



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea triennale
“Riassetto del territorio e tutela del paesaggio”
Percorso: Paesaggio, parchi e giardini

TESI DI LAUREA

Utilizzo di agenti imbibenti per il risparmio d’acqua nell’irrigazione di tappeti erbosi per campi da golf o a scopo ornamentale in zone siccitose della California.

Relatrice

Prof.ssa Bortolini Lucia

Correlatore

Prof. Schiavon Marco

Laureanda

Chiara Toniatti

Matricola n. 1065867

Anno accademico 2021-2022

Agli angeli
che mi accompagnano in ogni momento

RINGRAZIAMENTI

Con grande affetto ringrazio la mia famiglia, papà e mamma che non hanno mai ostacolato i miei sogni, mi hanno sempre sostenuta in ogni mia scelta, spingendomi a dare ogni giorno il meglio di me e grazie a mia sorella Sara che ogni giorno mi ha supportata e continua tutt'ora a farlo.

Grazie ai nonni, Modesto, Nuccia e Lidia che in questi anni hanno continuato a sostenermi e a spronarmi di continuare in questa importante avventura.

Grazie alle mie compagne di corso Chiara, Moira, Sara, Viviana ed Eleonora che oltre a permettermi di trascorrere delle belle giornate di studio, mi hanno motivata ed incoraggiata nei momenti più difficili.

Ringrazio tutti gli amici e amiche che con la loro allegria riempiono di colore le mie giornate.

Ed un ringraziamento speciale va al Prof. Marco Schiavon che mi ha dato la grande possibilità di realizzare uno dei miei sogni, di lavorare con lui a degli interessanti studi e svolgere così il mio progetto di tesi.

Grazie alla sua pazienza e all'amore che pone al suo lavoro mi ha permesso di arricchire il mio bagaglio di conoscenze sicuramente utili per il mio futuro.

INDICE

RIASSUNTO	11
ABSTRACT	12
1.INTRODUZIONE	13
<u>1.1 CLIMA DELLA CALIFORNIA</u>	15
<u>1.2 LA SICCAITA' NELLO STATO DELLA CALIFORNIA E RESTRIZIONI NELL'USO DELL'ACQUA</u>	16
<u>1.3 AGENTI IMBIBENTI (WETTING AGENTS)</u>	17
1.3.1 TENSIOATTIVI ANIONICI E MISCUGLI CON ANIONI	17
1.3.2 TENSIOATTIVI NON ANIONICI	18
Ossido di polietilene	
Tensioattivi copolimeri	
Tensioattivi poliglicosidi alchilici	
Gruppi di copolimeri modificati con metile	19
Redistribuzione di molecole di sostanze umiche	
Agenti imbibenti rigenerati pluriramificati	
<u>1.4 IRRIGAZIONE DEL TAPPETO ERBOSO</u>	19
2. OBIETTIVI DELLA TESI	20
3. MATERIALI E METODI	21
<u>3.1 IRRIGAZIONE E TRATTAMENTO DELLE PARCELLE</u>	23
<u>3.2 DATI RACCOLTI</u>	26
3.2.1 QUALITA' VISIVA	26
3.2.2 RACCOLTA DATI MEDIANTE STRUMENTAZIONE	26
NDVI e VWC	
Analisi d'immagine digitale	27
Quantità di prolina nelle lamine fogliari	29
4. RISULTATI	31
<u>4.1 QUALITA' DEL TE</u>	31
<u>4.2 PERCENTUALE DI COPERTURA VERDE E INDICE DI COLORAZIONE VERDE</u>	32
<u>4.3 CONTENUTO VOLUMETRICO D'ACQUA E VARIABILITA' DI UMIDITA' NEL SUOLO</u>	33
<u>4.4 CONTENUTO DI PROLINA</u>	34
5. CONCLUSIONI	35
6. BIBLIOGRAFIA	37
<u>6.1 RIFERIMENTI IPERTESTUALI</u>	39

INDICE TABELLE

Tabella 1. Tabella climatica di Riverside, CA, Climate-data.org	16
Tabella 2. Valori dell'ET ₀ e altri dati meteo per la determinazione dei fabbisogni irrigui del TE.	24
Tabella 3. Lista dei prodotti per il trattamento con dosaggio.	25
Tabella 4. Qualità del TE, percentuale di copertura verde (PGC), indice di colorazione verde (DGCI), contenuto volumetrico d'acqua (VWC) e variabilità dell'umidità del suolo su ibrido di Cynodon dactylon trattato con 10 agenti imbibenti e un controllo non trattato.	35

INDICE FIGURE

Figura 1. Localizzazione della città di Riverside.	21
Figura 2. Panoramica dell'azienda adibita allo studio dei tappeti erbosi, facente parte dell'università sita in Riverside	22
Figura 3. Ripartizione dell'area in studio, suddivisa nei tre apporti idrici ognuno replicato 4 volte.	22
Figura 4. Stazione meteorologica 44 del programma CIMIS (California Irrigation Management System) situata a 100 m dalla prova parcellare. Riverside (CA,USA).	23
Figure 5 e 6. Lightbox utilizzata per la raccolta di immagini digitali da analizzare con software 'Turf Analyzer'.	28
Figura 7. Esempio d'immagine analizzata tramite software Turf Analyzer con copertura verde al 37,1%	29
Figura 8. Esempio d'immagine analizzata tramite software Turf Analyzer con copertura verde al 77,1%.	29
Figura 9. Campione di lamine fogliari raccolte nella parcella n. 27	30
Figura 10. Campione di lamine fogliari della parcella n. 27 polverizzate mediante l'utilizzo di un mortaio e mantenute alla temperatura di -20°C con azoto liquido.	30
Figura 11. Qualità del TE (a), percentuale di copertura verde (b) e indice di colorazione verde (c).	32
Figura 12. Contenuto volumetrico d'acqua (a) e variabilità dell'umidità nel suolo (b).	34
Figura 13. Contenuto di prolina in campioni di lamine fogliari.	34

RIASSUNTO

Gli agenti imbibenti sono stati presi in esame per ridurre delle localizzate aree aride e per avere un risparmio d'acqua irrigua, continuando a mantenere un accettabile livello di qualità del tappeto erboso. La prova condotta da maggio ad ottobre 2018, a Riverside in California (USA), ha avuto lo scopo di valutare le performance di 10 trattamenti con agenti imbibenti su tappeto erboso di ibrido di *Cynodon* (*Cynodon dactylon* (L.) Pers. x *C. transvalensis* (Burt Davy) in condizioni di deficit irriguo con riferimento a tre livelli di evapotraspirazione (ET_0): 45%, 55% e 65% dell' ET_0 .

Le parcelle sono state valutate per qualità visiva del manto erboso, percentuale di copertura verde (PGC), indice d'intensità del colore verde (DGCI), indicatore di vegetazione viva (NDVI), contenuto volumetrico d'acqua nel suolo (VWC), variabilità di umidità del suolo e contenuto di prolina in campioni di lamine fogliari secche.

I trattamenti ad agenti imbibenti hanno portato un miglioramento alla qualità del tappeto erboso e alla percentuale di copertura verde. Inoltre, vi è stato un aumento fino al 16% di umidità del suolo nelle parcelle trattate rispetto a quelle di controllo non trattate.

Non sono invece state osservate sostanziali variazioni né per quanto riguarda l'indicatore di vegetazione viva (NDVI), né per i livelli di contenuto di prolina o mantenimento del colore.

ABSTRACT

Wetting agents have been reported to alleviate localized dry spot (LDS) and save water while maintaining turf quality at an acceptable level.

A study was conducted from May to October in 2018 in Riverside, CA to evaluate 10 wetting agent treatments on performance of 'Tifway II' hybrid bermudagrass (*Cynodondactylon*(L.) Pers. × *C. transvaalensis*BurtttDavy) under deficit irrigation at three reference evapotranspiration (ET_o) levels: 45%, 55%, and 65% ET_o .

Plots were evaluated for visual turf quality, percent green cover (PGC), dark green color index (DGCI), normalized difference vegetation index (NDVI), soil volumetric water content (VWC), soil moisture variability, and proline content in dry-leaf samples. Wetting agent treatments improved TQ and PGC, and decreased soil moisture variability. Moreover, up to 16% increase in soil moisture levels was observed on treated vs. untreated control. No differences were observed for either NDVI, proline content in leaves or fall color retention.

1. INTRODUZIONE

Con il termine tappeto erboso si fa riferimento ad una copertura erbacea comprendente lo strato più superficiale di suolo interessato dalla presenza di radici e rizomi, usualmente tagliata bassa e caratterizzata da crescita contenuta ed elevata uniformità (Beard, 1991).

I tappeti erbosi, in espansione in tutti i paesi a sviluppo economico avanzato, hanno trovato nel tempo numerosi campi di applicazione, dall'impiego nella realizzazione di luoghi idonei alla pratica di sport o alle attività ricreative, alla valorizzazione di complessi monumentali, architettonici o residenziali, fino alle funzioni puramente tecniche.

Il tappeto erboso infatti porta con se una moltitudine di benefici (De Bertoldi, 2018):

di tipo funzionale:

- Controllo dell'erosione
- Stabilizzazione delle polveri
- Antifango
- Prevenzione del deflusso superficiale
- Cattura e degradazione di inquinanti
- Dissipazione del calore
- Accumulo di acqua
- Barriere antifuoco
- Abbattimento del rumore
- Cattura e sequestro di CO₂

ricreazionali e sportivi:

- Benessere fisico e mentale
- Vantaggi igienico-sanitari
- Riduzione di abrasioni da caduta
- Attività sociali
- Attività sportive
- Spettacoli, concerti, esibizioni

qualità della vita:

- Salute mentale
- Armonia sociale
- Senso civico
- Aumento valore di immobili

- Alto valore estetico
- Complemento indispensabile ad alberi ed arbusti nell'architettura di giardini

Negli Stati Uniti ricerche scientifiche nel settore dei tappeti erbosi ad uso sportivo, sono iniziate nello stato del Connecticut nel 1870 e, a partire dal 1885, tali ricerche sono condotte in numerose sedi universitarie, mentre dal 1920 la US Golf Association (USGA) ha fondato una Green Section con obiettivo prioritario la ricerca sui tappeti erbosi da utilizzare nei campi da golf.

In un'indagine condotta più di vent'anni fa negli stati del Michigan, Pennsylvania, Texas, Florida e New Jersey, il costo del solo mantenimento delle superfici coperte da tappeti erbosi fu stimato in oltre 800 milioni di dollari. Più recentemente è stato stimato per una città di medie dimensioni degli Stati Uniti (170.000 abitanti) un costo annuo, per il solo mantenimento dei giardini privati, di circa 9 milioni di dollari, cui va aggiunto il costo di mantenimento di una media di circa 1.100 ha di spazi verdi pubblici.

Gli interessi economici che gravitano attorno ai tappeti erbosi sono quindi enormi ed è opinione degli specialisti che, negli USA il settore del tappeto erboso, per fatturato, sia secondo solamente al comparto costituito da televisione e cinema (Croce et al., 2006).

Ad oggi, negli USA è in atto un intenso programma di selezione genetica, al quale prende parte anche il National Turfgrass Evaluation Program (NTEP), consolidata istituzione americana nella branca dei tappeti erbosi la quale, da tempo, sviluppa e coordina metodi e studi in tutto il continente americano, volti a definire le caratteristiche delle varietà e cultivar prodotte ogni anno dai genetisti.

In California come in molte altre parti del mondo, è importante non sottovalutare gli effetti causati da precipitazioni insufficienti e forniture incerte di acqua, sulla conservazione dei tappeti erbosi.

Per chi si occupa di tappeti erbosi, l'uso di specie tolleranti la siccità dovrebbe essere l'avanguardia dell'organizzazione dei piani di conservazione dell'acqua nei campi da golf e negli impianti sportivi in genere ed anche negli altri contesti in cui sono presenti tappeti erbosi come ad esempio parchi pubblici e giardini domestici (Croce et al., 2006).

Proprio per far fronte alla problematica della sempre maggiore carenza d'acqua che interessa in modo particolare lo stato della California, la sperimentazione dell'utilizzo di alcuni agenti imbibenti per il risparmio d'acqua irrigua, è stato effettuato su un tappeto erboso completamente a *Cynodon* varietà ibrida 'Tifway'.

Cynodon è una specie macroterma, specie queste tipiche dei climi caldi sia umidi che aridi. L'intervallo di temperature ottimali per un ottimo sviluppo radicale è compreso tra i 24°C e i 32°C.

Le specie macroterme mostrano un'ottima tolleranza alle carenze idriche, attribuibile al fatto che tali specie presentano specifici adattamenti morfo-anatomici, ovvero apparati radicali più profondi rispetto alle specie microterme e la presenza di peli sericei sulle lamine fogliari (Giorgi, 2009).

Proprio per questa loro naturale propensione ai climi caldi e alla tolleranza alla siccità, le specie macroterme sono le più indicate per la realizzazione di tappeti erbosi nelle zone più aride del pianeta.

1.1 CLIMA DELLA CALIFORNIA

Lo stato della California, a causa delle grandi dimensioni, è caratterizzato da un clima piuttosto diversificato che va da una foresta pluviale temperata umida nel nord, deserto caldo e arido nell'interno, alpino innevato nelle montagne e caldo Mediterraneo nel resto dello stato.

Le parti settentrionali della California sono più piovose rispetto il sud.

Le estati tendono ad essere miti lungo la costa come l'area di San Francisco con una temperatura media di 19,4°C al picco in agosto, mentre le parti centrali ed orientali della California tendono ad essere calde con temperature da 32,8°C a 36,1°C a Sacramento e Fresno. Le temperature medie invernali sono da circa 4,4°C a 10°C nelle zone costiere.

Nella maggior parte dello stato, le piogge sono principalmente durante l'inverno e la precipitazione media annuale è di 800mm.

Nello stato della California si trova la zona della Death Valley, un deserto sul lato orientale, luogo più caldo del mondo con una temperatura registrata di 56,7°C.

Entrando nello specifico, il clima che caratterizza la cittadina di Riverside è di tipo subtropicale arido, con inverni miti e relativamente piovosi, ed estati molto calde e soleggiate.

La città si trova a 250 m di quota, a circa 90 km ad est di Los Angeles, e a sud-est di San Bernardino, una zona abbastanza distante dall'oceano tale da risultare molto calda nel periodo estivo.

Durante l'estate la temperatura può superare i 40°C nei giorni più caldi, in certi casi può raggiungere i 44/45°C; esempio lampante è stato nel luglio 2018 che le temperature hanno raggiunto i 47,8°C.

La temperatura media del mese più freddo (dicembre) è di 10,6°C, quella del mese più caldo (agosto) è di 26,1°C.

Le precipitazioni ammontano a circa 470mm all'anno.

Nei mesi meno piovosi (luglio e agosto) cadono 0 mm di pioggia, nel mese più piovoso (febbraio) ne cadono 117mm.

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Medie Temperatura (°C)	10.9	11.5	13.9	15.9	18.6	22.3	25.7	26.1	24.5	19.7	14.8	10.6
Temperatura minima (°C)	5	5.8	7.8	9.8	12.5	15.7	19.3	19.6	17.6	13.1	8.5	5
Temperatura massima (°C)	18.6	18.8	21.3	23.5	26.2	30.3	33.4	34	32.6	27.7	22.6	17.9
Precipitazioni (mm)	100	117	68	32	19	4	2	1	6	24	33	68
Umidità(%)	56%	59%	60%	55%	54%	51%	49%	46%	46%	47%	49%	58%
Giorni di pioggia (g.)	6	6	6	4	3	1	0	0	1	3	3	5

1.2 LA SICCAITA' NELLO STATO DELLA CALIFORNIA E RESTRIZIONI NELL'USO DELL'ACQUA

Lo stato della California è un territorio che da sempre si è dovuto confrontare con il problema della siccità.

Il *California Departement of Water Resource* registra infatti che tra il 1920 e 1930 si verificò la prima e più devastante ondata di siccità del Novecento.

Fu questo il periodo più lungo degli ultimi 100 anni, seguito però da altre ondate verificatesi tra il 1976-1977, 1987-1992, 2007-2009 ed infine l'ultimo dal 2013 al 2017 che però porta ancora oggi degli strascichi, alimentati sicuramente dai problemi climatici che interessano l'intero pianeta.

Questo stato è uno dei territori trainanti a livello mondiale, per quanto riguarda la produzione agricola di ortaggi, frutta, ecc.. e per tal motivo uno dei maggiori consumatori di acqua irrigua.

I ripetuti periodi siccitosi, il cambiamento del clima con il costante innalzamento delle temperature, i sempre più frequenti e devastanti incendi e la costante richiesta di acqua a scopo agricolo mettono a dura prova le riserve d'acqua che lo stato deve salvaguardare.

Proprio per tal motivo, nel 2014 l'allora governatore Jerry Brown proclamò lo stato d'emergenza, ed invitò i cittadini a ridurre il consumo d'acqua del 20%.

Nell'aprile 2015 la restrizione aumentò al 25%, con l'introduzione di contravvenzioni e multe assai salate a coloro che avessero trasgredito tale restrizione, allo scopo appunto di contrastare lo spreco d'acqua, primo fra tutti quello che riguardava l'irrigazione dei giardini.

Nel 2016 per far fronte alla costante necessità d'acqua era stata portata avanti l'idea di procedere con la desalinizzazione dell'acqua, un procedimento complesso e decisamente molto costoso, che porterebbe con sé non poche problematiche ambientali ed economiche.

Nell'aprile 2017 il governatore ha dichiarato la fine della storica siccità, ma ciò nonostante ha obbligato le amministrazioni cittadine a fornire report costanti su come l'acqua venga utilizzata e sulle misure messe in campo per contrastare il fenomeno.

L'obiettivo è fare in modo che le riserve nei bacini artificiali non scendano sotto il 20% della loro capienza per evitare ingenti danni all'economia californiana.

1.3 AGENTI IMBIBENTI (WETTING AGENTS)

Gli agenti imbibenti (wetting agents) sono una qualunque combinazione molecolare che aiuta un liquido ad espandersi più facilmente sulla superficie o a penetrare all'interno di un solido, riducendo la tensione del liquido stesso. (USGA, 2012)

Le costanti lavorazioni dei suoli negli anni, hanno portato ad una modifica della loro composizione e tessitura, soprattutto se prendiamo in considerazione i suoli dei campi da golf.

Nei campi da golf infatti la costruzione dei *green* e *tee*, la copertura dei *fairways* e il topdressing vengono effettuati con suolo sabbioso, per tal motivo la percentuale di sabbia è molto più elevata rispetto al classico terriccio.

Per natura il suolo sabbioso tende ad essere più idrorepellente rispetto al terriccio e per tal motivo chi gestisce la cura del tappeto erboso di campi da golf o altre aree con suolo tendenzialmente idrofobico ha la necessità di gestire questa problematica, tanto più se in una zona a clima arido.

Per far fronte a tale necessità, è stato dimostrato che alcune sostanze, grazie alle loro proprietà chimiche, sono in grado di legare le particelle d'acqua alle particelle del suolo o meglio riducono la tensione superficiale del liquido, aumentando così l'azione bagnante.

In commercio vi è disponibilità di un gran numero di sostanze imbibenti, ma la scelta di quale utilizzare va in relazione alla necessità che si vuole soddisfare.

Poiché sono varie le problematiche che si presentano nei suoli e ampia è la disponibilità di prodotti, i vari tensioattivi sono stati classificati in base alle diverse strutture molecolari e alla loro diversa modalità di azione quando questi interagiscono con acqua e suolo.

1.3.1) TENSIOATTIVI ANIONICI E MISCUGLIO CON ANIONI

Gli agenti imbibenti anionici sono tensioattivi carichi negativamente, capaci di offrire un rapido umettamento.

Gli ioni carichi negativamente, causano la dispersione delle particelle d'argilla, le quali, soprattutto nei suoli a tessitura fine, portano al compattamento del suolo; tali prodotti aiutano invece ad avere un suolo più leggero e penetrabile dall'acqua.

Tensioattivi anionici sono i comuni saponi, costituiti generalmente da lunghe catene di atomi di carbonio, terminanti con un gruppo carbossilato, solfato o solfonato (Treccani, 2008).

1.3.2) TENSIOATTIVI NON IONICI

Ossido di polietilene (POE)

Polimero che localizzato nelle zone aride dei tappeti erbosi, aiuta a trattare l'idrorepellenza in quanto aiuta il movimento dell'acqua nel suolo oltre ad essere un buon battericida e fungicida.

Tensioattivi copolimeri

Questa classe di agenti è oggi la più comunemente usata nella cura dei TE. Molto efficaci nel ridurre l'idrorepellenza del suolo, migliorano così il contenuto di acqua nel suolo e la disponibilità di questa per le piante.

Sono usate due strutture chimiche base:

- copolimeri lisci: che hanno dimostrato determinare un incremento del movimento dell'acqua nel suolo utile nei programmi di percolazione.
- copolimeri inversi: hanno dimostrato un incremento del mantenimento dell'umidità nella zona radicale, particolarmente utile nei suoli incapaci di trattenere l'acqua.

In seguito a varie ricerche condotte da Aquatrols (Paulsboro, NJ, USA) è stato dimostrato che i blend di copolimeri lisci ed inversi (miscugli di copolimeri Aqueduct) sono molto efficaci nel correggere locali chiazze aride e migliorare la qualità del tappeto erboso rispetto ai copolimeri lisci o inversi utilizzati da soli.

Tensioattivi poliglicosidi alchilici

Questi prodotti sono creati da una molecola di zucchero fatta reagire con un acido grasso e sono considerati tensioattivi di origine naturale.

Anche questi, come molti altri tensioattivi, sono in grado di ridurre l'idrorepellenza del suolo, ma mischiati con tensioattivi copolimeri, hanno dimostrato un aumento dell'infiltrazione dell'acqua, decisamente migliore di altri agenti imbibenti utilizzati da soli.

Gruppi di copolimeri modificati con metile

In questa classe di agenti la struttura delle molecole è stata modificata rimpiazzando il gruppo terminale -OH con il terminale -CH₃ (metile).

Questo piccolo cambiamento nella struttura delle molecole modifica l'idrofilia dei gruppi terminali. Il gruppo -OH è idrofilo, mentre il gruppo -CH₃ è idrofobico. Questa modifica cambia come i tensioattivi si leghino con lo strato idrofobico che causa la repellenza all'acqua.

Questo crea un film omogeneo di acqua attorno alle particelle del suolo e sulla superficie di sostanze organiche, il quale equilibra la quantità d'aria e acqua nel suolo per una migliore condizione del suolo stesso.

Redistribuzione di molecole di sostanze umiche

L'acido umico è un composto organico importante componente dell'humus. Queste molecole permettono la penetrazione dell'acqua nel profilo del suolo interrompendo l'idrofobia dei gruppi supra-molecolari umici, più diffusi tra i primi 1 o 2 cm di terreno, i quali causano le aree siccitose. La riduzione in ampiezza di questi gruppi idrofobici crea un profilo più penetrabile dall'acqua e permette inoltre una migliore redistribuzione di questi composti lungo tutto il profilo del suolo portando come beneficio un miglior controllo dell'umidità.

Agenti imbibenti rigenerati pluriramificati

Queste molecole a differenza dei tradizionali copolimeri lineari, hanno peso molecolare più elevato e hanno più siti d'interazione, così che ogni branchia è un agente imbibente essa stessa. La ramificazione e l'alto peso molecolare aumentano l'interazione tra agente e suolo, ma permettono anche una maggiore funzionalità del prodotto. Quando le ramificazioni vengono biodegradate, rimane attiva una specie a più basso peso molecolare che continua a gestire l'acqua nel suolo.

1.4 IRRIGAZIONE DEL TAPPETO ERBOSO

In California e in molti altri stati del sud-ovest degli Stati Uniti, l'irrigazione è necessaria come integrazione alle annuali precipitazioni per il mantenimento e crescita del manto erboso.

Negli ultimi 20 anni, diversi studi hanno affrontato il tema dell'irrigazione di mantenimento o deficitaria, rendendo l'irrigazione in quantità inferiore a quella dell'ET reale, come una tecnica di conservazione dell'acqua (Feldhake et al., 1984; Fry e Butler, 1989; Qian e Engelke, 1999).

L'irrigazione deficitaria è stata utilizzata con successo per la gestione di tappeti erbosi a basso consumo idrico dal momento che questi hanno conservato un livello qualitativo accettabile anche in condizioni di limitati apporti idrici (Brown et al., 2004; Dacosta e Huang, 2005; Feldhake et al., 1984; Fry e Butler, 1989).

Quando si irriga il TE, il coefficiente colturale (K_c) viene solitamente applicato all'ET di riferimento (ET_o) per calcolare i volumi d'irrigazione (Allen et al., 1998). Il quaderno della FAO 56 riporta un K_c di

riferimento annuale per *Cynodon dactylon* che varia tra 0,5 e 0,95 mentre altre fonti gli attribuiscono un valore medio di 0,76 (Colmer e Barton, 2017).

Il rimpiazzo di una porzione di ET_o al di sotto di ET_c (evapotraspirazione del tappeto erboso) è identificato come deficit d'irrigazione (DI) ed è stata una recente proposta come strategia sostenibile per la conservazione d'acqua, soprattutto in zone aride e semiaride.

La maggior parte degli studi condotti nel sud-ovest degli Stati Uniti, hanno dimostrato che *Cynodon* può mantenere una discreta qualità visiva se irrigato a partire dal 50% dell' ET_o (Snyder and Eching, 2007) durante la stagione vegetativa e se adottate delle ulteriori strategie di conservazione dell'acqua, quali ad esempio l'uso di agenti imbibenti o tensioattivi.

2. OBIETTIVI DELLA TESI

Lo studio al quale ho collaborato, condotto presso l'Università della California, aveva lo scopo di valutare l'efficacia di una selezione di prodotti presenti in commercio, tali da raggiungere un significativo risparmio idrico su tappeti erbosi per Fairways o altre grandi aree.

Sono stati testati dieci trattamenti ad agenti imbibenti messi a confronto con un controllo non trattato, allo scopo di determinare la loro capacità di ridurre l'uso d'acqua e migliorare la qualità del tappeto erboso di *Cynodon* ibrido 'Tifway', irrigato con volumi d'acqua tali da apportare il 45%, 55% e 65% dell'evapotraspirazione di riferimento settimanale (ET_o).

La sperimentazione è stata condotta dal mese di maggio 2018 al mese di ottobre 2018 presso il Turfgrass Research Project sito nell'Università della California di Riverside.

3. MATERIALI E METODI

Lo studio sugli agenti imbibenti per la conservazione dell'acqua, è stato condotto presso il Centro di Ricerca sui Tappeti Erbosi dell'Università della California di Riverside, (Lat. 33°58'04"N, Long. 117°21'48"O) dal 24 maggio al 31 ottobre 2018 (Fig.1)(Fig.2).

Le prove si sono svolte su un tappeto erboso ibrido di *Cynodon* 'Tifway II' (*Cynodon dactylon* (L.) Pers. x *C. transvalensis* Burt Davy) messo a dimora nel 2017 su terreno Hanford limo-sabbioso a tessitura fine con lo 0,6% di sostanza organica.

L'area di 18,3 x 27,4 m era suddivisa in 12 repliche (4 al 45%, 4 al 55% e 4 al 65%) da 6 x 6 m , ognuna delle quali ulteriormente frazionata in 11 parcelle, per un totale dunque di 132 parcelle (Fig.3). Durante il periodo di studio, il TE è stato mantenuto nelle medesime condizioni di un Fairway di un campo da golf, mantenendolo ad un'altezza di circa 13 mm intervenendo tre volte alla settimana con tosaerba elicoidale (Toro Reelmaster 3100-D, Bloomington, MN) e adottando la tecnica del mulching.

Figura 1. Localizzazione della città di Riverside

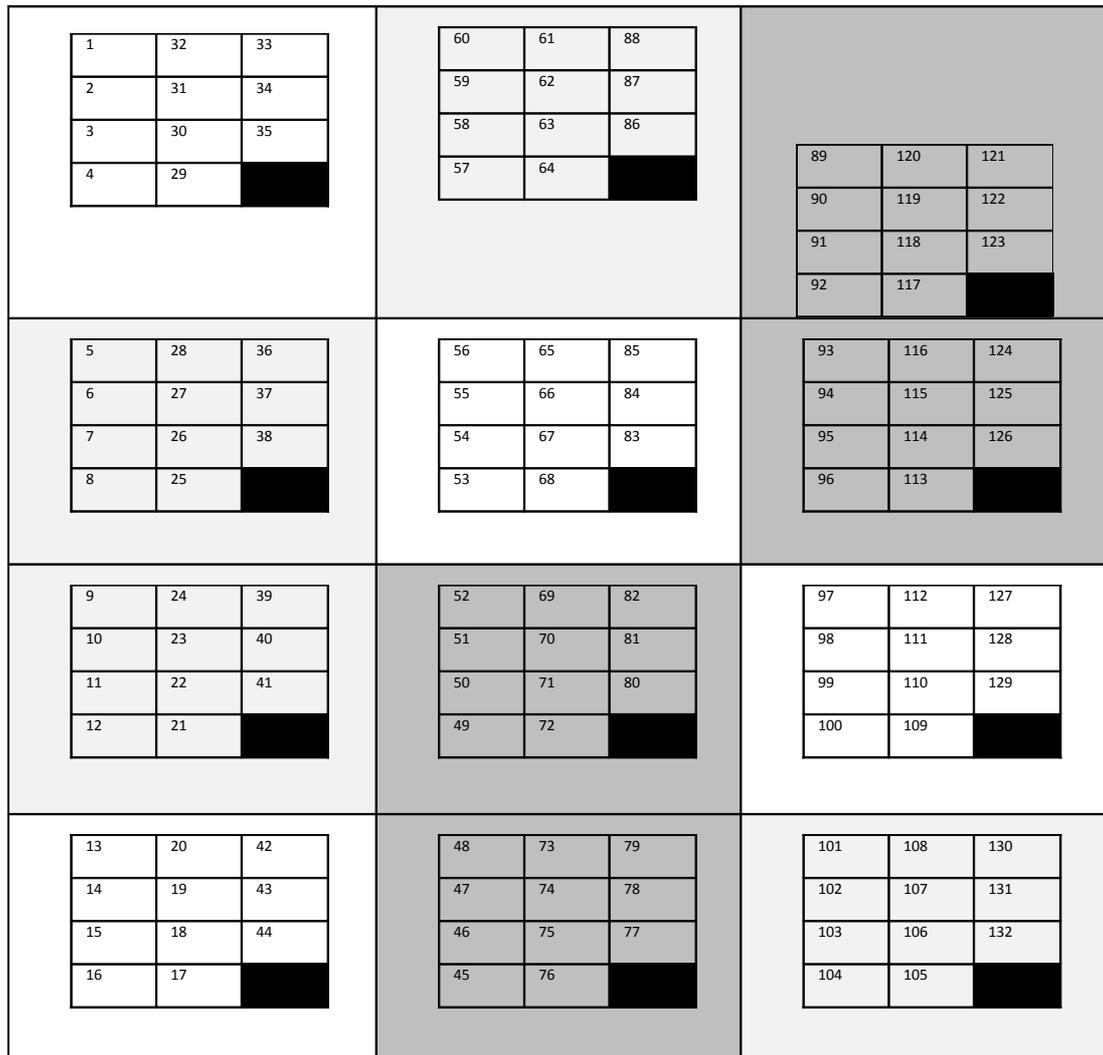


Figura 2. Panoramica dell'azienda adibita allo studio dei tappeti erbosi, facente parte dell'università sita in Riverside



Figura 3. Ripartizione dell'area in studio, suddivisa nei tre apporti idrici ognuno replicato 4 volte.

- 45% ET_o
- 55% ET_o
- 65% ET_o



3.1 IRRIGAZIONE E TRATTAMENTO DELLE PARCELLE

Fino al 6 giugno l'area è stata irrigata alla necessità senza limiti di apporto idrico (75% ET_0) mediante irrigatori pop-up (Toro 300 series), per evitare stress da carenza idrica o prima del trattamento nelle due settimane dopo l'inizio dell'applicazione.

L'acqua utilizzata per l'irrigazione era a pH 7.8, EC 0.72 dS/m e SAR (Rapporto Assorbimento Sodio) 3.2. Dal 7 giugno fino al 31 ottobre, per massimizzare la distribuzione dell'acqua, le parcelle sono state irrigate apportando rispettivamente il 45%, 55% e 65% dell' ET_0 facendo riferimento all' ET_0 della settimana precedente (Snyder e Eching, 2007) determinata tramite i dati disponibile nel sito web CIMIS della stazione meteorologica 44, localizzata a circa 100m dall'area di studio (Fig.4).

(dati riportati in Tabella 2).

L'irrigazione veniva effettuata tre volte alla settimana in maniera manuale sulla base di un bilancio idrico settimanale (Schiavon et al., 2018) considerando i tre diversi livelli di restituzione dell' ET_0 e le perdite d'acqua per evapotraspirazione della settimana precedente.

Tale procedimento ha permesso di somministrare la quantità esatta d'acqua con un tempo definito, rigorosamente misurato con cronometro e distribuito in ciascuna ripetizione della zona di studio per ogni livello di ET_0 scelto, evitando il più possibile fenomeni di ruscellamento; a tal proposito venivano ripartiti in più volte i tempi di irrigazione.

Figura 4. Stazione meteorologica 44 del programma CIMIS (California Irrigation Management System) situata a 100 m dalla prova parcellare. Riverside (CA,USA).



Tabella 2. Valori dell'ET_o e altri dati meteo per la determinazione del fabbisogno irriguo del TE.

Anno	Mese	Totale ET _o (mm)	Totale precipitazioni (mm)	Media temperature max. aria (°C)	Media temperature min. aria (°C)	Temperatura media aria (°C)	Temperatura media suolo [†] (°C)
2018	Maggio	142	7	24.1	12.6	17.6	20.3
	Giugno	193	0	30.2	14.9	21.7	23.3
	Luglio	204	1	35.4	19.8	27.1	26.0
	Agosto	187	0	33.8	19.1	25.7	25.4
	Settemb.	149	0	32.3	16.0	23.1	23.2
	Ottobre	109	24	26.8	13.7	19.7	20.1
	Novemb.	80	21	23.6	9.7	16.3	15.2
	Dicembre	57	26	19.3	7.3	12.6	12.3

[†] I dati relativi alla temperatura al suolo, sono stati raccolti mediante un sensore interrato a 15 cm di profondità.

Sono stati selezionati, in accordo con i produttori sulla base dell'efficacia e sostenibilità per grandi aree a tappeto erboso, quali i fairways dei campi da golf, dieci trattamenti ad agenti imbibenti (Tabella 3.).

Eccetto per un agente imbibente, per il quale veniva spruzzata metà dose rispetto a quella indicata in etichetta, gli altri trattamenti venivano applicati nel dosaggio indicato.

I trattamenti sono stati distribuiti ogni 4 settimane, mediante nebulizzatore a bombola di CO₂ a zaino, dotato di braccio con 4 ugelli distanti 23 cm l'un l'altro. Gli ugelli utilizzati, TeeJet 8004VS (TeeJet Technologies, USWA), generavano un getto di 815L ha⁻¹.

L'applicazione dei trattamenti è iniziata il 23 maggio e terminata l'11 ottobre 2018. La frequenza di applicazione è stata uguale per tutti i trattamenti e, in particolare, secondo questo DAIT (days after initial treatment, ovvero giorno dall'inizio del trattamento): 0, 28, 56, 84, 112 e 140.

Dopo ogni distribuzione dei trattamenti, ogni parcella veniva irrigata con circa 8.5 mm d'acqua per favorire la penetrazione nel suolo del prodotto.

Tabella 3. Lista dei prodotti per il trattamento con dosaggio. La frequenza di applicazione è stata uguale per tutti i trattamenti

Prodotti	Principio attivo (p.a.)	Percentuale di p.a. (%)	Produttore	Dosaggio d'applicazione (L ha ⁻¹)
Controllo non trattato				
Revolution®	Modified methyl capped block copolymer	100	Aquatrols, Paulsboro, NJ	19.1
TriCure AD®	Dihydrooxirane, epihydrin	100	Mitchell, Millville, NJ	19.1
TriCure AD®	Dihydrooxirane, epihydrin	100	Mitchell, Millville, NJ	9.5
Forté™ +	Ethylhexyl esterified butane dioic surfactant;	35	Simplot, Lathrop, CA	1.2
CounterAct®	Polyoxyethylene-polyoxypropylene copolymer, +	88	Simplot, Lathrop, CA	9.5
Retain†	polyhydroxyalkyl alkoxy alkylene oxide	4		
Forté™ +	Ethylhexyl esterified butane dioic surfactant;	35	Simplot, Lathrop, CA	1.2
Brilliance®	Alkoxylated polyols	99	Simplot, Lathrop, CA	9.5
Aquimax® Turf Lateral	Non-ionic polyoxyethylene-polyoxypropylene block copolymer	90	Exacto, Sharon, WI	25.5 12.7
Passage	Blended alkoxylated polyols	52	Numerator, Sarasota, FL	19.1
Vivax™	Polyethylene-polypropylene glycols -block copolymer, +dioctyl sulfosuccinate sodium	87.3 3.75	Precision laboratories, Waukegan, IL	15.9
Cascade Plus™	Alcohol ethoxylates,+ polyethylene – polypropylene glycol – block copolymer	10 90	Precision laboratories, Waukegan, IL	25.5 12.7
Hydro-90®	Alkoxylated polyols;	100	Harrell's, Lakeland, FL	9.5
+Symphony®	Alkoxylated polyols;	20	Harrell's, Lakeland, FL	9.5

+ I trattamenti composti da più di un prodotto venivano mixati all'interno del serbatoio e spruzzati sulla parcella nello stesso momento. Tutti i trattamenti sono stati applicati seguendo il dosaggio in etichetta, tranne per TriCure AD® dosato a 9.5 L/ha (metà dosaggio).

3.2 DATI RACCOLTI

3.2.1 QUALITA' VISIVA

La qualità dei tappeti erbosi è stata da sempre valutata visivamente (Krans and Morris, 2007). Questo metodo, universalmente utilizzato, fa riferimento alle linee guida del National Turfgrass Evaluation Program (NTEP), leader nella valutazione delle specie e varietà.

La qualità del tappeto erboso è una misura dell'estetica e dell'uso funzionale, pertanto le valutazioni di qualità non si basano solo sul colore, ma su una combinazione di colore, densità, uniformità, consistenza e malattia o stress ambientale.

Il modo più comune per valutare la qualità è un sistema di valutazione visiva di un valutatore, il quale facendo riferimento ad una scala da 1 a 9 (dove 9 equivale a qualità molto buona, 6 accettabile e 1 pessima), pone il proprio giudizio alla parcella da valutare. L'NTEP richiede valutazioni di qualità su base mensile, le quali inevitabilmente variano in base alle specie di tappeto erboso, all'intensità della gestione e al periodo dell'anno.

Ogni 2 settimane, un giorno dopo l'irrigazione e uno dopo la distribuzione dei trattamenti imbibenti, sono stati raccolti i dati per ogni parcella, relativi ai parametri di qualità del TE.

La qualità del tappeto erboso è stata monitorata da maggio ad ottobre seguendo le linee guida dell'NTEP, dunque, facendo riferimento alla scala 1- 9, e così per densità, tessitura ed uniformità (National Turfgrass Evaluation Program; Morris and Shearman, 1999).

3.2.2 RACCOLTA DATI MEDIANTE STRUMENTAZIONE

Negli anni la raccolta di dati basata su una valutazione visiva è stata criticata per la sua natura soggettiva e perché richiede osservatori adeguatamente formati che possano discernere efficacemente le differenze tra le varietà (Horst et al. 1984; Trenholm et al.1999).

Per ovviare a questa problematica, sono stati introdotti dei sistemi di quantificazione oggettiva delle caratteristiche visive di un tappeto erboso, le quali danno un aiuto in termini di affidabilità dei risultati ottenuti.

NDVI e VWC

Il Normalized difference vegetation index (NDVI) (indicatore di vegetazione viva) è stato registrato allo scopo di quantificare lo stress idrico (Park et al., 2004) utilizzando un sensore portatile GreenSeeker® NDVI (Trimble Inc., USA).

Sono stati raccolti valori sul volume d'acqua presente nel suolo (VWC) utilizzando un sensore di umidità TDR (FieldScout TDR300 Soil Moisture Meter; Spectrum Technologies Inc., USA) da 0 a 38 mm di profondità.

Il VWC del suolo è stato determinato facendo la media di 10 misurazioni prese in diversi punti all'interno di ogni parcella. Tali parcella sono state scelte in maniera casuale: dieci parcella in tre file, tre in altre due e quattro in un'ultima fila.

La variabilità di umidità del suolo è stata determinata calcolando la deviazione standard del VWC tra i diversi valori raccolti all'interno della stessa parcella (Schiavon et al., 2014).

Una maggiore deviazione standard corrisponde ad una più elevata variabilità, dunque una più bassa uniformità di umidità.

Analisi d'immagine digitale

La percentuale di copertura verde (PGC) e l'indice di colorazione verde (DGCI) sono stati valutati mediante l'analisi d'immagine digitale (DIA) (Karcher e Richardson, 2005; Richardson et al., 2001) attraverso un software di analisi del manto erboso (Karcher et al., 2017).

La soglia di configurazioni erano 60/300 per il colore-tonalità, 0/100 per la saturazione e 10/80 per la luminosità.

Le immagini fotografiche sono state scattate con una fotocamera digitale (PowerShot G15, Canon USA Inc.), fissata ad una light box: un box metallico (0.58 m × 0.51 m × 0.56 m) con all'interno, fissate alla parete superiore, 4 lampadine a LED tali da fornire una luce uniforme e perpendicolare al suolo (figure 5, 6).

Una volta acquisite le immagini delle 132 parcella, le foto sono state analizzate dal software professionale 'Turf Analyzer' che aggrega le immagini in base all'intensità del colore verde, copertura, densità del tappeto erboso e uniformità così da quantificare la qualità del tappeto erboso.



Figura 5 e 6. Lightbox utilizzata per la raccolta di immagini digitali da analizzare con software 'Turf Analyzer'.

L'analisi dell'immagine digitale (DIA) è stato applicato come strumento di ricerca in tutte le discipline agricole negli ultimi decenni (Rohde et al., 1979; Wolfe and Sandler, 1985; Sapirstein et al., 1987).

Le tecniche dell'analisi di immagini digitali offre ai ricercatori la possibilità di quantificare vari componenti della qualità dei tappeti erbosi con attrezzature facilmente accessibili. In particolare, la DIA fornisce un mezzo per misurare oggettivamente la copertura verde, il colore e altri parametri associati, che possono aumentare la validità dei risultati dello studio senza aggiungere un onere significativo al processo di valutazione (Karcher e Richardson, 2013).

Studi eseguiti nel 2003 da Karcher e Richardson hanno dimostrato la possibilità di effettuare un'analisi del colore attraverso l'utilizzo dell'immagine digitale per l'analisi del colore eseguendo la conversione dei colori Red, Green e Blue in HSB attraverso degli algoritmi.

Lo stesso principio è stato utilizzato per calcolare la percentuale di copertura di un tappeto erboso, sempre attraverso la conversione dei valori R,G,B in HUE, ma in tal caso, dopo aver ottenuto i

valori di verde relativi al tappeto in esame, si procede al conteggio del numero di pixel selezionati che va diviso per il numero di pixel totali dell'immagine ottenendo così il grado di copertura, o in termini fotografici la quantità di verde rispetto agli altri colori (Figure 7, 8).

Tutti i dati sopracitati sono sempre stati raccolti nel medesimo giorno.



Figura 7. Esempio d'immagine analizzata tramite software Turf Analyzer con copertura verde al 37,1%

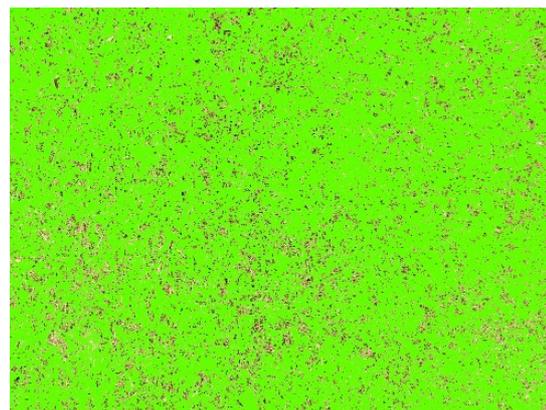


Figura 8. Esempio d'immagine analizzata tramite software Turf Analyzer con copertura verde al 77,1%.

Quantità di prolina nelle lamine fogliari

Dal mese di maggio al mese d'ottobre, due giorni prima della distribuzione degli agenti, venivano raccolte le lamine fogliari delle 132 parcelle, al fine di quantificare il loro contenuto di prolina.

La prolina è un amminoacido utilizzato nelle cellule per la biosintesi di proteine; nelle piante viene sintetizzata a partire dal glutammato.

I processi che costituiscono il catabolismo della prolina sono le reazioni inverse a quelle della sua sintesi.

La prevalenza dei processi di biosintesi o degradazione della prolina è regolata dalla luce e dallo stress subito, pertanto in presenza di luce e in situazione come la disidratazione, i processi di degradazione vengono repressi, portando ad un accumulo di prolina.

Per determinare il contenuto di prolina, sono stati collezionati dei campioni di lamine fogliari sminuzzate del tappeto erboso asciutto e i tali campioni sono stati conservati dal momento del taglio fino al momento dell'analisi alla temperatura di -20°C (Fig. 9 e 10).

Il contenuto di prolina è stato determinato seguendo il metodo proposto da Carillo e Gibon (2011); sono stati estratti 0.2 g di lamine fogliari con 10 ml di acido salicilsolfonico al 3% mediante MAE (estrazione assistita con microonde) e lasciato raffreddare. Un'aliquota di 500- μl di estratto è stata mixata con 1.5 ml di soluzione di ninidrina in una cuvetta da 2.5 ml e riscaldato in forno a 90°C per 2 ore.

L'assorbanza è stata poi misurata mediante analisi spettrofotometrica ad una lunghezza d'onda di 515 nm.

La concentrazione di prolina è stata dunque determinata in base ad una curva standard con L-prolina come standard.

Il contenuto di prolina è stato espresso come μmolg^{-1} di estratto di prolina per campione a peso secco.

Figura 9. Campione di lamine fogliari raccolte nella parcella n. 27



Figura 10. Campione di lamine fogliari della parcella n. 27 polverizzate mediante l'utilizzo di un mortaio e mantenute alla temperatura di -20°C con azoto liquido.



4. RISULTATI

Le prove sono state riproposte, con la medesima procedura, anche nell'anno 2019, apportando dati inevitabilmente leggermente diversi rispetto all'anno precedente.

In questi risultati sono riportati i valori medi delle due annate, che risultano anche più affidabili.

4.1 QUALITA' DEL TE

I trattamenti ad agenti imbibenti dimostrano una migliore qualità del manto erboso rispetto al controllo non trattato su una media fatta a base mensile, annuale e in relazione all'apporto dell' ET_0 . Non sono state invece osservate sostanziali differenze tra i diversi trattamenti somministrati. Non considerando il controllo non trattato, tutti gli altri plots hanno mantenuto in media un'accettabile qualità del TE durante tutto il periodo di studi.

Senza tenere conto dei trattamenti, il ripristino dell' ET_0 non ha dato nessun effetto alla qualità del TE nei primi due mesi dall'inizio dei trattamenti (Figura 11).

Il TE irrigato al 55% e oltre dell' ET_0 mostra una migliore qualità rispetto a quello irrigato al 45% nel periodo che va da luglio ad ottobre. Solo le parcelle irrigate al 65% hanno mostrato una qualità accettabile per tutto il periodo di studi.

In qualsiasi caso, le parcelle irrigate al 45% sono state accettabili nei mesi di giugno e luglio.

Le parcelle irrigate al 55% e al 65% non hanno mostrato diminuzione della qualità fino a settembre.

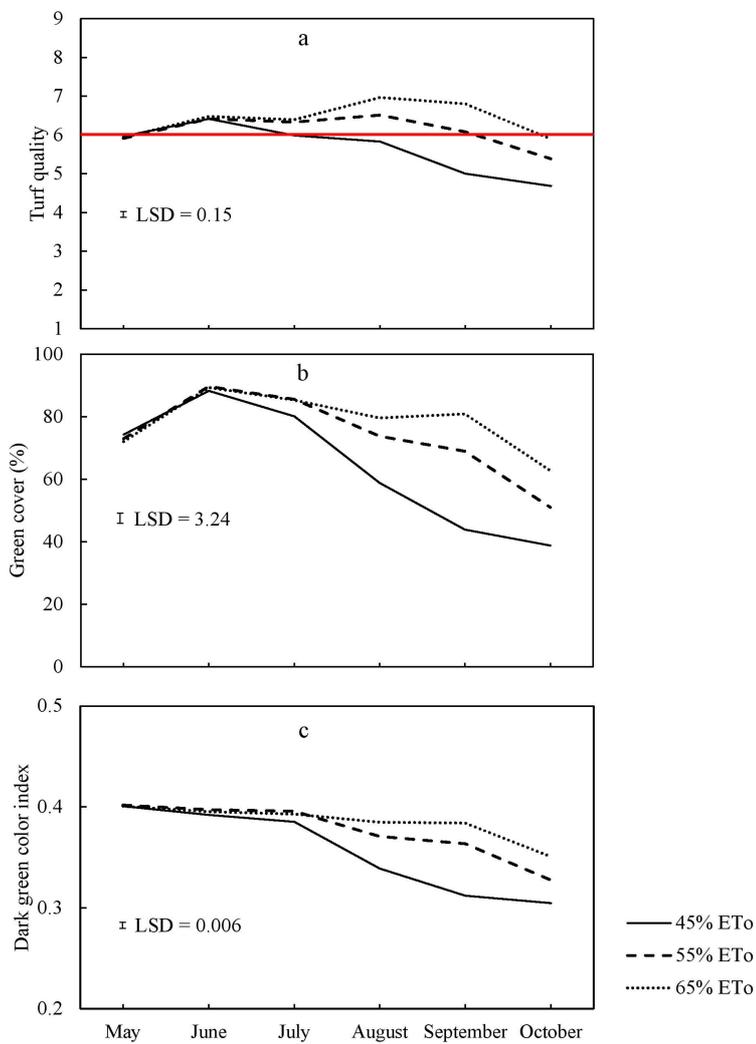


Figura 11. Qualità del TE (a), percentuale di copertura verde (b) e indice di colorazione verde (c).

I risultati sono stati ottenuti unendo i valori raccolti nei due anni, per i 10 trattamenti e un controllo non trattato, con quattro replicazioni per un totale di 1056 valori. La linea rossa traccia il minimo accettabile per la qualità.

4.2 PERCENTUALE DI COPERTURA VERDE ED INDICE DI COLORAZIONE VERDE

Similmente alla qualità del TE, i plots trattati con agenti imbibenti hanno mostrato una migliore PGC (percentuale di copertura verde) rispetto ai plot di controllo non trattati (Tabella 4).

Eccetto per Forté™ +CounterAct® Retain e Aquimax® Turf Lateral, il resto dei trattamenti hanno mostrato un miglioramento anche del DGCI (indice di colorazione verde), i quali effetti sono stati comparati a Revolution®.

4.3 CONTENUTO VOLUMETRICO D'ACQUA E VARIABILITA' DI UMIDITA' NEL SUOLO

Facendo la media del VWC (contenuto volumetrico d'acqua) rispetto all'ET_o, mensilità e anni, eccetto per i plots trattati con Forté™ +CounterAct® Retain o Aquimax® Turf Lateral, tutti gli altri hanno incrementato il contenuto volumetrico d'acqua nel suolo rispetto al controllo non trattato (Tabella 4). L'irrigazione ha influito sul VWC da maggio fino al termine della stagione, anche se è calato ininterrottamente per tutti i trattamenti d'irrigazione dal mese di maggio fino ad agosto.

Successivamente, il VWC è stato mantenuto ad un livello relativamente costante per ogni quantitativo d'irrigazione.

Nei primi due mesi, le parcelle irrigate al 65% dell'ET_o avevano un più alto VWC rispetto a quelle irrigate al 45%.

In giugno, anche le parcelle irrigate con il 55% hanno migliorato il VWC rispetto a quelle irrigate al 45%. A partire da luglio, il più alto contenuto volumetrico d'acqua è stato registrato nei plots irrigati con il più alto ripristino dell'ET_o e tutti e tre i diversi livelli irrigui sono stati significativamente diversi l'uno dall'altro (Figura 12).

Da maggio a giugno del 2019 non è stata osservata una grande differenza nella variabilità dell'umidità del suolo (Tabella 4).

A partire da agosto, il TE irrigato al 55% e oltre dell'ET_o ha mostrato una variabilità dell'umidità del suolo maggiore rispetto a quella irrigata al 45%.

Non sono invece state osservate differenze tra i TE irrigati al 55% e 65%.

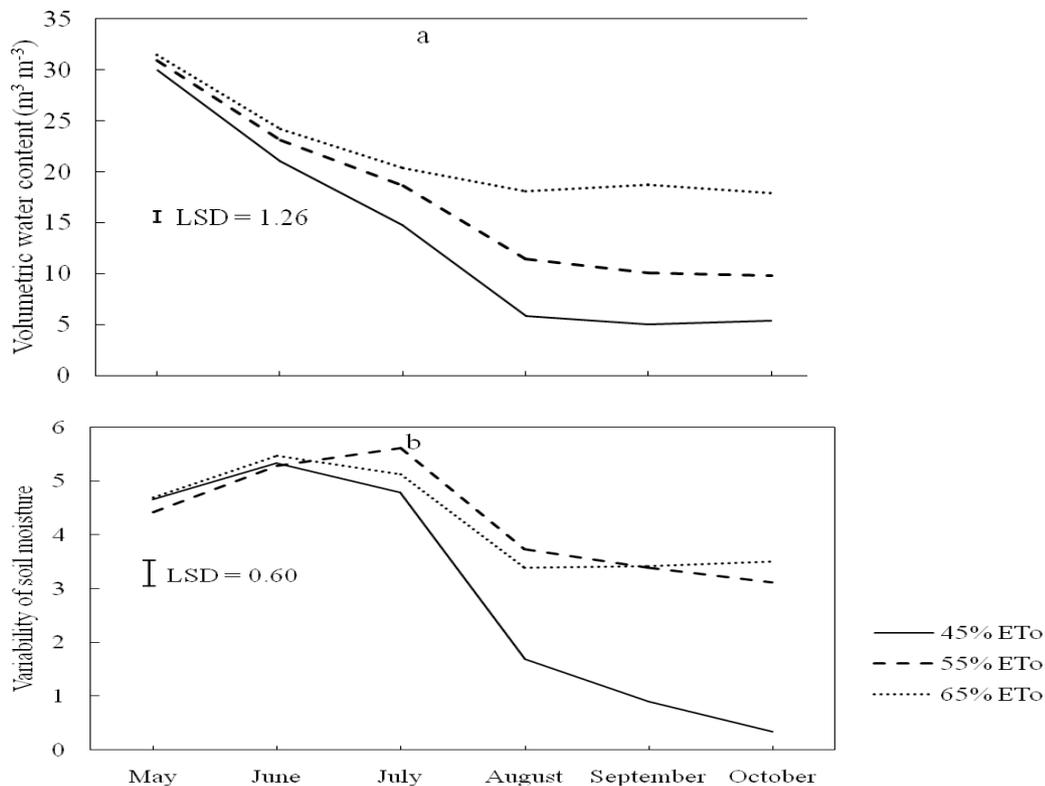


Figura 12. Contenuto volumetrico d'acqua (a) e variabilità dell'umidità nel suolo (b).

4.4 CONTENUTO DI PROLINA

Da luglio a settembre 2019, il contenuto di prolina nelle lamine fogliari è diminuito con l'incremento del ripristino dell' ET_0 (Figura 13).

In ottobre, è stato rilevato un più alto contenuto di prolina nel TE irrigato al 45% rispetto a quello irrigato al 65%.

Il picco di prolina accumulata è stato osservato in agosto, per tutti e tre i diversi apporti idrici, ma con una quantità estremamente elevata nelle parcelle irrigate al 45%.

Tale picco si è manifestato circa tre mesi dopo l'inizio del deficit d'irrigazione.

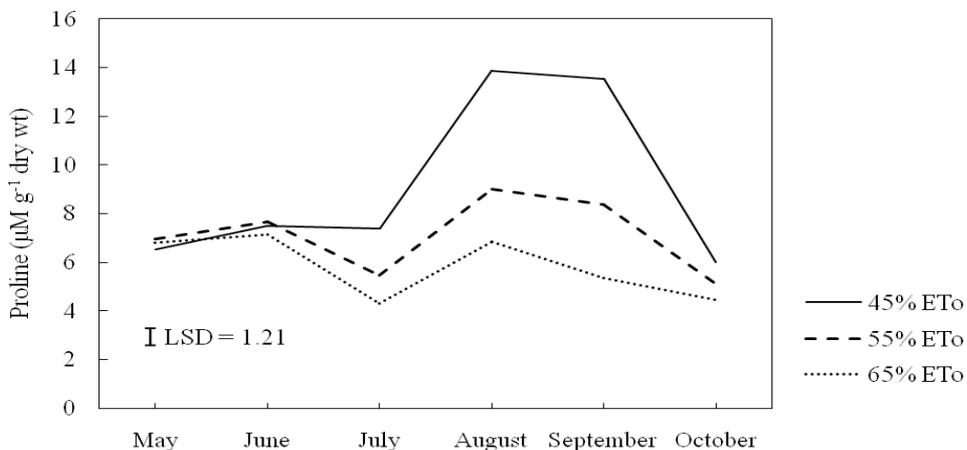


Figura 13. Contenuto di prolina in campioni di lamine fogliari.

Tabella 4. Qualità del TE, percentuale di copertura verde (PGC), indice di colorazione verde (DGCI), contenuto volumetrico d'acqua (VWC) e variabilità dell'umidità del suolo su ibrido di *Cynodon dactylon* trattato con 10 agenti imbibenti e un controllo non trattato.

I risultati sono stati ottenuti unendo i valori raccolti nei due anni (2018 e 2019), per sei mesi, per le quattro replicazioni dei tre diversi apporti idrici (ET₀; 45%, 55% e 65%).

Treatment	Turf quality	PGC (%)	DGCI	VWC (% m ³ m ⁻³)	Soil moisture variability [†] (2019)
Untreated control	5.5 b	65.8 c	0.363 d	16.1 c	4.8 a
Revolution [®]	6.1 a	73.4 a	0.374 ab	18.4 a	3.5 c
TriCure AD [®] (1x rate)	6.1 a	73.0 a	0.374 ab	17.7 ab	3.7 bc
TriCure AD [®] (1/2 x rate)	6.0 a	71.8 ab	0.372abc	17.5 b	3.8 bc
Forté™ + CounterAct [®] Retain	6.0 a	69.7 b	0.368 cd	16.5 c	3.9 bc
Forté™ + Brilliance [®]	6.1 a	73.5 a	0.375 ab	17.9 ab	4.1 b
Aquimax [®] Turf Lateral	6.1 a	71.8 ab	0.370bc	17.1 bc	3.5 c
Passage	6.2 a	73.4 a	0.376 ab	18.6 a	3.6 c
Vivax™	6.1 a	72.0 ab	0.371abc	17.5 b	3.7 bc
Cascade Plus™	6.1 a	73.2 a	0.372abc	17.7 b	3.7 bc
Hydro-90 [®] +Symphony [®]	6.1 a	73.1 a	0.375 ab	18.0 ab	3.8 bc

[†] Soil moisture variability was determined by calculating the standard deviation of VWC among 10 data points within each plot. The higher the standard deviation refers to higher variability, therefore, lower uniformity.

[‡] Values followed by the same letter in a column are not significantly different from one another, according to Fisher's protected LSD, $P=0.05$.

5. CONCLUSIONI

Le caratteristiche fogliari quali qualità del TE, indicatore di vegetazione viva, percentuale di copertura verde, indice d'intensità di colorazione verde e le caratteristiche fisiologiche di accumulazione di prolina, sono state valutate per determinare gli effetti di 10 agenti imbibenti in regime di deficit d'irrigazione su ibrido di *Cynodon dactylon*.

Grazie a questi studi è stato possibile dimostrare come i trattamenti ad agenti imbibenti abbiano dato effetti positivi sulla qualità del TE, sulla percentuale di copertura verde, sull'indice di colorazione verde e sul contenuto volumetrico d'acqua nel suolo.

Le prove hanno permesso di evidenziare anche che, quando vengono utilizzati agenti imbibenti, la qualità del manto erboso può essere mantenuta ad un livello accettabile (6 o oltre) per la maggior

parte della stagione vegetativa, pur somministrando un 21% in meno d'acqua rispetto a quella solitamente indicata in letteratura per la varietà *Cynodon*.

Gli agenti imbibenti sono inoltre stati indicati come valida soluzione per la gestione di localizzate aree siccitose (LDS) in quanto aumentano il contenuto e l'uniformità d'acqua nel suolo.

6. BIBLIOGRAFIA

- Allen R., Pereira L., Raes D., Smith M., *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 5. FAO*, Rome, Italy, 1998
- Beard J.B., 1973. *Turfgrass: science and culture*, Prentice Hall, Englewood Cliff, N.J.
- Cappelletti G., *I tensioattivi*, Enciclopedia della Scienza e della Tecnica, Treccani, 2008
- Colmer T., Barton L., *Review of warm-season turfgrass evapotranspiration, responses to deficit irrigation and drought resistance*, Crop Science vol. 57, 2017
- Croce P., De Luca A., Falcinelli M. Modestini F. S., Veronesi F. 2006. *Tappeti erbosi. Cura, gestione e manutenzione delle aree verdi pubbliche e private*. Edagricole
- DaCosta M., Huang B., *Drought survival and recuperative ability of bentgrass species associated with changes in abscisic acid and cytokinin production*, Journal of the American Society for Horticultural Science vol. 132, 2007
- De Bertoldi C., 2018. *I benefici del tappeto erboso nell'ambiente urbano*. www.turfeurope.eu
- Feldhake C. M., Danielson R. E., Butler J. D., *Turfgrass Evapotranspiration. 11. Responses to Deficit Irrigation*. Agronomy Journal vol. 76, 1984
- Fry J., Butler J., *Response of tall and hard fescue to deficit irrigation*, Crop Science vol.26, 1989
- Giorgi D., *Il giardino: manuale di progettazione*, Palermo, D. Flaccovio, 2009
- Horst G.L., Engelke M.C., Meyers W., *Assessment of visual evaluation techniques*, Agronomy Journal vol.76, 1984
- Karcher D.E., Richardson M.D., *Batch analysis of digital images to evaluate turfgrass characteristics*, Crop Science vol. 45, 2005

Karcher, D.E., Purcell C., Richardson M., Purcell L., and Kenneth W., *New java program to rapidly quantify several turfgrass parameters from digital images*. In ASA, CSSA and SSSA International Annual Meetings, 2017

Krans J.V., Morris K., *Determining a profile of protocols and standards used in the visual field assessment of turfgrasses*, Applied turfgrass science, 2007

Morris K.N., Shearman R.C., *NTEP turfgrass evaluation guidelines*. National Turfgrass Evaluation Program, Beltsville, MD, 1998

Qian Y., Engelke M., *Performance of five turfgrasses under linear gradient irrigation*, HortScience vol.34, 1999

Richardson M.D., Karcher D.E., and Purcell L.C., *Quantifying turfgrass cover using digital image analysis*. Crop Science vol.41, 2001

Schiavon M., Leinauer B., Serena M., Maier B., Sallenave R., *Plant growth regulator and soil surfactants' effects on saline and deficit irrigated warm-season grasses. Turf quality and soil moisture*, Crop Science vol.54, 2014

Schiavon M., Orlinski P., Petelewicz P., Pudzianowska M., and Baird J.H., *Effects of Trinexapac-Ethyl, surfactant, and Nitrogen Fertilization on Bermudagrass water use*, Agronomy Journal vol.3, 2019

Snyder R., Eching S., *Landscape Irrigation Management Program*, 2007

Stanley J. Zontek, Dr. Stanley J. Kostka, *Understanding the different wetting agents chemistries*, USGA, Green Section Record vol. 50, 2012

Trenholm L.E., Carrow R.N., Duncan R.R., *Relationship of multispectral radiometry data to qualitative data in turfgrass research*, Crop Science vol.39, 1999

6.1 RIFERIMENTI IPERTESTUALI

<http://www.ntep.org/>

<https://cimis.water.ca.gov>

<https://www.usclimatedata.com/climate/riverside/california/united-states/usca1695>

<https://www.turfalyzer.com>