J (software scaricabile gratuitamente on line sviluppato dal *National Institutes of Health*, U.S.A.). In questo modo è stato possibile mettere in relazione il peso secco e l'area fogliare di tali campioni, espressa con il parametro LAI, con la loro altezza ottenendo modelli di interpolazione accurati (figure 16 e 17). Utilizzando la

relazione riportata in figura 17 è stato possibile determinare, partendo da misurazioni dell'altezza del cotico erboso al momento dei rilievi effettuati con la camera, l'area fogliare del prato presente in tale parcella.

3.5.3 Analisi statistica dei dati

I dati di consumi idrico determinati mediante metodo mini-lisimetrico per l'anno 2006-2007 e mediante l'uso della camera per l'anno 2007, ed i valori di umidità del suolo (anno 2007) sono stati sottoposti ad un'analisi della varianza utilizzando la procedura Mixed del pacchetto statistico SAS. Un t – test o un Tukey test sono stati eseguiti per il confronto tra le medie a seconda del numero delle tesi analizzate (2 o 3).

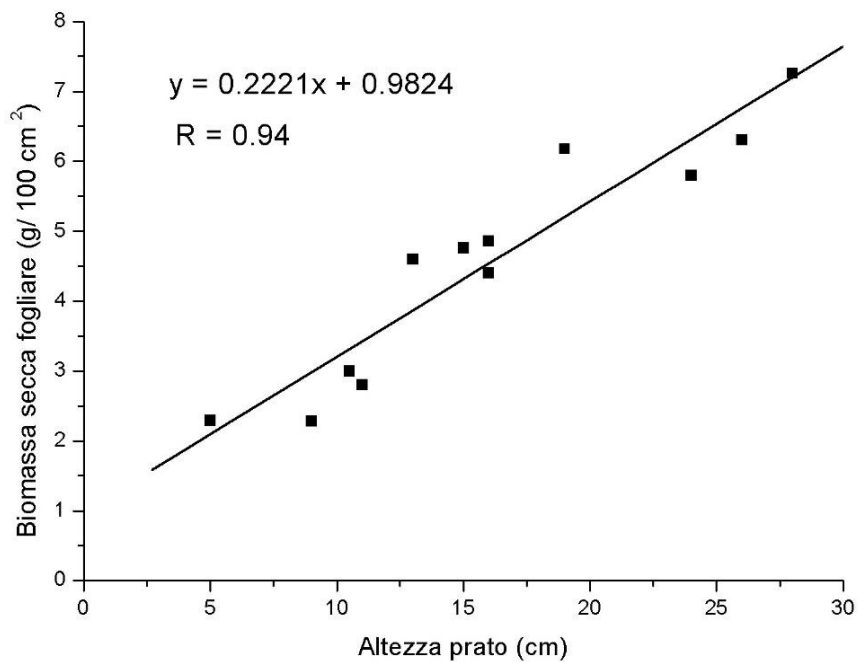


Figura 16- Relazione tra la biomassa fogliare secca del cotico erboso e la sua altezza. Il modello lineare di interpolazione è $y = 0.9824 + 0.2221x$; $R = 0.94$.

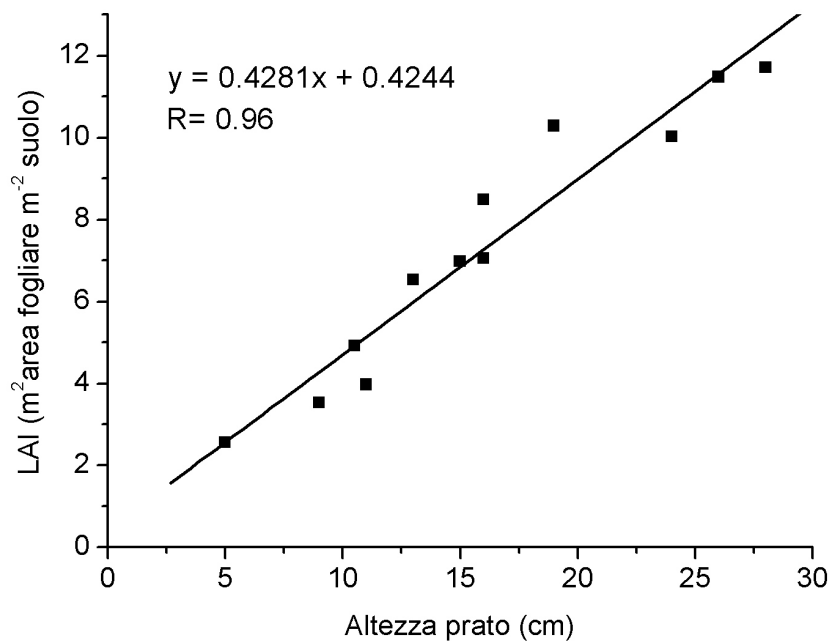


Figura 17- Relazione tra la quantità di area fogliare del cotico erboso presente sull' unità di superficie di suolo (espressa con l'indice LAI) e la sua altezza. Il modello lineare di interpolazione è $y = 0.4244 + 0.4281x$; $R = 0.96$.

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 VALIDAZIONE E CONFRONTO DI DUE APPROCCI DI VALUTAZIONE DIRETTA DEL CONSUMO IDRICO DEL SUOLO INERBITO (MINI-LISIMETRI E CAMERA)

4.1.1. Calibrazione del sistema basato sull'uso della camera

Una relazione di tipo lineare con un alto livello di precisione ($R=0.99$) è stata evidenziata mettendo in correlazione i valori di evaporazione (espressi in g/s) calcolati usando la metodologia della camera con le reali perdite idriche di tessuti bagnati determinate per via gravimetrica (figura 18). Dall'analisi dei dati ottenuti è emersa solo una tendenza della camera a sottostimare il reale tasso di evaporazione per i valori più bassi; la sottostima tende però a ridursi con l'aumentare dell'evaporazione.

Sulla base dell'elevata precisione della relazione ottenuta e della buona corrispondenza, tra i valori stimati e quelli reali, soprattutto per i tassi evaporativi più elevati, si è ritenuto il che il metodo della camera possa costituire un valido ausilio da usare in campo per la misurazione dei consumi idrici del suolo inerbito.

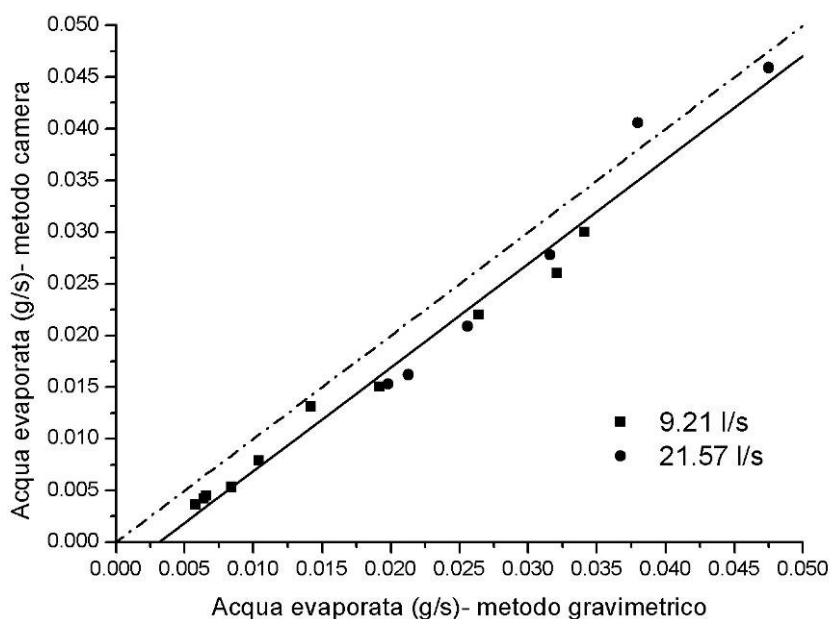


Figura 18 - Relazione tra i valori di evaporazione, espressi in g/s, calcolati usando la metodologia della camera e le reali perdite idriche determinate per via gravimetrica per due differenti flussi di aria. Il modello lineare di interpolazione è $y=1.0042 x-0.0032$; $R=0.99$.

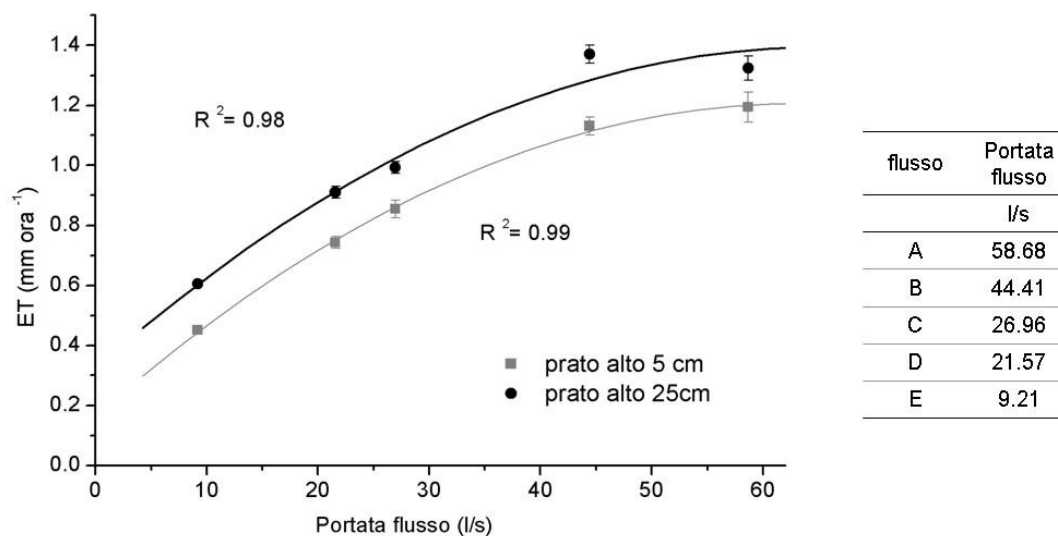
4.1.2. Influenza della portata del flusso d'aria sul tasso di evapo-traspirazione e sulla temperatura all'interno della camera

In tutti i rilievi effettuati nell'arco della giornata il tasso di evapo-traspirazione del suolo inerbito è risultato strettamente correlato all'aumento della velocità del flusso d'aria in uscita dalla camera, secondo un andamento di tipo asintotico (figura 19). Le esperienze condotte su prato sfalciato e non sfalciato (vedi paragrafo 3.3.2.) con cinque diversi flussi hanno evidenziato che, a portate molto elevate, il tasso traspirativo tende a rimanere stabile probabilmente a causa di una risposta adattativa di parziale chiusura stomatica fogliare dell'essenza erbacea in seguito alla forte turbolenza creatasi nella camera a flussi di 44.4 e 58.7 l/s (rispettivamente 3.32 e 2.5 m/s). Tale comportamento è stato peraltro già osservato in vite su piante sottoposte a velocità del vento di 3.6 m/s (Kobriger et al., 1984). Una relazione positiva tra i tassi di evapo-traspirazione misurati con la camera, utilizzata come sistema chiuso, e la velocità dell'aria insufflata al suo interno è stata evidenziata in alcune ricerche

(Heijmans et al., 2004, l.c.; Mc Loed et al., 2004, l.c.). Le diverse dimensioni e strutture delle camere e la mancanza di informazioni sui tempi di ricircolo dell'aria all'interno di tali camere rendono però difficile il confronto dei nostri dati con quelli ottenuti dagli autori citati.

Le differenze di temperatura rilevate tra l'aria all'interno e all'esterno della camera durante le misurazioni sono variate da valori di + 0.3°C, utilizzando i flussi 44.4 e 58.7 l/s, a valori di + 2.7°C usando quello più basso (tabella 5). L'eccessivo surriscaldamento dell'aria all'interno della camera è uno dei principali rischi legati all'uso di portate di flusso basse: una chiara dipendenza esiste tra la velocità con cui questo viene insufflato e le differenze di temperatura rilevate tra l'ambiente interno ed esterno come riportato in diverse ricerche (Poni et al., 1999, l.c.; Burkart et al. 2007, l.c.). Uno studio condotto da Garcia et al. (1990, l.c.), relativamente agli effetti della velocità del flusso sul surriscaldamento dell'aria nella camera in assenza di una superficie evaporante, ha evidenziato la necessità di utilizzare una portata che permetta un ricircolo di aria di almeno 2.5 volte al minuto per limitare gli aumenti di temperatura a valori inferiori a 5°C. Indagini condotte da Burkart et al. (2007, l.c.) inducono gli autori a consigliare una portata di flusso di 4 m³/min con un tempo di ricircolo dell'aria nella camera di 3 volte al minuto per limitare gli incrementi di temperatura a 2-3°C.

Nelle nostre condizioni di lavoro, ossia in presenza di un prato a diversi stadi di crescita con disponibilità idrica del suolo non limitante, l'utilizzo del flusso più basso (tempo di ricircolo dell'aria nella camera di 3 volte al minuto) non ha determinato un eccessivo surriscaldamento dell'aria all'interno dell'involucro in plexiglas nemmeno nelle ore più calde della giornata (tabella 5). Il minor tasso di evapo-traspirazione del prato alto 5 cm rispetto a quello alto 25cm, ha provocato un aumento della temperatura leggermente superiore, ma sempre contenuto entro i 3°C (tabella 5).



TIME	PAR	T aria esterna	Umidità aria
ore	($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	°C	mbar
12-14	1500-1600	32.8-35	16-17

Figura 19 - Andamento dell'evapo-traspirazione del suolo inerbito (altezza del cotico 5 e 25 cm) al variare della portata del flusso d'aria del ventilatore relativamente al rilievo effettuato nelle ore centrali della giornata. Le barre, a volte più piccole dei simboli, rappresentano \pm l'errore standard. Nella parte inferiore della figura sono riportate le condizioni climatiche in cui si è operato.

Tabella 5- Differenze di temperatura tra l'aria all'interno e all'esterno della camera misurate con varie portate di flusso. Il rilievo è stato effettuato nelle ore centrali della giornata sulle parcelle di suolo inerbito sfalcato (prato alto 5 cm) e non sfalcato (prato alto 25 cm).

ΔT interno- esterno camera		
Portata flusso in uscita (l/s)	Prato alto 5 cm	Prato alto 25 cm
(A) 58.68	+ 0.6	+ 0.3
(B) 44.41	+ 0.6	+ 0.3
(C) 26.96	+ 1.5	+ 1
(D) 21.57	+ 2	+1.5
(E) 9.21	+ 2.7	+ 2

4.1.3 Prova di confronto tra i due metodi di valutazione diretta dei consumi idrici del prato (mini-lisimetri e camera) e raffronto con uno di tipo indiretto (ETo)

L'analisi dei risultati relativi al confronto diretto tra i tassi di evapo-traspirazione media giornaliera ottenuti utilizzando i diversi metodi (mini-lisimetri, camera ed evapo-traspirazione di riferimento "modificata") ha messo in evidenza, nelle prime due giornate di misura, dopo che il terreno era stato portato alla capacità di campo tramite un'irrigazione, valori di consumo idrico, oggettivamente determinati per via gravimetrica con il sistema mini-lisimetrico, comparabili a quelli rilevati con il sistema della camera e con l'evapo-traspirazione di riferimento (ETo) (figura 20). Negli ultimi due giorni in cui sono stati eseguiti i rilievi, le perdite di acqua misurate per via gravimetrica nei mini-lisimetri sono invece risultate inferiori a quelle valutate mediante le altre metodologie, come era da attendersi, in quanto l'umidità del terreno nei mini-lisimetri era di molto inferiore a quella del suolo esterno. Infatti, dall'esame delle misurazioni di umidità del terreno, è stata evidenziata una più rapida diminuzione di questa all'interno dei vasi rispetto all'esterno arrivando, nell'ultimo giorno in cui sono stati condotti i rilievi, a valori prossimi al punto di appassimento (figura 20). Tale comportamento è stato rilevato anche in ricerche precedentemente condotte durante la stagione nello stesso vigneto e sugli stessi mini-lisimetri il cui contenuto idrico del terreno era risultato statisticamente differente da quello del suolo esterno a partire da 8 giorni di distanza dall'ultima pioggia (dati non riportati). Nella presente indagine la diminuzione di umidità del terreno nel mini-lisimetro è stata particolarmente rapida, risultando statisticamente differente da quella all'esterno ad una distanza di 5 giorni dall'ultima pioggia. Il vaso rappresenta infatti un sistema semi-chiuso, le cui pareti impediscono movimenti laterali dell'acqua da e verso il suolo circostante, determinando così una impossibilità di richiamo idrico esterno per compensare le perdite dovute ad evapo-traspirazione.

Osservazioni condotte da Bremer et al. (2003, l.c.), relativamente all'andamento dell'umidità del terreno internamente ed esternamente a mini-lisimetri posizionati in un campo di *Festuca arundinacea*, e inerbiti con tale essenza erbacea, confermano una più rapida diminuzione del contenuto idrico del suolo in tali contenitori rispetto a quello dell'ambiente esterno.

La metodologia della camera si è dimostrata una tecnica valida per la valutazione dei reali consumi idrici del suolo inerbito. Infatti ha presentato un'elevata corrispondenza, nelle prime due giornate di indagini, con i valori di evapo-traspirazione rilevati per via

gravimetrica. Inoltre, anche i consumi idrici stimati con l'equazione di Penman-Monteith sono apparsi comparabili a quelli determinati con la tecnica della camera in tutte le quattro giornate di rilievi, per quanto inferiori a questi ultimi per un valore medio del 13%. Bisogna sottolineare che l'evapo-traspirazione di riferimento (ET_o), sebbene rappresenti l'equazione più largamente usata per il calcolo dei consumi idrici di un prato, è comunque soggetta ad un certo margine di errore dovuto principalmente alla standardizzazione dei parametri relativi alla conduttanza dello strato di confine introdotti in tale formula.

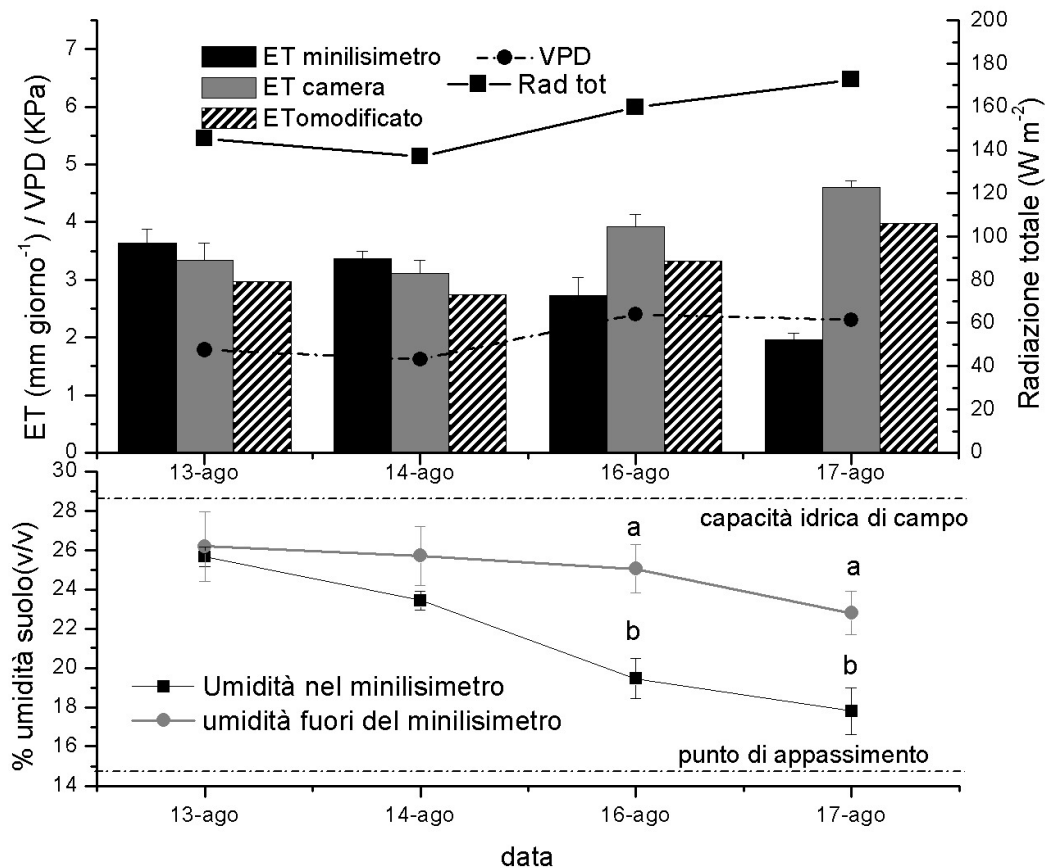


Figura 20- Nella parte alta della figura sono riportati i consumi idrici del prato rilevati con i tre metodi (mini-lisimetri, camera, equazione di Penman-Monteith), la radiazione totale ed il VPD medi giornalieri. Nella parte bassa della figura sono riportati, per gli stessi giorni, i valori di umidità del suolo dentro e fuori i mini-lisimetri. Le barre rappresentano l'errore standard. Lettere diverse indicano differenze significative per un valore di $p < 0.001$ (t- test).

4.2. STIMA DEL CONSUMO IDRICO DEL PRATO USANDO MISURE DI RADIAZIONE E DI ALTRI PARAMETRI CLIMATICI (TEMPERATURA, UMIDITÀ DELL'ARIA)

4.2.1. Analisi dei consumi idrici giornalieri del prato, determinati mediante il metodo mini-lisimetrico, in relazione ai principali parametri climatici che guidano la domanda evaporativa

Le condizioni climatiche in cui sono state condotte le indagini nell'anno 2006, durante i mesi di luglio, agosto ed in parte settembre, sono state caratterizzate da valori cumulativi di precipitazioni ed evapo-traspirazione potenziale pari rispettivamente a 278 mm e 269 mm (figura 21). La distribuzione delle precipitazioni è risultata piuttosto uniforme nel corso della stagione con la presenza di un periodo relativamente siccitoso all'inizio di agosto.

Le indagini effettuate nel 2007, nel periodo compreso da maggio ad agosto, sono state caratterizzate da valori cumulativi di precipitazioni e di evapo-traspirazione potenziale pari rispettivamente a 181 mm e 433 mm. L'andamento climatico è stato caratterizzato da lunghi periodi estivi siccitosi (figura 22).

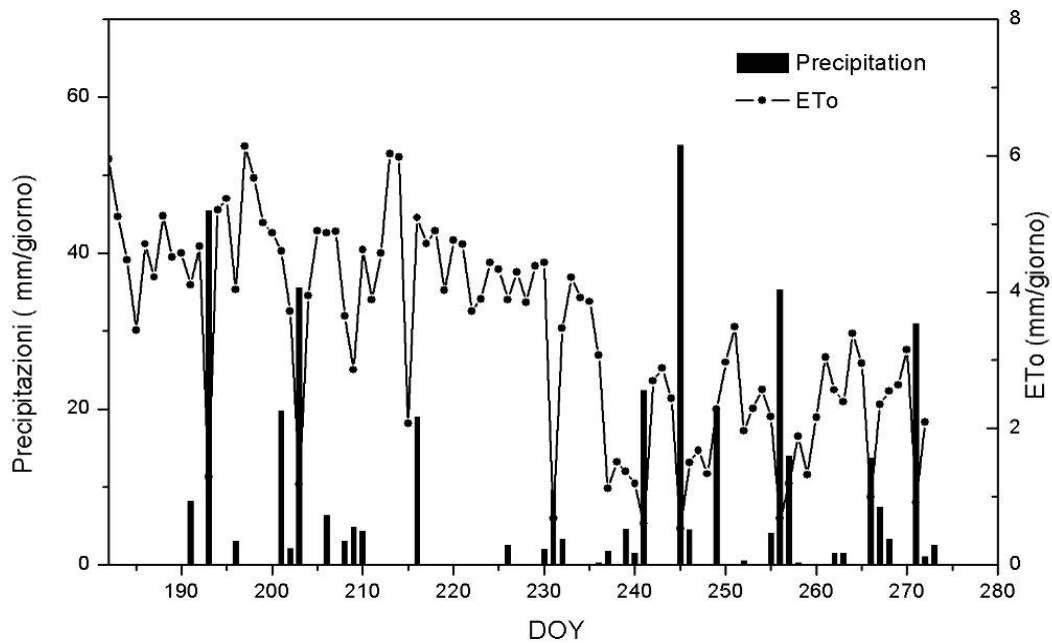


Figura 21- Andamento delle precipitazioni e dell'evapo-traspirazione potenziale nei mesi di luglio, agosto e settembre dell'anno 2006 a Geneva (NY).

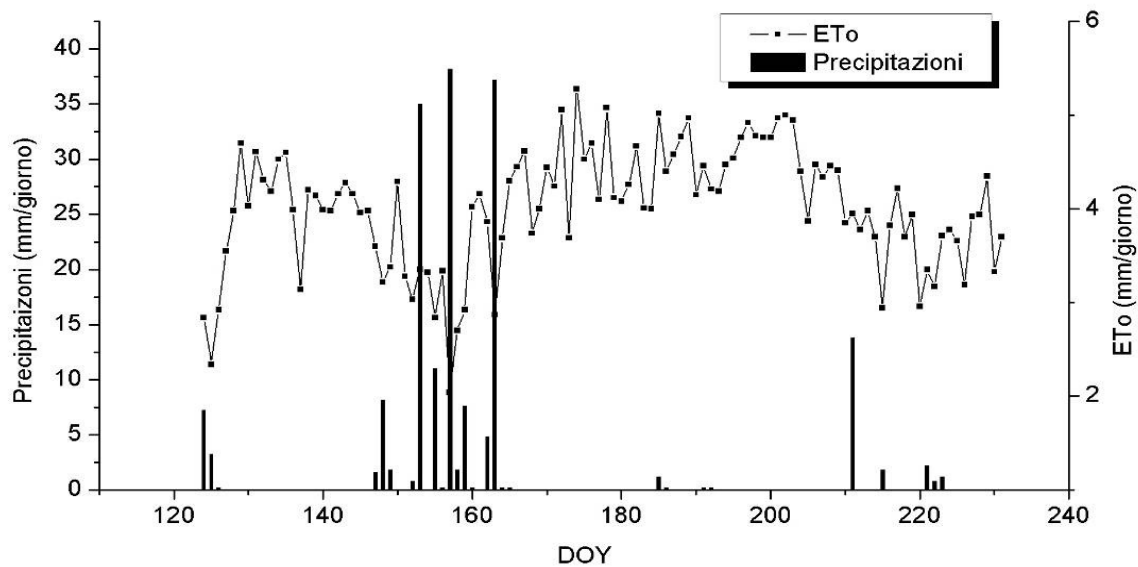


Figura 22 - Andamento delle precipitazioni e dell'evapo-traspirazione potenziale dal mese di maggio a quello di agosto dell'anno 2007 a Bologna.

Nel 2006 i consumi idrici giornalieri del suolo inerbito non sono risultati statisticamente differenti in funzione della distanza dei mini-lisimetri dalla fila sia nelle parcella del vigneto con le viti allevate a Single Curtain (abbreviato con la sigla SC) (figura 23) che in quella con le viti allevate a GDC (dati non riportati). Questo comportamento è probabilmente spiegato dal fatto che non sono state evidenziate, in ciascuna forma di allevamento, elevate variazioni nell'entità dell'ombreggiamento esercitato dalle chiome delle piante lungo la porzione dell'interfilare inerbita. L'intercettazione luminosa delle viti allevate a GDC, a fine accrescimento dell'apparato vegetativo, è risultato comunque superiore rispetto a quello delle viti allevate a Single Curtain, con un valore medio di radiazione persa al suolo del 24% nella prima forma di allevamento e 43% nella seconda.

In concordanza con i dati ottenuti nel 2006, anche nell'anno 2007 non sono state evidenziate differenze statisticamente significative nel consumo idrico del prato in funzione della distanza dal filare (figura 24). In confronto all'anno precedente una percentuale più elevata di radiazione, valore medio 66%, rispetto a quella incidente al di sopra della chioma, è stata persa al suolo, ma la variazione lungo l'interfila è rimasta non elevata.

Sia nel 2006 che nel 2007 consumi idrici medi giornalieri del suolo inerbito ottenuti per via gravimetrica in giorni con disponibilità idrica del suolo non limitante, sono stati messi in relazione con i principali parametri climatici che determinano la domanda evaporativa (in particolare radiazione solare e deficit di pressione di vapore).

Relativamente ai dati del 2006 l'analisi degli indici di correlazione, riportati in tabella 6, ha messo in evidenza come l'entità della evapo-traspirazione del prato sia strettamente correlata alla quantità di radiazione solare a disposizione, al VPD e alla temperatura dell'aria. Sia nella parte del vigneto con le viti allevate a GDC che a SC la quantità di radiazione solare è il principale fattore che determina l'entità dei consumi idrici del prato nell'interfilare, anche se nella seconda forma di allevamento le differenze tra gli indici di correlazione di tale parametro climatico e del VPD sono molto basse (tabella 6).

L'analisi dei dati mini-lisimetrici relativi al 2007, riportati in tabella 7, ha invece messo in evidenza un basso indice di correlazione tra il tasso di evapo-traspirazione media giornaliera e la radiazione, inferiore rispetto a quello con la temperatura dell'aria ed il VPD. In effetti, nelle giornate in cui sono state effettuate le misure nel 2007, la radiazione era per lo più a valori elevati e non si sono avute variazioni di intensità come nell'anno precedente. In considerazione dei bassi indici di correlazione ottenuti nel 2007 non si è potuto procedere ad

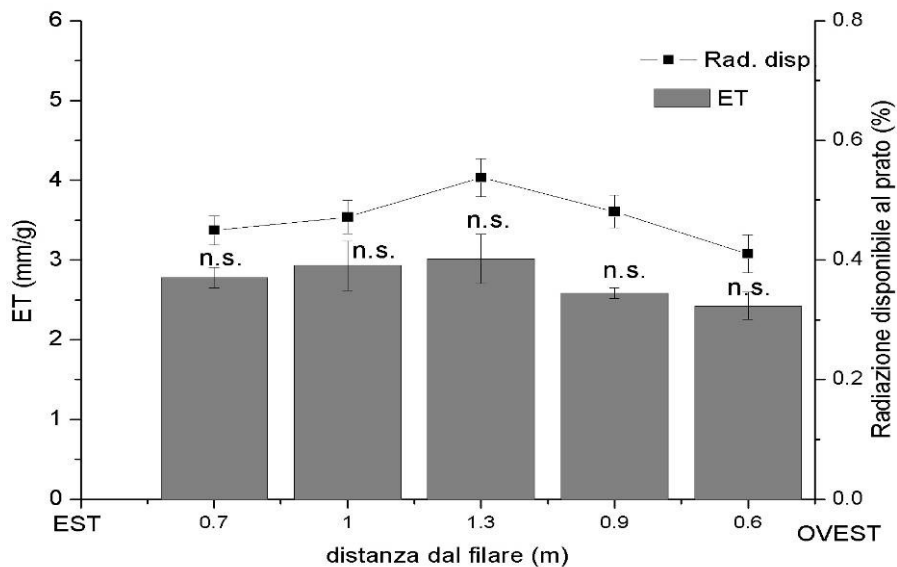


Figura 23- In figura sono riportati i valori medi della frazione di radiazione intercettata dal prato rispetto a quella sopra la chioma ed i valori medi dei consumi idrici giornalieri del prato in funzione della distanza dal filare. Anno 2006. n.s. : effetto non significativo sulla base del Tukey test.

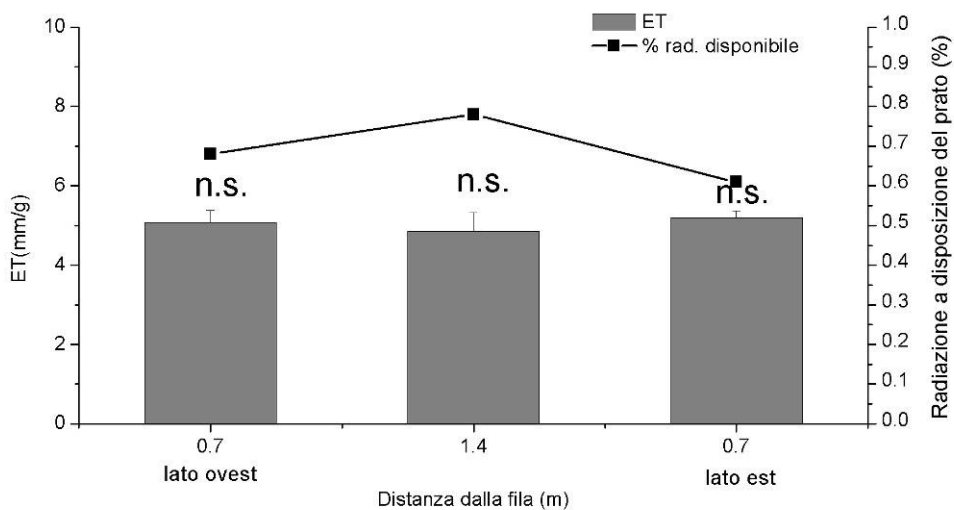


Figura 24 - In figura sono riportati i valori medi della frazione di radiazione intercettata dal prato rispetto a quella sopra la chioma ed i valori medi dei consumi idrici giornalieri del prato in funzione della distanza dal filare. Anno 2007. n.s. : effetto non significativo sulla base del Tukey test.

Tabella 6 - Coefficienti di correlazione (R) e significatività tra i valori di evapo-traspirazione media giornaliera del suolo inerbito, ottenuti usando i mini-lisimetri (mm/giorno), sia nella parte del vigneto con le viti allevate a Single Curtain (SC) che in quella con le viti allevate a GDC, ed i principali parametri climatici che guidano la domanda evaporativa. Anno 2006.

		PAR	VPD	T media aria	Velocità vento
		$\mu\text{moli m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Kpa	$^{\circ}\text{C}$	m/s
SC	ET	0.91	0.90	0.85	0.49
	(mm giorno ⁻¹)	***	***	**	n.s.
GDC	ET	0.86	0.80	0.83	0.61
	(mm giorno ⁻¹)	***	**	**	*

n.s. , *, **, *** = effetto non significativo e significativo per $P \leq 0.005, 0.001$ e 0.0001 rispettivamente

Tabella7 - Coefficienti di correlazione (R) e significatività tra i valori di evapo-traspirazione media giornaliera del suolo inerbito ottenuti usando i mini-lisimetri (mm/giorno) ed i principali parametri climatici che guidano la domanda evaporativa. Anno2007.

		Radiazione totale	VPD	T media aria	Velocità vento
		W m^{-2}	KPa	$^{\circ}\text{C}$	m/s
ET		0.45	0.85	0.64	0.15
(mm giorno ⁻¹)		*	***	***	n.s.

n.s. , *, **, *** = effetto non significativo e significativo per $P \leq 0.005, 0.001$ e 0.0001 rispettivamente

un'ulteriore analisi dei dati mini-lisimetrici relativi a tale stagione al fine di analizzare il tipo di relazione esistente tra i consumi idrici del prato ed i parametri climatici.

Relativamente all'anno 2006, con riferimento ai dati ottenuti nella parte del vigneto con le viti allevate a SC, è stata evidenziata una relazione lineare ($R = 0.88$) tra i valori giornalieri di evapo-traspirazione del prato, espressi come dato medio in relazione alla distanza dalla fila, ed i rispettivi valori di radiazione incidente (Figura 25). Al fine di verificare se l'equazione di Penman-Monteith costituisca un metodo valido per determinare in maniera indiretta e con un buon livello di precisione i consumi idrici del prato nel vigneto, le perdite idriche giornaliere stimate usando l'evapo-traspirazione di riferimento (ET_o) sono state poste in correlazione con quelle misurate nel 2006 mediante metodo gravimetrico. I dati mini-lisimetrici sono stati espressi come valore medio in relazione alla loro distanza dalla fila, quindi per poter confrontare i due metodi (diretto e indiretto) l'evapo-traspirazione di riferimento è stata modificata introducendo nel calcolo dell'equazione al posto della radiazione solare media giornaliera incidente sopra la chioma quella a disposizione del prato in relazione alla distanza dei vasi dai filari.

Una relazione di tipo lineare è stata evidenziata tra i valori di consumo idrico stimati e misurati e, poiché dal confronto della pendenza e dell'intercetta delle due rette di regressione ottenute trattando separatamente i dati relativi al prato della parte del vigneto con le viti allevate a Cordone libero e a GDC non sono state evidenziate differenze statisticamente significative ($p < 0.001$), tutti i valori sono stati analizzati congiuntamente (figura 26).

Il modello di regressione lineare semplice ottenuto ha mostrato un buon livello di precisione ($R^2 = 0.78$).

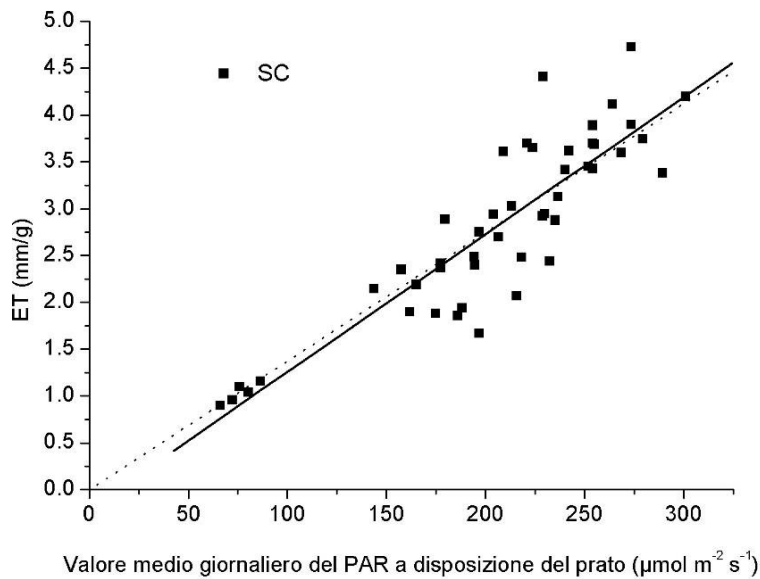


Figura 25 - Relazione tra i valori di evapo-traspirazione media giornaliera calcolati per via gravimetrica ed il valore medio giornaliero della radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) a disposizione a livello dei mini-lisimetri. Tale relazione è stata calcolata per il prato presente nella parte del vigneto con le viti allevate a SC. Anno2006.

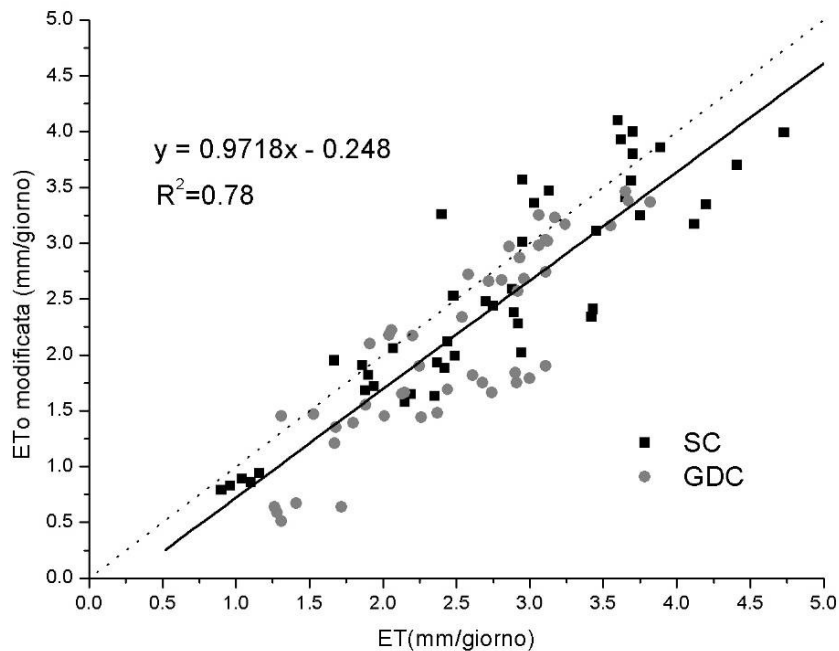


Figura 26 - Relazione tra i valori di evapo-traspirazione media giornaliera stimati usando l'evapo-traspirazione di riferimento (ETo) e quelli calcolati per via gravimetrica. Un'unica regressione è stata calcolata per il prato presente nella parte del vigneto con le viti allevate a SC ed a GDC.

4.2.2. Analisi dei consumi idrici del prato, determinati mediante il metodo della camera, in relazione ai principali parametri climatici che guidano la domanda evaporativa

Il tasso di evapo-traspirazione medio orario (mm/ora) del suolo inerbito, determinato usando la metodologia della camera in indagini svolte nel 2007, è risultato ben correlato con i principali fattori climatici rilevati al momento dei rilievi (tabella 8).

Per entrambe le portate di flusso utilizzate (9.21 e 21.57 l/s) la quantità di radiazione totale a disposizione è risultato il parametro meglio correlato al tasso di evapo-traspirazione secondo una relazione di tipo lineare (figura 27), anche se le differenze tra gli indici di correlazione di tale parametro climatico e del deficit di pressione di vapore non si sono rivelate marcate (tabella 8).

Un modello di regressione lineare multipla è stato sviluppato mettendo in relazione il tasso di evapo-traspirazione medio orario con i parametri climatici, riportati in tabella 8, trattando in maniera separata le misurazioni effettuate con le due portate di flusso utilizzate. Per entrambe le regressioni ottenute le variabili incluse sono l'intensità della radiazione incidente e l'umidità dell'aria (tabella 9). Uno dei problemi che si può presentare nell'analisi di una regressione multipla è la collinearità o elevata correlazione tra le variabili analizzate che non fornendo informazioni aggiuntive vengono omesse dal modello; per tale motivo insieme al fattore radiazione viene introdotto il parametro umidità seppur il suo indice di correlazione (tabella 8) con il tasso evapotraspirativo sia molto basso.

Entrambi i modelli ottenuti hanno mostrato un buon livello di accuratezza rilevando una buona capacità previsionale del tasso di evapo-traspirazione del suolo inerbito, relativamente alle condizioni ambientali in cui si è operato e all'essenza erbacea presa in considerazione. In figura 28 è riportata la relazione tra i valori di evapo-traspirazione stimati utilizzando l'equazione di regressione e quelli determinati con la metodologia della camera considerando la portata di flusso pari a 9,21 l/s.

Tabella 8 Coefficienti di correlazione (R) e significatività tra il tasso di evapo-traspirazione medio orario (mm/ora) del suolo inerbato ottenuto usando la metodologia della camera ed i principali parametri ambientali che guidano la domanda evaporativa

	Radiazione totale Wm ⁻²	VPD Kpa	Umidità aria mbar	Temperatura Aria °C
ET (mm ora ⁻¹)	0.93	0.83	-0.13	0.88
Flusso 9.2 l/s.	***	***	n.s	***
ET (mm ora ⁻¹)	0.76	0.52	-0.22	0.42
Flusso: 21.6 l/s	***	***	n.s	**

n.s. , * , ** , *** = effetto non significativo e significativo per P <= 0.005, 0.001 e 0.0001 rispettivamente

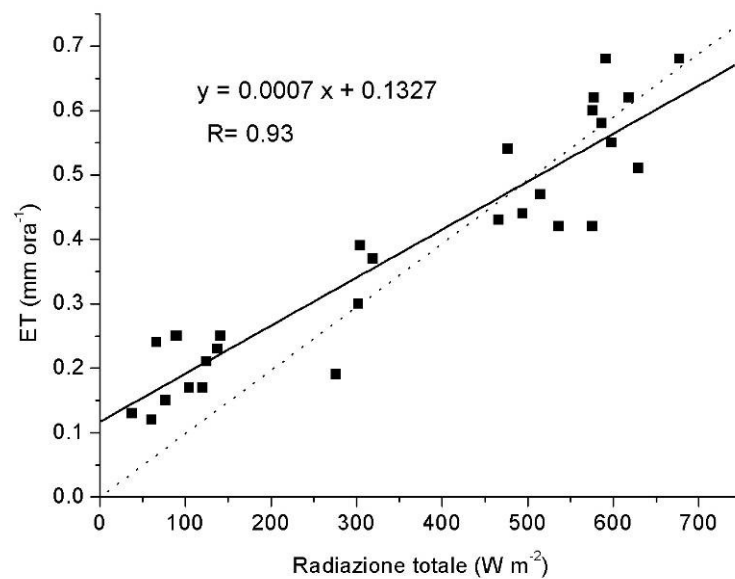


Figura 27 - Relazione tra i valori di evapo-traspirazione media oraria (mm/ora) del suolo inerbato calcolati usando il metodo della camera con una portata di flusso di aria 9.21 l/s e la radiazione totale a disposizione del prato (W/m²).

Tabella 9 - Risultati della regressione lineare multipla ottenuta usando come variabile dipendente l'evapo-traspirazione media oraria e come variabili indipendenti i parametri riportati in tabella 8.

Variabile dipendente	Variabili incluse nel modello di regressione, livello di significatività	R ² del modello
ET (flusso 9.21 l/s)	RADIAZIONE ***(+), UMIDITA' ARIA ** (-)	0.904
ET (flusso 21.57l/s)	RADIAZIONE ***(+), UMIDITA' ARIA ** (-)	0.811

*, **,*** = effetto significativo per P <= 0.05, 0.01 e 0.0001 rispettivamente

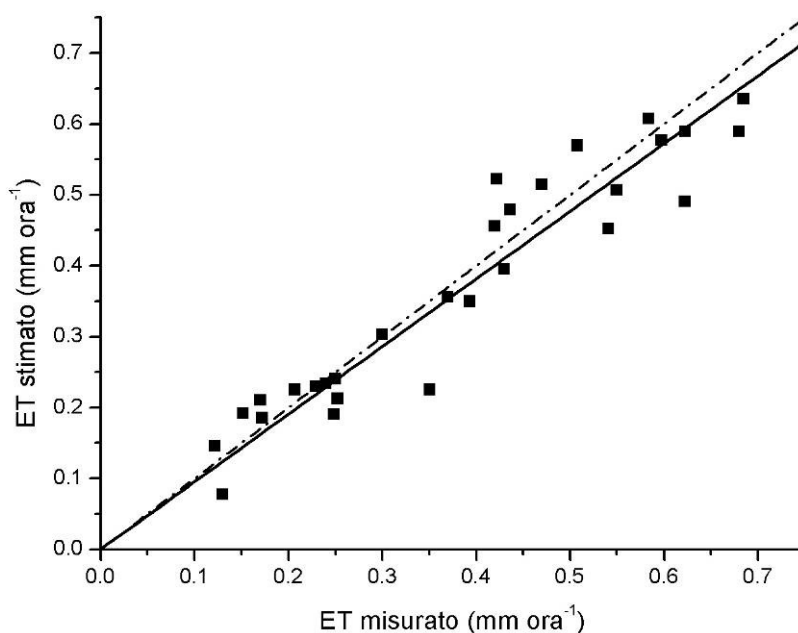


Figura 28 - Relazione tra i valori di evapo-traspirazione medi orari (mm/ora) del suolo inerbito stimati usando il modello di regressione multipla e quelli (mm/ora) determinati usando la metodologia della camera considerando la portata di flusso pari a 9,21 l/s. Il modello lineare di interpolazione dei dati ($y = 0.95x$) è risultato accurato ($R^2 = 0.90$)

4.3. EFFETTO DELLO SFALCIO SUI CONSUMI IDRICI DEL PRATO

4.3.1 Effetto dello sfalcio sui consumi idrici del prato. Valutazioni col metodo gravimetrico (mini-lisimetri)

L'analisi dei risultati relativi al confronto tra le perdite idriche giornaliere, valutate mediante metodo mini-lisimetrico dal giorno successivo all'intervento di taglio, della tesi "prato sfalcio" e di quella di controllo "prato non sfalcio", ha messo in evidenza in entrambi gli anni di prova (2006, 2007) minori consumi idrici del cotico erboso tagliato rispetto a quello di controllo non tagliato (Figure 29 e 30). Sia per lo sfalcio effettuato nel 2006 che nel 2007 sono state rilevate differenze statisticamente significative del valore di evapo-traspirazione giornaliero medio dell'intero periodo di misurazioni tra le tesi prese in considerazione (tabella 10).

Tabella 10- In tabella sono riportati, per l'anno 2006 e 2007, i valori di evapo-traspirazione giornalieri delle tesi prese in considerazione, mediati per l'intero periodo di misurazione. I valori medi all'interno delle singole colonne sono stati confrontati usando il Tuckey test. Lettere diverse indicano valori statisticamente differenti.

tesi	ET medio (mm/giorno)	
	Anno 2006	Anno 2007
prato non sfalcio	2.4 a	4.25 a
prato sfalcio	1.6 b	3.33 b
suolo nudo lavorato	----	2.39 c

Nel 2006, nelle due settimane successive l'intervento di taglio, i consumi idrici del prato sfalcio sono risultati inferiori per un valore medio del 36% rispetto a quelli del prato non sfalcio e poiché le indagini sono state eseguite in settembre, non si è verificata una attiva ricrescita del cotico dopo il taglio (figura 29). In realtà la superficie fogliare del cotico erboso rimasta in seguito allo sfalcio si presentava per lo più gialla mostrando inoltre una copertura del suolo parziale ed inferiore rispetto a quella del cotico non tagliato.

Nell'anno 2007 le differenze tra le due tesi sono risultate pari al 30% nei tre giorni successivi l'intervento di taglio, per poi ridursi nelle giornate successive ad un valore medio

del 20% (figura 30). Relativamente a tale anno l'entità del risparmio idrico ottenuta non è stata quindi elevata, ma soprattutto i suoi effetti non sono risultati prolungati nel tempo sebbene l'intervento di taglio sia stato eseguito portando il cotico erboso da un'altezza media di 18cm ad una di 4cm ed asportando una quantità di biomassa vegetale media pari a 186 g di sostanza secca/m² di suolo. La superficie fogliare dell'erba rimasta si trovava infatti in buono stato vegetativo e in presenza di una disponibilità idrica del suolo non limitante (figura 31); in queste condizioni in poco tempo le lamine fogliari della Festuca in attiva crescita potrebbero essere tornate ad avere un livello di intercettazione luminosa e quindi di traspirazione simile a quello del prato non tagliato. Indagini condotte da Pool et al. (1995, l.c.) utilizzando mini-lisimetri inerbiti con l'essenza erbacea *Dactylis glomerata* posizionati nell'interfilare del vigneto, hanno messo in evidenza, nel periodo compreso tra la fioritura e l'invaiaura della vite, differenze del 25% tra i consumi idrici del prato non sfalcato e di quello sfalcato. In questo caso l'intervento di taglio veniva eseguito ogni qualvolta il cotico raggiungeva un'altezza di 30cm.

Dal confronto effettuato nel 2007, sempre su base mini-lisimetrica, tra i consumi idrici del suolo lavorato ed inerbito, sia sfalcato che non sfalcato, sono emerse differenze statisticamente significative tra i valori medi della tesi lavorata e delle altre due tesi (tabella 10). Il tasso di evaporazione dal suolo lavorato tende ad assumere valori elevati nei giorni seguenti le piogge per poi diminuire rapidamente quando i suoi strati superficiali si asciugano. Ad esempio, il consumo idrico del suolo nudo ad una settimana di distanza dall'ultimo evento piovoso (19 giugno) è risultato in media pari a 0.8mm, mentre quello del prato sfalcato e non sfalcato rispettivamente di 3.2 e 4 mm (figura 30).

I valori di umidità del terreno all'interno dei mini-lisimetri, espressi come dato medio per l'intero periodo delle indagini, sono risultati più elevati nella tesi suolo nudo e più bassi in quella prato non sfalcato, confermando i diversi consumi idrici evidenziati tra le modalità di gestione del suolo, sebbene le differenze tra le tesi si siano rivelate molto modeste (tabella 11). È necessario sottolineare che per tutta la durata delle indagini i valori di umidità del suolo nei mini-lisimetri sono rimasti sempre a buoni livelli (figura 31). Il fatto che durante tale periodo si siano verificati eventi piovosi e che i tassi evapotraspirativi mini-lisimetrici non siano risultati particolarmente elevati ha evitato una diminuzione del contenuto idrico del suolo all'interno dei vasi fino a valori prossimi al punto di appassimento, come invece osservato in indagini condotte al paragrafo 4.1.3..

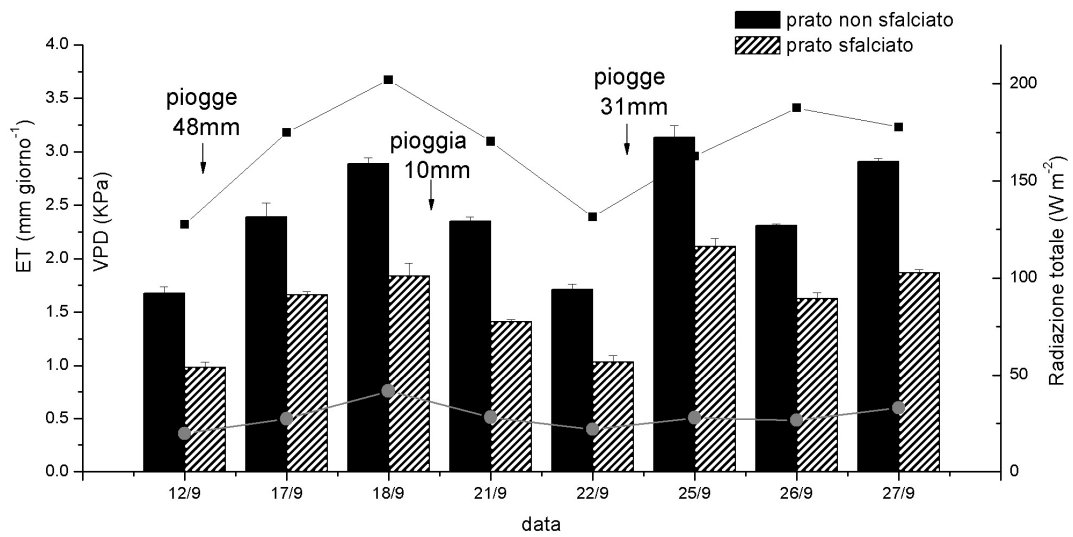


Figura 29 - Andamento per l'anno 2006 dei consumi idrici, dal giorno successivo all'intervento di taglio avvenuto l'11/9, del prato sfalciato e del prato non sfalciato valutati mediante metodo mini-lisimetrico. Le barre verticali rappresentano l'errore standard; le frecce indicano gli eventi piovosi.

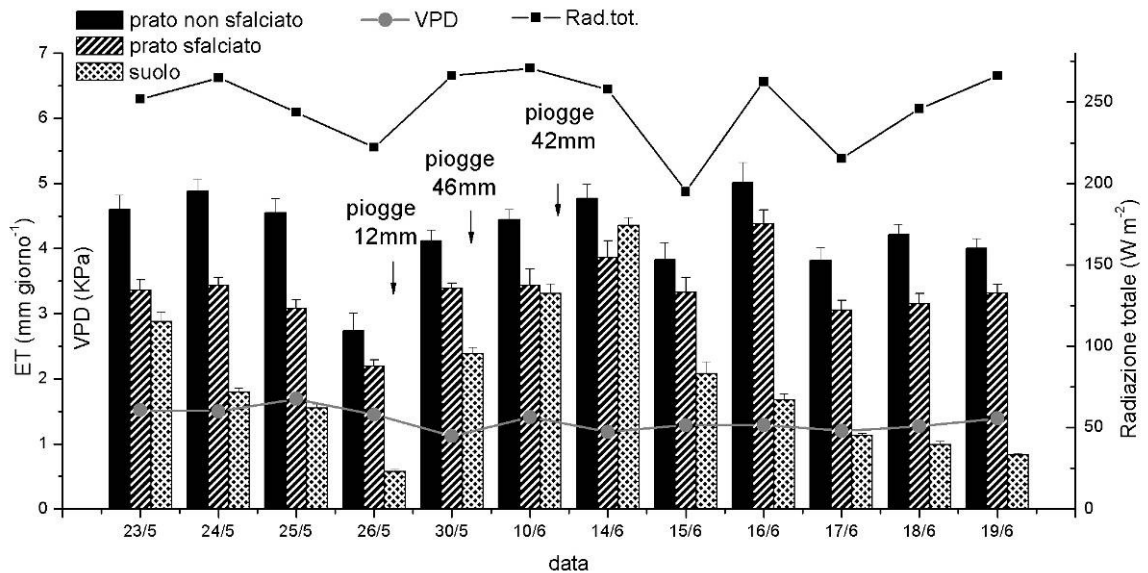


Figura 30 - Andamento per l'anno 2007 dei consumi idrici dal giorno successivo all'intervento di taglio, avvenuto il 22/5, delle tesi: mini-lisimetri con suolo inerbito non sfalciato, con suolo inerbito sfalciato e con suolo nudo. Le barre verticali rappresentano l'errore standard; le frecce indicano gli eventi piovosi.

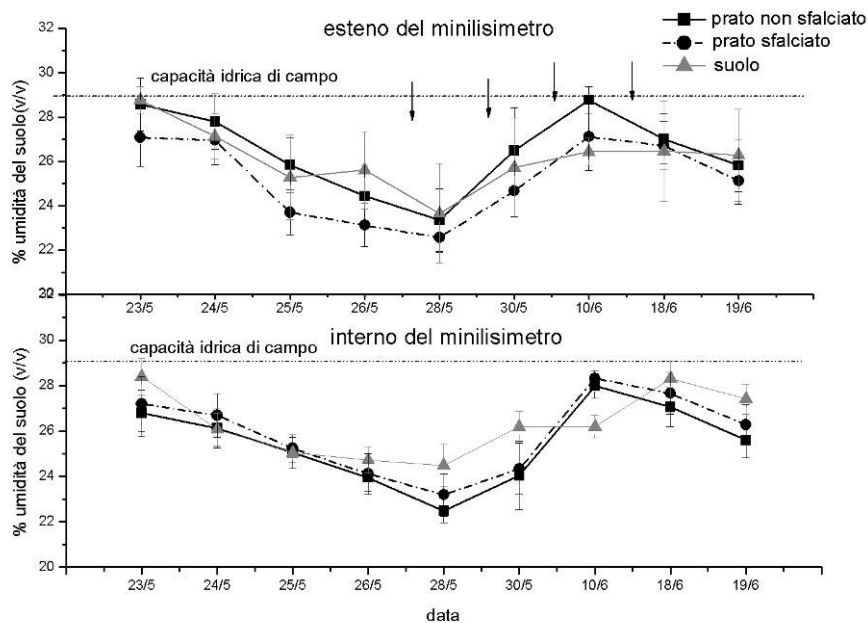


Figura 31 - Andamento per l'anno 2007, dal giorno successivo all'intervento di taglio avvenuto il 22/5, dell'umidità del suolo nei primi 15 cm di profondità, all'interno e all'esterno dei mini-lisimetri per le tesi di gestione del suolo: prato non sfalciato, sfalciato e suolo nudo. Le barre verticali rappresentano l'errore standard; le frecce indicano gli eventi piovosi.

Tabella 11- Effetto della gestione del suolo sull'umidità media del suolo internamente (dentro) ed esternamente (fuori) ai mini-lisimetri a profondità di 0-15 cm e 0-30 cm (metodo TDR). I valori medi all'interno delle singole colonne sono stati confrontati usando il Tuckey test. Lettere diverse indicano valori statisticamente differenti.

Tesi	SONDE 0-15 cm		SONDE 0-30 cm
	dentro	fuori	fuori
Prato non sfalciato	25.57 b	26.51 a	27.2 n.s.
Prato sfalciato	26.01 ab	25.54 b	26.7 n.s
Suolo lavorato	26.69 a	26.38 a	26.3 n.s

4.3.2. Effetto dello sfalcio sui consumi idrici del prato. Valutazione con il metodo della camera

I risultati relativi alle misurazioni del tasso di evapo-traspirazione effettuate con la metodologia della camera nei giorni di sfalcio hanno messo in evidenza, dopo tale intervento, riduzioni dei consumi idrico della parcella analizzata variabili, a seconda della quantità di biomassa asportata e dell'altezza del cotico erboso prima del taglio, da un valore minimo del 35% ad uno massimo del 50% (tabella 12).

Una relazione di tipo lineare è stata rilevata tra la riduzione percentuale dell'evapo-traspirazione e la quantità di biomassa asportata per valori di sostanza secca compresi tra 140 e 312 grammi/m² (figura 32).

Tabella 12 -In tabella sono riportate, per ogni parcella di prato analizzata nelle due date di rilievo, l'altezza del cotico erboso prima del taglio, la biomassa secca asportata, il tasso di evapo-traspirazione del prato prima e dopo il taglio del cotico e la sua riduzione percentuale in seguito a tale intervento

data	altezza cotico prima del taglio cm	biomassa asportata g/m ²	ET prima del taglio mm/ora	ET dopo il taglio mm/ora	Riduzione ET con il taglio %
22/5	26	312.4	0.87	0.44	49.4
22/5	16	140.5	0.91	0.59	35.2
2/8	28.8	227.3	0.99	0.6	39.4
2/8	30	292.3	1.02	0.56	45.1
2/8	30.4	276.7	0.93	0.54	42.0

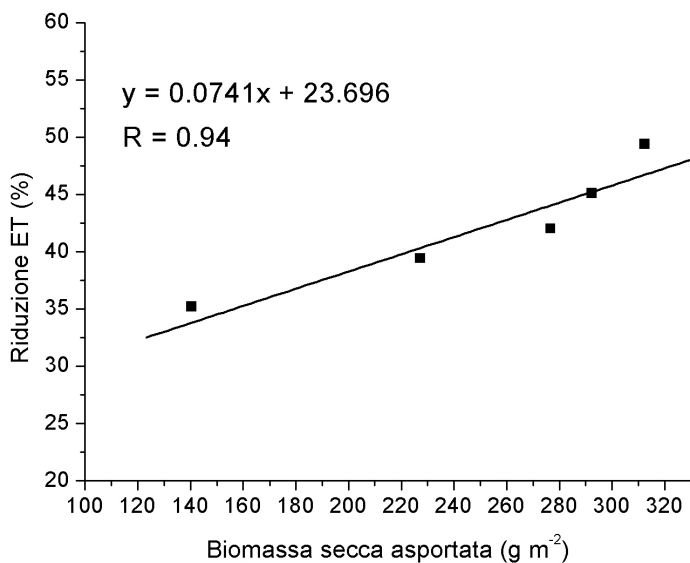


Figura 32- Relazione tra la riduzione percentuale dell'evapo-traspirazione e la quantità di biomassa secca asportata per m² di suolo.

Differenze statisticamente significative sono emerse anche dal confronto, effettuato il giorno seguente all'intervento di taglio, della dinamica giornaliera dei consumi idrici di una parcella sfalciata (LAI 2 m² m⁻² e altezza del cotico 5 cm) e di una non sfalciata utilizzata come controllo (LAI 8 m² m⁻² e altezza del cotico 18) (figura 33). A fronte di un consumo mediamente pari a 0.6 mm/ora per la parcella non sfalciata e di 0.44 mm/ora per la parcella sfalciata, l'entità media della riduzione delle perdite idriche rilevate nella parcella sottoposta a taglio del cotico rispetto a quella di controllo è risultata pari al 26%.

Ripetendo tali misurazioni a circa tre settimane di distanza dall'intervento di taglio sulle stesse parcelle, non è stata evidenziata alcuna differenza statisticamente significativa tra il tasso di evapo-traspirazione del prato precedentemente sfalciato e quello del cotico erboso non sfalciato (figura 34). In tale data sia il prato tagliato che quello non tagliato avevano raggiunto un'altezza rispettivamente di 10 e 21cm ed un indice di area fogliare (LAI), determinato per via indiretta, pari a 4.7 e 9.4 (m² m⁻²). Probabilmente, come riportato in precedenza relativamente alle misure mini-lisimetriche, l'intensa attività di ricrescita del cotico erboso sfalciato ha determinato, dopo circa tre settimane dall'intervento di taglio, una sua buona copertura del suolo ed un livello di intercettazione luminosa simile a quella del

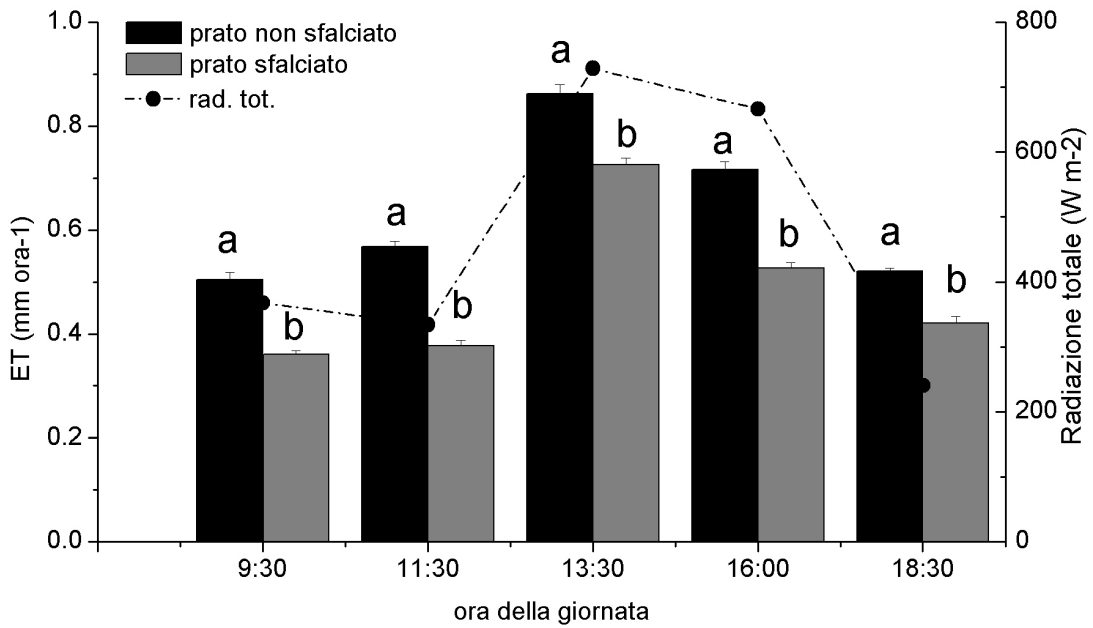


Figura 33- Dinamica giornaliera, il giorno successivo l'intervento di taglio (23 maggio), dei consumi idrici (mm/ora) rilevati da misurazioni effettuate con la metodologia della camera in una parcella di prato sfalciato e in una non. Le barre verticali rappresentano l'errore standard. Lettere diverse indicano valori statisticamente differenti (t test).

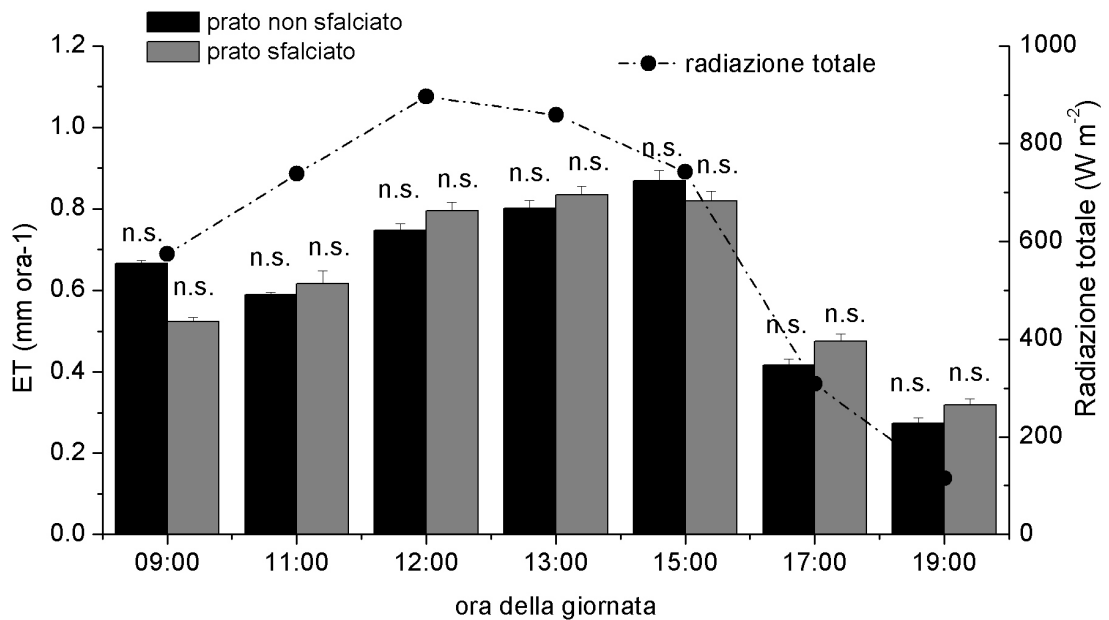


Figura 34- Dinamica giornaliera, a circa tre settimane dallo sfalcio (10 giugno), dei consumi idrici (mm/ora) rilevati da misurazioni effettuate con la metodologia della camera in una parcella di prato sfalciato e in una non. Le barre verticali rappresentano l'errore standard. n.s. indica valori statisticamente non differenti (t test).

prato non sfalciato, il quale pur possedendo un maggiore LAI presentava diversi strati fogliari in ombra.

Differenze statisticamente significative non sono emerse neanche dal confronto tra il contenuto idrico del suolo, determinato come valore medio nel periodo successivo all'intervento di sfalcio ad una profondità da 0 a 30 cm, delle porzioni dell'interfilare in cui il prato era stato tagliato e di quelle in cui non lo era stato (tabella 11).

L'analisi statistica dei dati di umidità del terreno misurati ad una profondità da 0 a 15 cm, ha invece messo in evidenza come il contenuto idrico del suolo nella parte dell'interfilare non sfalciato sia risultato leggermente superiore a quello della parte sfalciata. La differenza rilevata, anche se di entità modesta, potrebbe essere spiegata dal fatto che la maggiore biomassa vegetale del cotico non tagliato, ricoprendo il terreno con diversi strati fogliari, abbia creato un effetto pacciamante, mentre nella parcella di prato sottoposta al taglio, una maggiore penetrazione della radiazione a terra avrebbe riscaldato il suolo determinando un aumento dei processi evaporativi nello strato superficiale.

Differenze statisticamente significative sono emerse dal confronto, effettuato in due date (19 giugno e 12 luglio), tra la dinamica giornaliera dei consumi idrici di una parcella di prato sottoposta a sfalcio il 22 maggio (altezza del cotico 14 cm e 20 cm in corrispondenza del primo e del secondo rilievo) e di una parcella di suolo nudo (figure 35 e 36). In entrambe le date l'umidità del terreno, misurata ad una profondità di 0-30 cm nell'area di suolo inerbito e lavorato analizzate con la camera, era a valori non limitanti, prossimi alla capacità idrica di campo (primo rilievo: 26.1% v/v prato, 27.4% v/v suolo ; secondo rilievo: 27.5% v/v prato, 28% v/v suolo) (figura 37). Nonostante la buona disponibilità di acqua nel terreno il tasso di evaporazione dal suolo nudo è risultato basso e di molto inferiore a quello evapo-traspirativo del suolo inerbito durante l'intera giornata. La differenza rilevata tra i consumi idrici delle due gestioni del terreno a confronto ha infatti evidenziato che il suolo nudo ha perso il 76% in meno di acqua in ciascuna delle due date. È da sottolineare che il suolo nudo si presentava asciutto e con una "crosta" superficiale in entrambe le giornate di rilievo. Nonostante la recente lavorazione avesse smosso il terreno, tale "crosta" deve aver impedito la perdita di acqua dagli strati più profondi.

A conferma di ciò indagini condotte da Standard e Weltz (2006, l.c.) per valutare i flussi idrici da un suolo nudo e da una vegetazione arbustiva mediante l'uso di una camera di forma emisferica collegata a degli psicrometri, hanno messo in evidenza tassi di evaporazione del terreno nudo molto inferiori, cioè pari ad un valore medio giornaliero del 92% in meno,

rispetto a quello traspirativo di tutte le specie arbustive prese in considerazione. L'esperimento era stato condotto in condizioni di umidità del suolo non limitanti, sebbene i valori di questa a livello superficiale (profondità di 2.5 cm) si fossero rilevati molto bassi.

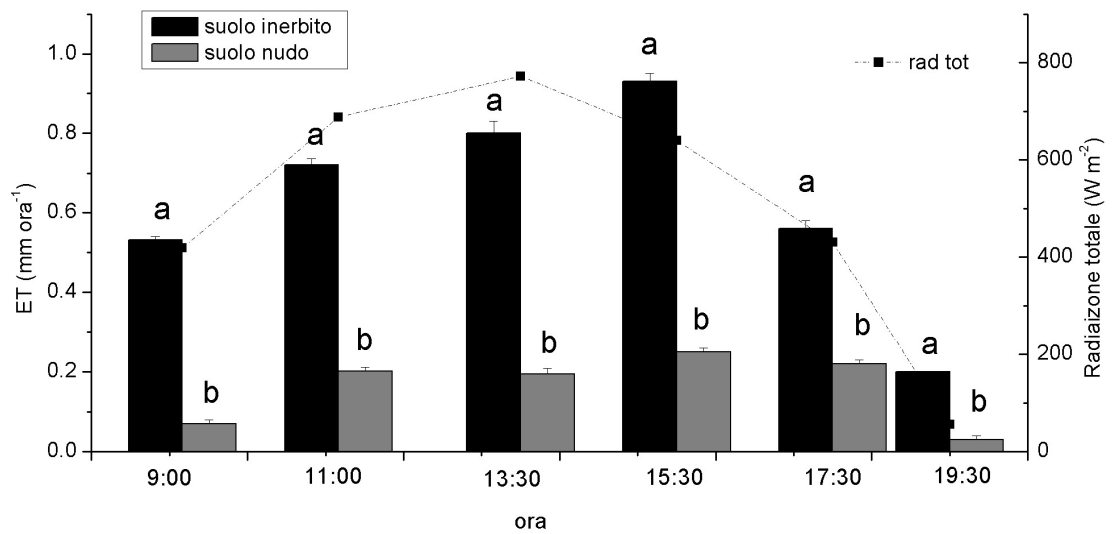


Figura 35- Dinamica giornaliera, a circa un mese dall'ultima lavorazione del suolo (19 giugno) dei consumi idrici (mm/ora) rilevati da misurazioni effettuate con la metodologia della camera in una parcella di prato ed in una di suolo nudo. Le barre verticali rappresentano l'errore standard. Lettere diverse indicano valori statisticamente differenti (t -est).

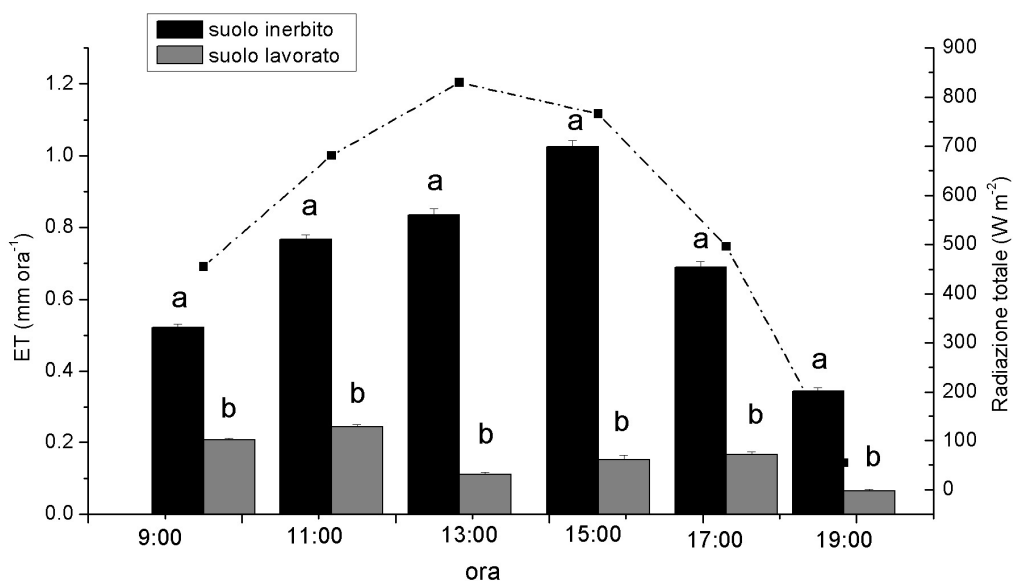


Figura 36 - Dinamica giornaliera, a due giorni di distanza dalla lavorazione del terreno (12 luglio) dei consumi idrici (mm/ora) rilevati da misurazioni effettuate con la metodologia della camera in una parcella di prato ed in una di suolo nudo. Le barre verticali rappresentano l'errore standard. Lettere diverse indicano valori statisticamente differenti (t- test).

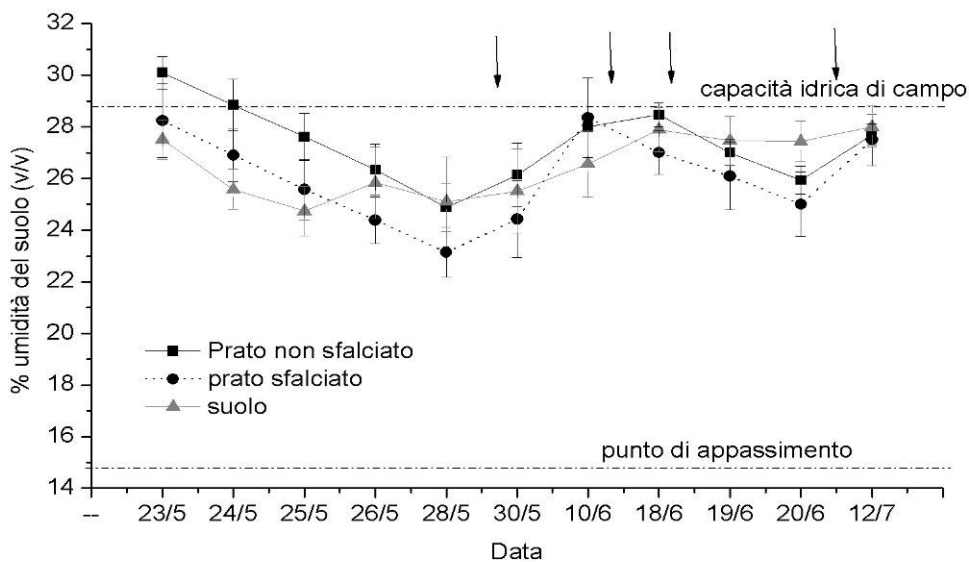


Figura 37- Andamento per l'anno 2007, dal giorno successivo all'intervento di taglio avvenuto il 22/5, dell'umidità del suolo nell'interfilare ad una profondità di 0-30 cm per le tesi di gestione del suolo: prato non sfalciato, sfalciato e suolo nudo. Le barre verticali rappresentano l'errore standard; le frecce indicano gli eventi piovosi.

5. CONCLUSIONI

Come già accennato nel presentare gli scopi della tesi, tutte le esperienze realizzate, pur nella loro specificità di metodo e di esecuzione, sono state finalizzate ad approfondire le conoscenze relative ai consumi idrici del prato consociato al vigneto. La determinazione delle perdite idriche per evapo-traspirazione dal suolo inerbito risulta infatti un problema di primario interesse al fine di effettuare una corretta analisi del bilancio idrico complessivo del vigneto.

Sotto il profilo metodologico il lavoro di tesi si è basato sulla valutazione dell'attendibilità delle misure ottenute con due metodi di valutazione diretta dei consumi idrici del suolo inerbito nel vigneto (mini-lisimetri e camera).

Dall'insieme dei risultati conseguiti usando il sistema gravimetrico (mini-lisimetri) per determinare i reali consumi idrici del prato, sono emerse alcune problematiche tra cui la rapida diminuzione dell'umidità del suolo all'interno dei vasi, usati come mini-lisimetri, non coerente con l'abbassamento dell'umidità del terreno inerbito al loro esterno, misurata attraverso il metodo TDR. I valori di umidità del suolo rilevati internamente ed esternamente ai vasi sono infatti risultati simili solo per un breve periodo di tempo successivo ad un evento piovoso (circa 5 - 8 giorni in relazione all'entità del tasso di evapo-traspirazione misurato). Il metodo mini-lisimetrico può comunque risultare utile in studi di tipo comparativo tra i consumi idrici del prato sottoposto a diversi trattamenti, ad esempio sfalcio- non sfalcio.

Il secondo approccio metodologico preso in considerazione, basato sull'uso di una camera in plexiglas collegata ad un analizzatore di gas all'infrarosso, si è invece dimostrato valido per determinare con un buon livello di precisione i consumi idrici del suolo inerbito nel vigneto. Tra i vantaggi legati all'uso del sistema della camera è necessario inoltre ricordare la possibilità di usare una strumentazione portatile assemblabile (camera, ventilatore, Ciras) che può essere facilmente trasportata in campo.

Entrambe le metodologie sopra riportate sono state utilizzate per valutare la possibilità, in condizioni di disponibilità idrica del suolo non limitante, di determinare il consumo idrico del prato in maniera indiretta. A tal proposito per i dati mini-lisimetrici relativi all'anno 2006 è stata messa in evidenza una positiva correlazione dei valori di consumo idrico del prato con le misure di luce a disposizione del cotico erboso e con altri parametri climatici misurati da una capannina meteorologica posta in prossimità del vigneto (temperatura e umidità dell'aria e calcolo del deficit di pressione di vapore). I valori dell'intensità radiativa a disposizione del

prato nell'interfilare sono stati infatti introdotti nell'equazione di Penman-Monteith (ET_o) ed hanno permesso di valutare con un buon livello di precisione il consumo idrico giornaliero della copertura erbacea nel vigneto. In particolare in una giornata in cui l'intensità radiativa media giornaliera è risultata pari a 154 W m⁻² il consumo idrico del prato è stato valutato pari a 3.5 mm/giorno. Attraverso l'impiego della camera è stato inoltre sviluppato un modello di regressione lineare multipla, che partendo dai valori della quantità di radiazione a disposizione del prato tra i filari delle viti, ha permesso di valutare la dinamica giornaliera dei consumi idrici del suolo inerbito. Nel caso specifico, con una radiazione incidente di 100 W m⁻², il prato risulta consumare 0.15 mm di acqua all'ora, mentre con una radiazione di 670 W m⁻² tale consumo raggiunge gli 0.8 mm di acqua all'ora.

Altri risultati conseguiti nel lavoro di tesi hanno riguardato le variazioni di consumo idrico del prato in funzione delle operazioni di sfalcio. Sia attraverso l'uso dei mini-lisimetri sia attraverso l'impiego della camera è stato messo in evidenza, come era da attendersi, che il tasso di evapo-traspirazione del suolo inerbito si riduce dopo il taglio del cotico erboso. Tuttavia l'entità e soprattutto la durata di tale riduzione è stata determinata dalla velocità di ricrescita del prato in seguito allo sfalcio. Ad esempio le misurazioni effettuate con la metodologia della camera il giorno successivo all'intervento di taglio, tra le ore 10 e le ore 18, hanno permesso di evidenziare consumi idrici mediamente pari a 0.6 mm/ora per la parcella non sfalciata (altezza del cotico 18 cm) e di 0.44 mm/ora per la parcella sfalciata (altezza del cotico 5 cm). Ripetendo sulle stesse parcelle tali valutazioni a tre settimane circa di distanza dall'intervento di taglio, i valori medi del tasso di evapo-traspirazione del cotico erboso sfalciato (0.62 mm/ora) sono risultati uguali a quello dei controlli non sfalciati (0.62mm/ora). Questi ultimi risultati hanno importanza anche sotto il profilo applicativo, poiché possono fornire agli agricoltori le opportune indicazioni riguardanti la programmazione e la frequenza degli interventi di controllo del cotico erboso.

Infine i risultati ottenuti confrontando i consumi idrici di due gestioni differenziate del terreno (lavorazione ed inerbimento) con la metodologia della camera nell'interfilare di un vigneto, hanno messo in evidenza un tasso di evapo-traspirazione medio del suolo inerbito (tra le ore 9.30 e le ore 18) pari a 0.6 mm/ora, cioè superiore del 75% a quello evaporativo del suolo lavorato che è risultato mediamente pari a 0.15 mm/ora. Appare evidente che l'introduzione dell'inerbimento in climi caldo aridi deve tenere conto di tali consumi idrici aggiuntivi; ma è anche da considerare che in situazioni di scarsa piovosità risulta essenziale la

scelta di una essenza erbacea poco competitiva e, possibilmente, con fasi fenologiche sfalsate rispetto a quelle della vite.

La tecnica dell'inerbimento, che a fronte di molteplici aspetti positivi (blocco dell'erosione, transitabilità, miglioramento della struttura del suolo ecc.) presenta anche aspetti negativi (competizioni idriche in particolare) deve essere infatti correttamente gestita attraverso conoscenze sui livelli di evapo-traspirazione e sugli effetti dello sfalcio su questo particolare parametro.

6. BIBLIOGRAFIA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998.** Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.
- Aronson L.J., Gold A.J., Hull R.J and Cisar J.L., 1987.** Evapotranspiration of cool-season turfgrasses in the humid Northeast. *Agronomy Journal*, 79, 901-905.
- Balogh J., Nagy Z., Fóti Sz., Pintér K., Czóbel Sz., Péli E., Acosta M., Marek M., Csintalan Zs. and Tuba Z., 2007.** Comparison of CO₂ and H₂O fluxes over grassland vegetations measured by the eddy-covariance technique and by open system chamber. *Photosynthetica*, 45 (2), 288-292
- Battany M. C. and Grismer M. E., 2000.** Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness *Hydrological Processes*, 14 (7), 1289-1304
- Bremer D.J., 2003** Evaluation of microlysimeters used in turfgrass evapotranspiration studies using the dual-probe heat-pulse technique. *Agronomy journal*, 95 (6), 1625-1632.
- Bonachela S. , Orgaz F. , Villalobos F. J. and Fereres E., 1999.** Measurement and simulation of evaporation from soil in olive orchards. *Irrig Sci* , 18, 205–211.
- Boast, C.W. and Robertson, T.M., 1982.** A 'micro-lysimeter' method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46, 689-696.
- Burkart S., Manderscheid R. and Weigel H.J., 2007.** Environmental and Experimental Botany, 2007 Design and performance of a portable gas exchange chamber system for CO₂- and H₂O-flux measurements in crop canopies. *Environmental and Experimental Botany* 61, 25–34.
- Celette F., Wery J., Chantelot E., Celette J. and Gary C., 2005.** Belowground interactions in a vine (*Vitis vinifera* L.)-tall fescue (*Festuca arundinacea* Shreb.) intercropping system: water relations and growth. *Plant and Soil* 276, (1-2), 205-217.
- Colugnati G., Cattarossi G. e Crespan G., 2006.** L'inerbimento nel vigneto moderno. *L'informatore Agrario* 10, 53-65.
- Corelli Grappadelli L. e Magnanini E., 1993.** A whole-tree system for gas-exchange studies. *HortScience* 28, 41-45.
- Czóbel Sz., Fóti Sz., Balogh J., Nagy Z., Bartha S. and Tuba Z.** Chamber series and space-scale analysis of CO₂ gas-exchange in grassland vegetation: A novel approach. *Photosynthetica* 43 (2): 267-272, 2005.

Di Lorenzo R., Collegano G., Ferrante S., La Mantia T., Pristina L. and Pasta S., 1999. Prove di tecniche innovative di gestione del suolo per la viticoltura degli ambienti caldo-aridi. Atti del convegno XXIV Momevi sulla gestione del suolo in viticoltura. Notiziario tecnico 58, 79-87.

Dragoni D., Lakso A.N. and Piccioni R.M., 2005. Transpiration of apple trees in a humid climate using heat pulse sap flow gauges calibrated with whole-canopy gas exchange chambers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130, 85–94.

Dragoni D., Lakso A. N., Piccioni R. M., Tarara J. M., 2006. Transpiration of Grapevines in the Humid Northeastern United States. *Am. J. Enol. Vitic.*, 57 (42), 460–467.

Dugas W. A., Reicosky D. C., Kiniry J. R., 1997. Chamber and micrometeorological measurements of CO₂ and H₂O fluxes for three C₄ grasses, *Agric. For. Meteorol.*, 83, 113–133.

Evelt S.R., Warrick A.W. and Matthias A.K., 1995. Wall material and capping effects on microlysimeter temperatures and evaporation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:329–336.

Feldhake C.M., Danielson R.E. and Butler J.D., 1983. Turfgrass evapotranspiration. I. Factors influencing rate in urban environments. *Agronomy Journal* 75, 824-830.

Feldhake C.M., Butler J.D. and Danielson R.E., 1985. Turfgrass evapotranspiration. Responses to shade preconditioning. *Irrigation Science* 6:265-270

Figuerola P. I. and Berliner P.R., 2005. Evapotranspiration under advective conditions. *Int. J. Biometeorol.* 49,403–416.

Kobriger J. M., Kliewer W. M. and Lagier S. T., 1984. Effects of Wind on Water Relations of Several Grapevine Cultivars. *Am. J. Enol. Vitic.* 35 (3), 164-169.

Garcia, R.L., Norman, J.M. and McDermitt, D.K., 1990. Measurements of canopy gas exchange using an open chamber system. *Rem. Sens. Rev.* 5 (1), 141–162.

Giuliani R., Nerozzi F., Magnanini E. and Corelli Grappadelli L., 1997. Influence of environmental and plant factors on canopy photosynthesis and transpiration of apple trees. *Tree Physiology* 17 (10), 637-645

Grau A., 1995. A closed chamber technique for field measurement of gas exchange of forage canopies. *N. Z. J. Agric. Res.* 38: 71-77.

Heijmans M. M. P. D., Arp W. J., Chapin III F. S. ,2004. Carbon dioxide and water vapour exchange from understory species in boreal forest. *Agric. For. Meteorol.*, 123, 135–147.

Heilman J.L., McInnes K.J., Gesch R.W., Lascano R.J. and Savage M.J., 1996. Effects of trellising on the energy balance of a vineyard. *Agric. For. Meteorol.*, 81, 79-93.

Iglesias A., Garrote L., Flores F. and Moneo, M., 2007. Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean. *Water Resour. Manage.*, 21, 775–788.

Intrieri C. e Poni S., 1998. Misure degli scambi gassosi su chiome intere di vite: bilancio di un quadriennio d'esperienze. *Frutticoltura* 11, 69-83.

Intrieri C., Lia G., Filippetti I., Colucci E., Altissimo A. e Poni S., 2002. Comportamento di specie erbacee nell'inerbimento di vigneti. *L'Informatore Agrario*, 10, 83-89.

Intrieri C., Filippetti I., Lia G., Ramazzotti S., Colucci E. e Poni S., 2004. Distanze sulla fila e gestione del suolo nel vigneto. *Supplemento a L'Informatore Agrario*, 16, 19-24.

Intrieri C.; Filippetti I.; Lia G.; Govi G.; Ramazzotti S.; Bucchetti B.; Centinari M. e Colucci E., 2005. Prove di inerbimento in vigneti collinari non irrigati di Sangiovese e Chardonnay nella prospettiva di coltivazione integrata e biologica. *Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura.*, 2, 41 – 50.

Lopes C., Monteiro A., Rückert F. E., Gruber B., Steinberg B., and Schultz H. R., 2004. Transpiration of grapevines and co-habiting cover crop and weed species in a vineyard. A "snapshot" at diurnal trends. *Vitis* 43 (2), 111-117

Mattii G.B. e Ferrini F., 2005. La gestione del suolo. In: M. Marenghi (ed) *Manuale di Viticoltura – impianto, gestione e difesa del vigneto*. Ed. Agricole, BO, I, 157-171.

McNaughton K.G. and P.G. Jarvis., 1983. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. p. 1–47. In T.T. Kozlowski (ed.) *Water deficits and plant growth*. Vol. 7. Academic Press, New York.

McLeod M. K., Daniel H., Faulkner R., Murison R., 2004. Evaluation of an enclosed portable chamber to measure crop and pasture actual evapotranspiration at small scale. *Agricultural Water Management*, 67, (1),15-34.

Morlat R., Jacquet A. and Asselin C., 1993. Principaux effets de l'enherbement permanent contrôlé du sol, dans un essai de longue durée en Anjou. *Prog. Agri. Viti.*, 110, 406–410.

Morlat R. and Jacquet A., 2003. Grapevine Root System and Soil Characteristics in a Vineyard Maintained Long-term with or without Interrow Sward. *Am. J. Enol. Vitic.*, 54 (1), 1-7

Pickering N. B. , Jones J. W. and Boote K. J., 1993. Evaluation of the portable chamber technique for measuring canopy gas exchange by crops. *Agric. for. meteorol.*, 63 (3-4), 239-254.

Pool R.M., Lakso. A.N., Dunst R., and Fendinger A., 1995. Identifying less competitive and lower environmental Cover crop system for New York vineyards. *N.Y.State. I.P.M. Report*.

Poni S., Magnanini E. and Bernizzoni F., 2003. Degree of correlation between total light interception and whole-canopy net CO₂ exchange rate in two grapevine growth systems. *Australian J. Grape and Wine Research*, 9 (1): 2-11

Poni S. Magnanini E. e Rebucci B., 1997. Measurements of whole-vine gas-exchange using an automated chamber system. *HortScience*, 32 (1), 64-67.

Poni S., Intrieri C. e Magnanini E., 1999. Set-up, calibration and testing of a custom-built system for measuring whole-canopy transpiration in grapevine. In *Proceedings of the First ISHS Workshop on Water Relations of Grapevines. Acta Horticulturae* 493, 149-159.

Poni S., 2004. I rapporti tra la disponibilità idrica del suolo, la funzionalità della chioma e la qualità del prodotto. *Atti del convegno XXIX Momevi Gestione idrica e nutrizione del vigneto: binomio strategico per il miglioramento della qualità dei mosti e dei vini.*

Poni S., 2005. La gestione idrica del vigneto In: M. Marengi (ed) *Manuale di Viticoltura – impianto, gestione e difesa del vigneto.* Ed. Agricole, BO, I,115-133.

Ramazzotti S. e Intrieri C., 2008. I metodi di gestione integrata per l'adozione della agricoltura conservativa nei sistemi colturali poliennali: viticoltura. In M. Pisante (ed) *Agricoltura Blu – La via italiana dell'agricoltura conservativa – Principi, tecnologie e metodi per una produzione sostenibile.* Edagricole, BO, 11-35.

Rana G, Katerji N., 2000. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *European Journal of Agronomy* 13 (2-3), 125-153.

SAS Institute, 1994. *SAS/STAT User's Guide.* SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.

Scalabrelli G., Ferroni G., Boselli M., Bandinelli R. e Mancuso S., 1999. L'inerbimento del vigneto in Toscana. *Atti del convegno XXIV Momevi sulla gestione del suolo in viticoltura. Notiziario tecnico* 58, 43-63.

Schultz H.R., 2000. Climate change in viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV effects. *Austr.J. Grape and Wine Research* 6, 2-12

Schultz H.R. and Lebon E., 2005. Modelling the effect of climate change on grapevine water relations. *Proc. VIIth IS on Grapevine, Acta Hort* 689, ISHS 2005

Silvestroni O., Manni E., Borghesi L. e Colonnelli R., 1999. Esperienze sulla gestione del suolo nella viticoltura collinare delle Marche. *Atti del convegno XXIV Momevi sulla gestione del suolo in viticoltura. Notiziario tecnico* 58, 65-78.

Sirois, D. J. and Cooper, G.R., 1964. The influence of light intensity, temperature and atmospheric carbon dioxide concentration of the rate of apparent photosynthesis of a mature apple tree. *Maine Agric. Exp. Sta. Bull.*, 626.

Stannard D. I. e Weltz M.A., 2006. Partitioning evapotranspiration in sparsely vegetated rangeland using a portable chamber. *Water Resources Research*, 42 (2), pages W02413.

Steduto P., Çetinkökü Ö., Albrizio R. and Kanber, R., 2002. Automated closed-system canopy-chamber for continuous field-crop monitoring of CO₂ and H₂O fluxes. *Agr. Forest Meteorol.* 111: 171-186.

Tesic D., Keller M. and Hutton R. J., 2007. Influence of Vineyard Floor Management Practices on Grapevine Vegetative Growth, Yield, and Fruit Composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 58 (1), 1-11.

Todd, R.W., S.R. Evett and T.A. Howell., 2000. The Bowen ratio– energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. *Agric. For. Meteorol.* 103, 335–348.

Trambouze W., Bertuzzi P. and Voltz M., 1998. Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard. *Agric. for. Meteorol.*, 91, 193-208

Van der Knijff J.M., Jones R.J.A. and Montanarella L., 2000. Soil Erosion Risk Assessment in Italy. EUR 19022EN. European Commission- Directorate General- Jrc Joint Research Centre- Space Applications Institute- European Soil Bureau

Vento D., 2004. Il clima in Italia negli ultimi decenni. *Agricoltura*, 3, 60-61.

Verma S.B., Rosenberg N.J., Blad B.L., 1978. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. *J. Appl. Meteorol.* 17, 330–338

Yunusa I.A.M., Sedgley R.H., Belford R.K. and Tennant D., 1993. Dynamics of water use in a dry Mediterranean environment I. Soil evaporation little affected by presence of plant canopy. *Agric. Water Manage.*, 24, 225-238.

Yunusa I. A. M., Walker R. R. and Guy I.R., 1997. Partitioning of seasonal evapotranspiration from a commercial furrow-irrigated Sultana vineyard., *Irrig. Sci.* 18, 45–54.

RINGRAZIAMENTI

Per quanto riguarda le prove condotte nel 2006 presso la Stazione Sperimentale di Geneva dell'Università di Cornell (USA) desidero ringraziare il Prof. Alan Lakso per i suggerimenti ed il lavoro di revisione dei risultati, nonché il Dott. Diego Intrigliolo per la sua disponibilità ed assistenza nell'analisi dei dati e Rick Piccioni e Michelle Rose per l'aiuto tecnico .

Per la parte delle prove condotte nel 2007 a Bologna sono particolarmente grata al Dott. Eugenio Magnanini per l'assistenza ed i preziosi consigli prestati durante la fase di messa a punto ed assemblaggio del sistema della camera.

Sono inoltre riconoscente al Prof. Stefano Poni, tutore del dottorato ed al Prof. Cesare Intrieri, cotutore, per la loro disponibilità nel fornire gli strumenti necessari alla ricerca e per l'accurata analisi critica dell'intero elaborato. La stessa riconoscenza va a tutto il Collegio dei Docenti.

Desidero infine ringraziare la Dott.ssa Ilaria Filippetti, il tecnico Emilia Colucci, i miei insostituibili colleghi del passato e presente Sole, Barbara, Chiara, Gianluca e Gabriele per il prezioso aiuto prestato durante i rilievi e soprattutto per il sostegno che mi hanno sempre mostrato durante questi anni ed il Dott. Enrico Muzzi per il grande aiuto fornito in sede di elaborazione statistica dei dati.