



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Dipartimento di riferimento del corso di laurea: TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Dipartimento di riferimento del relatore: AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE
NATURALI E AMBIENTE

CORSO DI LAUREA IN RIASSETTO DEL TERRITORIO E TUTELA DEL
PAESAGGIO - PAESAGGIO PARCHI E GIARDINI

MACCHINE DA TAGLIO (ROBOTIZZATE) ELETTRICHE PER IL TAGLIO DEI
CAMPI DA GOLF: impatto sulla qualità del tappeto erboso e sostenibilità ambientale
ed economica.

RELATORE

Prof. Macolino Stefano

CORRELATORI

Dr.ssa Cristina Pornaro

Dr. Giuliano Sciusco

Alice Slaviero

Matricola n.2057721

Anno Accademico: 2023 - 2024

INDICE

1.INTRODUZIONE

- 1.1 Aree del campo da golf e la loro manutenzione.
- 1.2 Importanza del taglio del tappeto erboso e tutto quello che comporta.
- 1.3 Utilizzo dei robot tagliaerba effetti sul tappeto erboso nei campi da golf.
- 1.4 Obiettivi e motivazioni dello studio.

2.MATERIALI E METODI

- 2.1 Descrizione del campo da golf che ospita la sperimentazione.
- 2.2 Descrizione della sperimentazione, procedure e strumentazione utilizzate per la raccolta dei dati.
- 2.3 Analisi statistica.

3. RISULTATI

- 3.1 Colore.
- 3.2 Aspetto estetico
- 3.3 Contenuto idrico del suolo
- 3.4 Radici e stoloni

4. DISCUSSIONE

5.CONCLUSIONI

- 5.1 Possibili implicazioni pratiche.

6.BIBLIOGRAFIA

6.1 Elenco delle fonti utilizzate durante la ricerca, incluse pubblicazioni scientifiche e documentazione tecnica.

7. RINGRAZIAMENTI

RIASSUNTO:

Questa tesi esamina l'importanza della manutenzione dei fairway nei campi da golf, con un'attenzione particolare all'impiego dei robot tagliaerba e ai loro effetti sul tappeto erboso. In particolare, vengono esaminati gli aspetti gestionali e ambientali legati all'impiego di robot tosaerba nei campi da golf.

La tesi prevede la conduzione di una prova sperimentale di campo presso il golf La Montecchia in Selvazzano (PD). Viene fornita una dettagliata descrizione del campo da golf che ospita la sperimentazione, nonché delle procedure utilizzate per la raccolta dei dati e la strumentazione impiegata. I dati raccolti sono utilizzati per confrontare i due metodi di taglio (tradizionale e robotizzato) in funzione dell'aspetto estetico generale dell'erba, efficienza economica e sostenibilità ambientale. Segue una discussione sui risultati ottenuti in funzione degli obiettivi dello studio.

In conclusione, si espongono le considerazioni sui risultati ottenuti relativamente alle possibilità di impiego dei robot tosaerba nei campi da golf.

1.INTRODUZIONE

1.1 Aree del campo da golf e la loro manutenzione.

Il golf è uno sport dove ogni campo ha il proprio design ed è composto generalmente da 9 buche o multipli, un campo regolamentare è formato da 18 buche.

I percorsi sono studiati per soddisfare anche i giocatori più esperti, e offrire quindi diverse difficoltà grazie all'inserimento di ostacoli come: alberi, collinette, laghetti, ruscelli e bunker (fosse di sabbia).

Ogni buca è composta da:

- Green
- Collar
- Fairway
- Rough
- Pre-rough
- Tee
- Bunker
- Ostacoli



Figura 01. Schema delle aree del campo da golf avente come base la buca 10 del Golf La Montecchia (fonte: Google Earth).

IL GREEN

Area finale di gioco della “buca” (area del campo che copre il tracciato dal Tee al Green) caratterizzata da un’altezza di taglio che va dai 3 ai 3,5 mm circa della cotica erbosa. Quest’importante area di gioco è, la più soggetta a calpestio, ed è sottoposta ad un taglio molto basso (3-5mm) perciò richiede una corretta progettazione e manutenzione per garantire un’ottima giocabilità. Infatti, il rotolamento percorso dalla pallina detto anche “putting” sul green dipende da fattori come: la specie e varietà utilizzata, la presenza di feltro, l’altezza e uniformità di taglio, l’umidità e la densità del tappeto erboso. Essendo la zona più delicata del campo da golf esige delle cure particolari:

- Taglio frequente ed omogeneo: limita le infestanti perché ne impedisce la fioritura, favorisce la velocità della pallina sul manto erboso anche grazie ad un frequente cambio della direzione di taglio per evitare che il filamento di erba cresca piegata nel senso di taglio.
- Spazzolatura: con una spazzola si va a raddrizzare la cotica erbosa favorendo il portamento verticale della foglia, eliminare anche la rugiada mattutina per evitare funghi (figura 02).



Figura 02. Spazzolatrice in campo (sito Pratoverde).

- Verticut (tosature verticali): al fine di eliminare il feltro e aiutare a contenere le infestanti a foglia larga (figure 03-04).



Figura 03. Verticut composto da lame. Figura 04. Verticut composto da fustelle
Verti-rake 200 (sito Pratoverde).

- Topdressing: apporto di sabbia con a volte sostanza organica o concime. Quest'operazione culturale aiuta a ridurre la formazione del feltro, colma eventuali buchi provocati dalla pallina, o da pratiche culturali che prevedono dei fori nel terreno (figura 05).



Figura 05. Macchina Topdresser 1800 della Toro (sito Toro).

- Erpicature: hanno lo scopo di decompattare, arieggiare, far infiltrare l'acqua e cambiare lentamente la struttura fisico-meccanica del terreno con l'apporto di sabbia (topdressing) (figura 06).



Figura 06. Arieggiatore per tappeti erbosi ProCore SR72 della Toro (sito Toro).

- Irrigazione: dev'essere effettuata in grandi quantità con frequenza ridotta per favorire l'approfondimento radicale. Ma può essere effettuata anche un'irrigazione di soccorso (siringing) in giornate molto calde nebulizzando l'acqua in modo da non aumentare quella già presente nel terreno e raffreddare la cotica erbosa, generalmente in ambito sportivo si utilizzano irrigatori detti pop-up (figura 07).



Figura 07. Irrigatori per il golf (sito Toro).

Il feltro è un accumulo di elementi vegetali morti che si depositano appena sopra il terreno. Questo fenomeno avviene perché la sostanza organica del terreno non riesce a degradare alla stessa velocità di crescita e taglio del tappeto erboso.

Una pratica spesso messa in atto per ridurre in calpestio attorno ad aree specifiche all'interno del green è quella di spostare frequentemente la buca di arrivo, facendo sì di uniformare per quanto possibile il compattamento del terreno. Tale problema può portare a ristagni idrici, inoltre impedisce l'aerazione nella parte ipogea della pianta favorendo la suscettibilità della stessa. Pertanto, come caratteristiche fondamentali, presenta un'ottima resistenza al compattamento e un'elevata capacità di drenaggio superficiale, tanto che è necessario seguire specifiche pratiche di costruzione.

Nel green vengono inserite specie microterme e macroterme a seconda delle condizioni climatiche, in seguito riportate le più utilizzate:

MICROTERME: piante originarie da climi freddi, con crescita vegetativa dai 10°C in su.

<i>Agrostis stolonifera</i> (eventuale disegno o foto)	Elevata densità con tessitura fine e una qualità estetica eccellente, tollera molto bene i tagli bassi. Negli ultimi anni è poco utilizzata in Italia a causa delle difficoltà che ha con le alte temperature e con la siccità. Richiede molte cure colturali.
<i>Poa annua</i>	È un infestante che è stata accolta nei green in quanto tollera assai bene i tagli molto bassi. Inoltre presenta tessitura medio fine ed un elevata densità.

MACROTERME: piante originarie da climi caldi, con crescita vegetativa dai 27°C in su.

<i>Cynodon dactylon x trivalensis</i>	Molto resistente a caldo e siccità. Presenta una tessitura fine. Tollera i tagli bassi.
<i>Cynodon dactylon</i>	Tessitura medio-fine ed elevata densità. Tollera i tagli bassi e poco suscettibile a malattie. Specie molto invadente e richiede molte concimazioni.

IL COLLAR

Fascia perimetrale del green. Non ha alcuna funzione all'interno del gioco del golf, ma viene comunque inserito per un fattore estetico. Presenta le stesse specie impiegate nel green:

- *Agrostis stolonifera*
- *Cynodon dactylon*

IL FAIRWAY

Area compresa tra il Tee ed il Green. È la zona più estesa della buca nonché oggetto di studio di questa tesi. Può seguire l'andamento dell'ambiente naturale ed ha un'altezza di taglio dai 13 ai 15 mm. Le specie che troviamo sono:

MACROTERME:

- *Cynodon dactylon*
- *Zoysia spp.*: presenta una ridotta velocità di crescita, forma tappeti erbosi molto densi con tessitura fine, ma ha molta difficoltà ad insediarsi e come tutte le macroterme in inverno diventa gialla.
- *Paspalum vaginatum*: tollera molto bene la salinità, risulta perfetta per campi da golf in zona costiera. Presenta un tappeto erboso molto denso e tenero al tatto con tessitura fine.

MICROTERME:

- *Poa pratensis*: forma un tappeto erboso molto denso, con tessitura fine. Spesso la vediamo in consociazione con altre specie come *Festuca arundinacea* e *Poa pratensis*.
- *Lolium perenne*: si trova spesso in miscuglio con *Poa pratensis* o più raramente, con *Festuca arundinacea*.
- *Agrostis stolonifera*
- *Festuca rubra* e *F. arundinacea*: sono poco utilizzate, la prima perché suscettibile alle alte temperature, la seconda per la scarsa resistenza ai tagli bassi e la tessitura molto grossolana.

La manutenzione del Fairway deve garantire un'ottima qualità e richiedere poco tempo per una superficie molto estesa.

Le pratiche colturali:

- Il taglio: è necessario mantenere un'altezza di 2,5cm nel caso in cui si superasse questa misura l'erba andrebbe ad interporsi tra la palla e la testa del bastone, provocando tiri imprecisi. Quando si effettua il taglio su quest'area non si asporta il residuo di taglio ma lo si lascia nel tappeto erboso e funge da concime.
- Irrigazione: come per il green si preferisce irrigare abbondantemente e a lunghi intervalli.

IL PRE-ROUGH

Area che intercorre tra il fairway ed il rough. Presenta un'altezza di taglio di circa 30 mm.

IL ROUGH

Zona ai lati del campo, marginale, poco frequentata dai giocatori perché sterna al percorso ottimale di gioco, di fatto area di penalità. Ciò porta a una maggiore naturalità, possiamo trovare specie spontanee e autoctone con una certa stagionalità e interesse decorativo. Con obiettivo di aiutano alla biodiversità: come l'esempio lodevole del golf oggetto di studio, in cui sono introdotte specie dall'interesse degli insetti impollinatori portando alla produzione del miele mille buche (figura 26). In quest'area la manutenzione è quasi nulla.

IL TEE

Area di partenza della buca il cui tappeto erboso è soggetto a ripetuti danni rappresentati dal sollevamento di porzioni dello stesso dovuto all'impatto violento della mazza in occasione del primo tiro. Come nel green, per evitare continui danneggiamenti, si sposta spesso di qualche metro la partenza in modo tale da premettere alla cotica erbosa di "chiudere" i buchi creati. Presenta un'altezza di tagli di 10-12mm. Anche qui come nel green c'è la necessità di mantenere il tappeto erboso il più asciutto possibile condizionando la scelta delle specie da inserire:

MACROTERME:

- *Cynodon dactylon*
- *Zoysia spp*

MICROTERME:

- *Lolium perenne*
- *Poa pratensis*
- *Agrostis stolonifera*

Le pratiche agronomiche per la manutenzione di quest'area sono:

- irrigazioni come nei fairway e nei green;
- come nel green è importante effettuare cure colturali per evitare l'eccessivo compattamento del terreno;
- anche nel tee, come nel green, è necessario spostare la partenza per dar modo al tappeto erboso di crescere e chiudere i buchi provocati dalla mazza durante il primo tiro.

Le specie usate nelle diverse aree di gioco sono riassunte nelle seguenti tabelle:

Tabella 01. Specie macroterme maggiormente impiegate nelle diverse aree del campo da golf.

	Green	Collar	Tee	Fairway	Pre-rough	Rough
<i>Cynodon dactylon</i>						
<i>Cynodon dactylon x travalensis</i>						
<i>Zoysia spp.</i>						
<i>Paspalum vaginatum</i>						

Tabella 02. Specie microterme maggiormente impiegate nelle diverse aree del campo da golf.

	Green	Collar	Tee	Fairway	Pre-rough	Rough
<i>Lolium perenne</i>						
<i>Poa pratensis</i>						
<i>Poa annua</i>						
<i>Agrostis stolonifera</i>						
<i>Festuca rubra e arundinacea</i>						

1.2 Importanza del taglio del tappeto erboso, effetti sulla vegetazione e attrezzatura impiegata.

Il taglio del tappeto erboso rappresenta la pratica colturale più importante in quanto determina: la salute, qualità ed in parte anche la tessitura del manto erboso. Questa pratica dev'essere effettuata con frequenza e altezza regolate in base alla funzione e crescita della stessa. Tuttavia, si preferisce fare un taglio più frequente asportando minor lamina fogliare possibile in modo da contenere lo shock derivante dall'improvvisa limitazione dell'attività fotosintetica. Inoltre, è stato dimostrato che nel momento in cui si effettua un taglio frequente alla stessa altezza e con un intervallo di tempo molto breve, la pianta incanala i carboidrati verso la crescita delle radici (porzione ipogea) rispetto a quella epigea (Christians 1998, Turgeon 1999).

D'inverno questa pratica viene effettuata con minor intensità soprattutto se si usano specie macroterme, in quanto tali specie quando sono in dormienza dissecando e quindi portando a morte le lamine (porzione epigea), le sostanze nutritive vengono riposte nelle radici, dove rimangono a disposizione della pianta fino al suo risveglio primaverile.

L'erba falciata può essere lasciata sul tappeto erboso in quanto ottimo nutriente (mulching), ma al tempo stesso può diventare vettore di patologie fungine e attacco da parte d'insetti in quanto fornisce un habitat perfetto per ambo gli aspetti, di fatto sarà facoltà del green keeper in base alla situazione il da farsi. Di fatto McElroy et al.,(2022) affermano che il taglio continuo e il minimo asporto di lamina fogliare possa eliminare la raccolta del residuo di taglio migliorando i nutrienti nel terreno.

Questa pratica può essere eseguita tramite 3 tipologie di apparato di taglio:

Elicoidale composto da: un cilindro su cui ruotano un minimo 5 a un massimo di 12 lame con una contro lama in basso (figura 08), con un rullo anteriore (figura 09-10) per raddrizzare i fili in modo da avere un taglio più omogeneo e netto, ciò comporta una ferita più piccola per la foglia della pianta e quindi meno possibilità d'ingresso di patogeni.



Figura 08. Visione frontale dell'apparato di taglio elicoidale.



Figura 09. Visione dall'alto dell'apparato di taglio elicoidale.



Figura 10. Apparato di taglio elicoidale sul tavolo di lavoro con contro lama smontata.

Rotativo: composto da una o più lame orizzontali che tagliano per effetto rotativo (figura 11), provocando un taglio non nitido, spesso sfilacciato che può essere vettore d'ingresso per i patogeni, perdita di acqua da parte della pianta e una qualità molto minore rispetto al taglio elicoidale. Queste sono impiegate nella maggior parte nella manutenzione di tappeti erbosi privati (di casa) che non richiedono grandi qualità come quelli sportivi, o in zone dove la qualità non è importante come ad esempio il rough o semi-rough (figure 12-13).



Figura 11. Apparato di taglio rotativo della marca Ventrac (sito Ventrac).



Figura 12. Macchina taglio rotativo della marca Ventrac (referens sito Ventrac)



Figura 13. Macchina da tagli rotativo in campo (sito Ventrac).

I tagliaerba sopra elencati possono essere mossi a mano oppure tramite motore a scoppio o elettrico (robot).

Robot: l'apparato di taglio è costituito da un disco rotante (figura 14) su cui sono inserite piccole lame da 5 a 8 centimetri che ruotano autonomamente rispetto al disco principale. Vengono programmati e controllati tramite un'app sul telefono, possono essere guidati da un filo interrato oppure da stazioni gps, utilizzando i satelliti come riferimento per muoversi nello spazio. Ne esistono di molti modelli e diverse marche ma il meccanismo di funzionamento è lo stesso. Sono alimentati tramite delle batterie inserite al loro interno che quando saranno scarichi torneranno autonomamente alla stazione di ricarica per poi riprendere il taglio (figura 15-16).



Figura 14. Disco rotante con lame (apparato di taglio del robot tagliaerba CEORA).



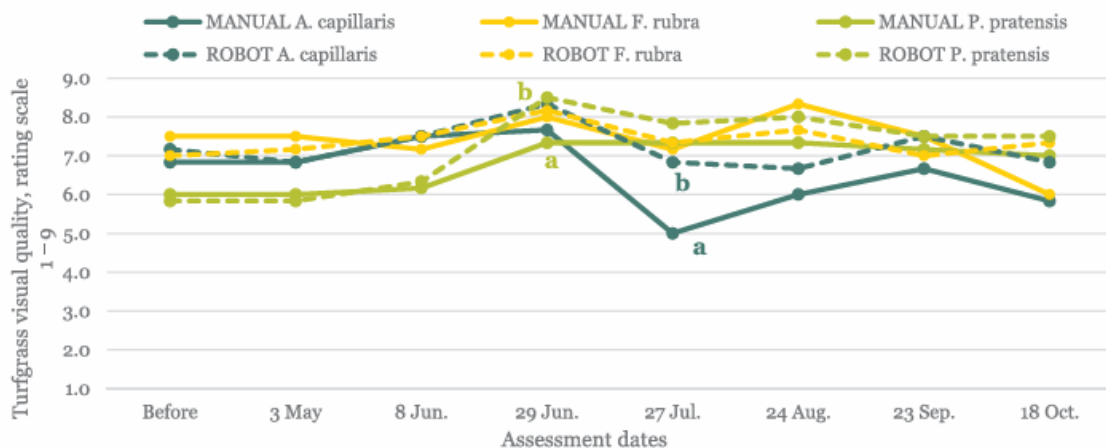
Figura 15. Robot taglia erba in campo (CEORA).



Figura 16. Apparato di taglio del robot tagliaerba (CEORA).

1.3 Utilizzo dei robot tagliaerba nei campi da golf.

Per quanto riguarda la qualità del tappeto erboso nell'articolo Hesselsøe et al.,2024, riguardante uno studio durato dal 2020 al 2023 condotto su campi da golf nella Norvegia Sud-orientale dove abbiamo un confronto tra le parcelle tagliate a mano e quelle con il robot, si evince che non abbiamo nessuna differenza significativa della qualità del manto erboso (grafico 01). Tuttavia è presente una tendenza a una qualità migliore del tappeto erboso dove falciato dal robottino anche se non significativa.



- Grafico 01. Qualità del tappeto erboso (Hesselsøe et al.,2024).

A riguardo delle malattie, abbiamo una minor presenza di malattie sul tappeto erboso di *Lolium perenne* tagliato dal robot nei fairway in autunno, in quanto la densità di questa specie risulta inferiore garantendo una maggiore areazione della canopy.

In uno studio effettuato a Pisa nel 2017 (Mcelroy et al., 2022) su *Festuca arundinacea* è stato dimostrato che l'impiego del robot comporta un notevole risparmio energetico (figura 17).

Machine	Primary Energy Requirement	
	Tall Fescue	Bermudagrass
Battery-powered mower	5.47 kWh/ha	9.32 kWh/ha
Gasoline-powered mower	48.21 kWh/ha	51.42 kWh/ha

Figura 17. Fabbisogno energetico primario dei due macchinari a pieno regime a 5000 giri/min su *Festuca arundinacea* e *Bermudagrass*.

Con l'utilizzo del robot si suppone una minor compattazione del suolo, richiedendo meno operatori in campo. Inoltre si ha una riduzione del rumore, demolizione totale delle emissioni di CO₂ permettendo di utilizzare energie rinnovabili.

1.4 Obiettivi e motivazioni dello studio.

Nonostante il notevole incremento nell'uso dei robot per il taglio dei tappeti erbosi, vi sono ancora poche informazioni a riguardo del loro impiego nei campi da golf. Se è vero che non sono ancora ben chiare le differenze esistenti tra il taglio tradizionale rotativo ed il taglio elicoidale poiché dipendono dal contesto, specie e cultivar impiegate, pratiche colturali adottate, diverse manutenzioni, gestioni e tipo di suolo, ancor meno note le differenze rispetto ad un taglio con robot che diversamente dai precedenti ha una frequenza di taglio continua. Il presente lavoro si pone come obiettivo quello di verificare gli effetti sulla vegetazione dei fairway del campo da golf della Montecchia, confrontandolo con il taglio eseguito con un tosaerba rotativo tradizionale, prendendo in considerazione il consumo energetico, sostenibilità ambientale, economica e gli effetti sulla vegetazione.

2.MATERIALI E METODI

2.1 Descrizione del campo da golf che ospita la sperimentazione.

La prova sperimentale è stata condotta presso il golf La Montecchia situato a Selvazzano Dentro (PD). Il campo si trova a confinare con un'area protetta importante del Parco Regionale dei Colli Euganei (figura 18), pertanto la manutenzione dello stesso si è da sempre svolta verso la salvaguardia e la sostenibilità ambientale.



Figura 18. Panoramica del campo da golf (pag.15 “30 anni golf a Montecchia”).

Ciò comportò fin da subito un particolare interesse internazionale, portando numerose collaborazioni con esperti e ricercatori di vari enti ed istituti di ricerca. Sono state condotte numerose prove sperimentali con applicazioni dirette in campo che riguardavano sia flora che fauna, ed emissioni di carbonio interessando anche il tappeto erboso e il patrimonio arboreo presente. Tra i più considerevoli la prova sperimentale in cui i test riguardanti specie macroterme¹ da tappeto erboso nel 2003. Il caso di studio di titolo: “Impiegati nel verde: adattamento dei tappeti erbosi della stagione calda in Europa a nord del 45° parallelo” durato dal 2005 al 2007 (Minelli et al., 2014), furono valutate diverse specie da tappeto erboso per la valutazione del fabbisogno idrico, la suscettibilità alle malattie fungine e adattabilità delle stesse dati i cambiamenti climatici. Dai risultati di questo studio si evince che “*Cynodon dactylon x transvaalensis* cv Tifway 419, *Eremochloa ophiuroides* cv Tifblair, *Zoysia*

¹ Macroterme: piante originarie da climi caldi, con crescita vegetativa dai 27°C in su.

japonica (cv El Toro e cv Zenith) e *Zoysia matrella* cv Zeon” sono le specie che si sono adattate con più facilità al clima presente rappresentando un punto di riferimento per i golf del 45° parallelo.

Tale studio successivamente (Minelli et al., 2014), nel 2010 portò alla conversione da microterme² a macroterme esattamente in bermudagrass (*Cynodon dactylon x transvaalensis* cultivar ‘Patriot’) interessando i tees e i fairways. Si ebbe un’importante riduzione: dei consumi d’acqua del 70%, dell’impiego di fertilizzanti dell’80%, la rimozione dell’utilizzo di fitofarmaci, e un’importante diminuzione delle ore di lavoro da parte degli operatori (figura 19). Tale scelta portò il Golf della Montecchia ad essere un caposaldo nella gestione sostenibile (figura 20).

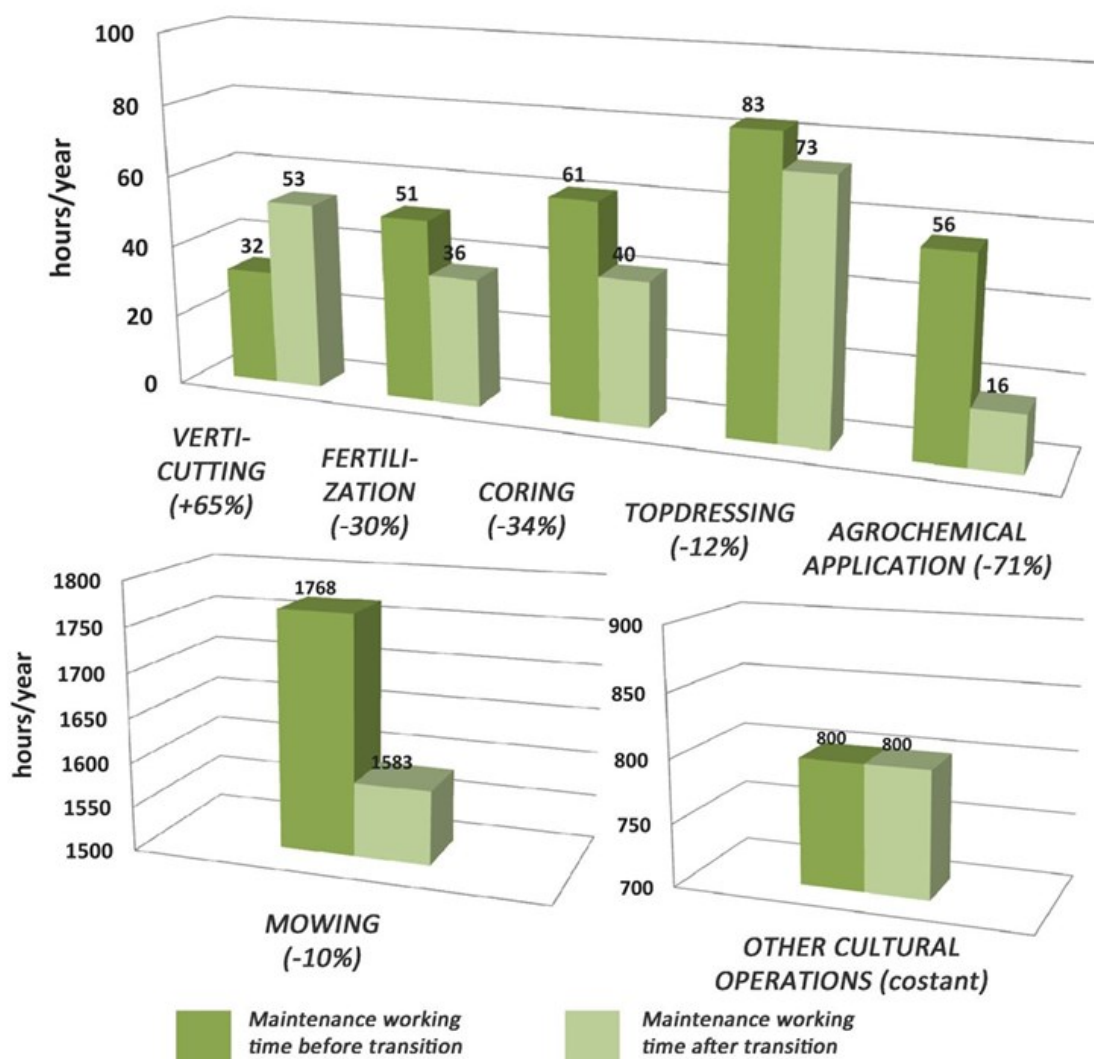


Figura 19. Ore di lavoro delle operazioni culturali prima e dopo la transizione, con le rispettive percentuali (Minelli et al., 2014).

² Microterme: piante originarie da climi freddi, con crescita vegetativa dai 10°C in su.

A partire dal 2015 fu avviato il progetto “Biogolf Case Study” con l'obiettivo di bilanciare la gestione del campo da golf con la tutela dell’ambiente circostante, garantendo al contempo un’esperienza di gioco di alta qualità e un aspetto estetico gradevole. Tali obiettivi dovevano essere raggiunti tramite l’impiego di fertilizzanti organici e corrette pratiche agronomiche che prevedevano l’abolizione dei prodotti chimici.







ANNO/YEAR	PREMIO/PREMIUM	
2007 2012	Impegnati nel Verde - Committed to Green Impegnati nel Verde - Committed to Green	
2013 2016 2019	G.E.O. Environmental Certification Rinnovo triennale - Three years renewal G.E.O. Environmental Certification Rinnovo triennale - Three years renewal G.E.O. Environmental Certification	
2015 2018	Nomination I.A.G.T.O. Environmental Award Riconoscimento I.A.G.T.O. Sustainability - I.A.G.T.O. Sustainability Award Recognition	
2018	Inserimento nella rete della Carta Europea del Turismo sostenibile Admission in The European Charter of Sustainable Tourism network	
2018 2019	G.E.O. Tournament Certification for organisation of USKids Venice Open Tournament G.E.O. Tournament Certification for organisation of USKids Venice Open Tournament	 

Figura 20. Riconoscimenti ambientali conseguiti (pag.74 “30 anni golf a Montecchia”).

Il campo nacque grazie a Umberto Giovanni Capodilista, Senatore della Repubblica e Presidente degli agricoltori veneti europei, che ereditò la proprietà, allora agricola; e che alla fine degli anni '80, assieme ad un gruppo di appassionati, decise di trasformare l’area in un campo da golf. Gli edifici presenti, risalenti al '600, vennero ristrutturati, si trattò di una grande riqualificazione di magazzini e un essiccatoio del tabacco (figura 21-22-23).



Figura 21. Raffigurazione essiccatoio del tabacco ristrutturato (pag. 51 “30 anni golf a Montecchia”).



Figura 22. Immagine della Villa Emo Capodilista (pag.22 “30 anni golf a Montecchia”).



Figura 23. Evoluzione negli anni del logo del Golf della Montecchia (pag. 31 “30 anni golf a Montecchia”).

Inizialmente furono costruite le prime 18 buche, successivamente nel 1991 ci fu un ampliamento del campo portato a 27 buche. La parte di progettazione fu affidata all'architetto Tom Macauley, che, osservando il paesaggio circostante, modellò il terreno, riportando la pianura spezzata e ondulazioni dei Colli Euganei. Fairways³ sinuosi e leggeri cambiamenti di pendenza, presentano un buon drenaggio ed un'ottima giocabilità. I greens⁴ ampi se opportunamente levigati possono risultare molto impegnativi anche per i giocatori più esperti, tanto da diventare di interesse di gare (figura 24). Mentre i rough⁵ tramite la diversa altezza di taglio del tappeto erboso permettono di variare i livelli di penalizzazione. E i tees⁶ offrono tracciati di varie lunghezze.

³ Fairways: zona tra tee e green

⁴ Greens: piazzola di arrivo con la buca.

⁵ Rough: area che circonda i fairways, zona con maggiore naturalità, si lasciano le specie autoctone.

⁶ Tees: piazzola di partenza in cui avviene il primo tiro.

MAGGIORI TORNEI OSPITATI - MAJOR TOURNAMENTS






A/Y	TORNEO/MATCH	
2001 2013 2016	Challenge Tour - Montecchia Open	
2002	Challenge Tour - PGA Terme Euganee Montecchia Open	
2006	Italian Open for Disabled	
2010 2012	Alps Tour - Open Golf della Montecchia	
2014 2015	PGA Championship	
2015 2016 2017 2018 2019 2020	Venice Open by US Kids	

Figura 24. Maggiori tornei ospitati nel golf la Montecchia (pag.68 “30 anni golf a Montecchia”).

Il campo è composto da 3 anelli di 9 buche percorso: Verde, Bianco e Rosso, favorendo diversi livelli di gioco e difficoltà (figura 25). Accompagnati da arbusti e alberi di vegetazione autoctona facilitando l’arrivo di molta fauna, promuovendo la biodiversità (figura 26).

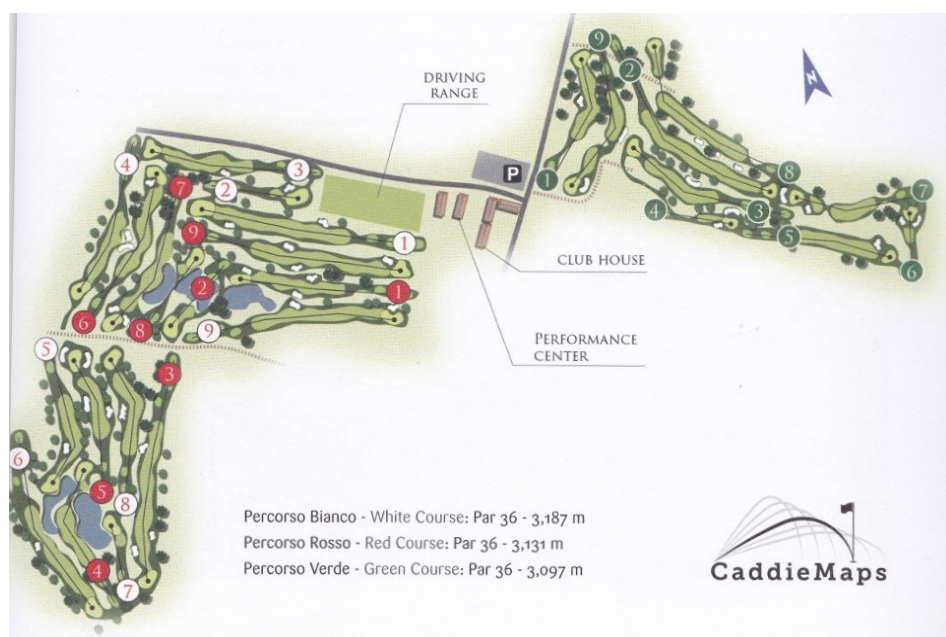


Figura 25. Mappa dei tre diversi percorsi (pag.35 “30 anni golf a Montecchia”).



Figura 26. Miele Millebuche prodotto al Golf della Montecchia (pag.72 “30 anni golf a Montecchia”).

2.2 Descrizione della sperimentazione, procedure e strumentazione utilizzate per la raccolta dei dati.

Come già riportato in precedenza questo studio ha luogo alla Montecchia e interessa i fairway della buca 10 e 18. Vediamo protagonisti due diversi tipi di taglio (figura 27) posti a confronto ad un'altezza di taglio costante di 16mm:

Taglio convenzionale con quintupla elicoidale, con frequenza di 3 tagli a settimana, con larghezza di taglio di 254 cm, ad una velocità di $12,8 \text{ km/h}^{-1}$ (descrizione capitolo 1.3) (figura 28).



Figura 28. Quintupla Montecchia (TORO 5510-D 5-Gang Reel Fairway Mower).

Taglio robotizzato (CEORA Husqvarna) robot tagliaerba automower, con frequenza di 5 tagli a settimana (descrizione capitolo 1.3) (figura 29).

Questo tosaerba si avvale di tecnologia satellitare, copre una superficie di taglio di 75000 m² e taglia con qualsiasi condizione atmosferica. Tramite Husqvarna Fleet Services si possono definire le aree da tagliare e regolare l'altezza di taglio. Inoltre, la tecnologia satellitare EPOS, di cui si avvale, permette il funzionamento senza dover utilizzare cavi perimetrali o di altro genere. Presenta una velocità d'avanzamento importata a 2,7km/h⁻¹, e larghezza di taglio di 68 cm.



Figura 29. CEORA alla Montecchia (CEORA 544 EPOS RZ 43L Husqvarna).

La prova ebbe inizio nel 7/04/2023. Inizialmente si è proceduto alla delineazione delle parcelle (figura 30) e alla prima raccolta dati, che è avvenuta con cadenza mensile fino al 18/09/2023 data dell'ultimo rilievo e della conclusione della sperimentazione.



Figura 30. Collocazione delle 16 parcelle sperimentali nelle due buche oggetto di studio.

Durante la prova non sono state condotte coltivazioni del suolo per rendere la prova ripetibile ed evitare alterazioni nei dati.



Figura 27. Dettaglio della vegetazione sottoposta a taglio tradizionale (sinistra) e robotizzato (destra) nella buca 18.

Le misurazioni effettuate hanno interessato (tabella 03):

Biomassa tramite carotatura effettuata alla fine della sperimentazione.

Tessitura fogliare tramite carotatura effettuata alla fine della sperimentazione.

Colore del tappeto erboso tramite stima visiva dei rilevatori presenti, da 1 verde chiaro a 9 verde scuro.

Aspetto estetico generale del tappeto erboso tramite stima visiva dei rilevatori presenti, da 1 peggiore a 9 il migliore.

Wheel Marks s stima visiva dei rilevatori presenti.

Densità dell'apparato radicale tramite carotatura effettuata a fine della sperimentazione.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) indice che misura la vigoria e densità della vegetazione tramite analisi della luce riflessa nella cotica erbosa (figura 31).



Figura 31. Riflettometro portatile per determinazione indice NDVI utilizzato in campo (GreenSeeker, Trimble Agriculture, California USA).

Dark Green Color Index (DGCI) indice che misura il colore del tappeto erboso, tramite software Turfanalyzer.

Misurazione della densità radicale mediante tecnologia WinRHIZO.

Durezza tramite impattometro di Clegg (figura 32).



Figura 32. Impattometro di Clegg per determinare la durezza della superficie.

Umidità tramite la misurazione della conducibilità elettrica, misurazione volumetrica del contenuto idrico e temperatura del suolo tramite TDR 350.

Consumi carburante ed energia elettrica.

Manutenzione apparati di taglio.

Tabella 03. Frequenza e tipo di rilevazioni effettuate durante il periodo di sperimentazione.

	DATA					
	17/04/2023	15/05/2023	18/06/2023	15/07/2023	15/08/2023	18/09/2023
Densità						x
Biomassa						x
Tessitura						x
Minurazioni apparato radicale						x
Colore		x	x	x	x	x
Qualità		x	x	x	x	x
NDVI		x	x	x	x	x
DGCI	x	x				x
Whell Marks		x		x		
Durezza	x	x	x	x	x	x
Umidità	x	x	x	x	x	x
Temperatura	x	x	x	x	x	x
Consumi						x
Manutenzione						x

Al termine della sperimentazione (18/09/2023), per ogni parcella è stata effettuata una carotatura della profondità di 16 cm circa con un ‘hole cutter’ (figura 33), strumento utilizzato nei campi da golf per fare i buchi di arrivo nel green, del diametro di 10,6 cm circa. Le carote di terreno sono state successivamente divise in sub-campioni da 0-3 cm e da 3-6 cm di profondità (figura 34).



Figura 33. Hole Cutter (sito extrime.golf).



Figura 34. Materiale asportato con il carotaggio.

Ogni singola carota è stata pulita, divisa ed analizzata. Nello specifico, per quanto riguarda la parte ipogea sono state eseguite le seguenti operazioni:

- 1) Lavaggio:** partendo dai campioni prelevati (figura 45), si è proceduto alla separazione, mediante getti d'acqua (figura 35), setacci e successiva separazione, della terra dalle radici messe sotto soluzione alcolica al 15% che permette di conservarle in frigo per un massimo di 3 mesi.
- 2) Separazione manuale** degli stoloni dalle radici ed eventuale sporco residuo (figura 36), per poi essere inserite nuovamente nella soluzione alcolica (figura 37).
- 3) Analisi** in laboratorio per la determinazione della lunghezza cumulativa e il diametro medio delle radici tramite scannerizzazione, previa disposizione su un piano di plexiglas evitando sovrapposizioni (figura 38 e 39), e software WinRHIZO (figura 40).
- 4) Determinazione del peso secco finale delle radici**, dopo essere state essiccate in stufa a 105° per 36h (figura 41 e 42).



Figura 35. Sistema di lavaggio utilizzato per la pulizia dei campioni.



Figura 36. Operazione manuale di separazione degli apparati radicali.



Figura 37. Dettaglio delle radici sotto soluzione alcolica al 15%.



Figura 38. Apertura delle radici sul piano per la scannerizzazione.



Figura 39. Apertura delle radici sul piano per la scannerizzazione.

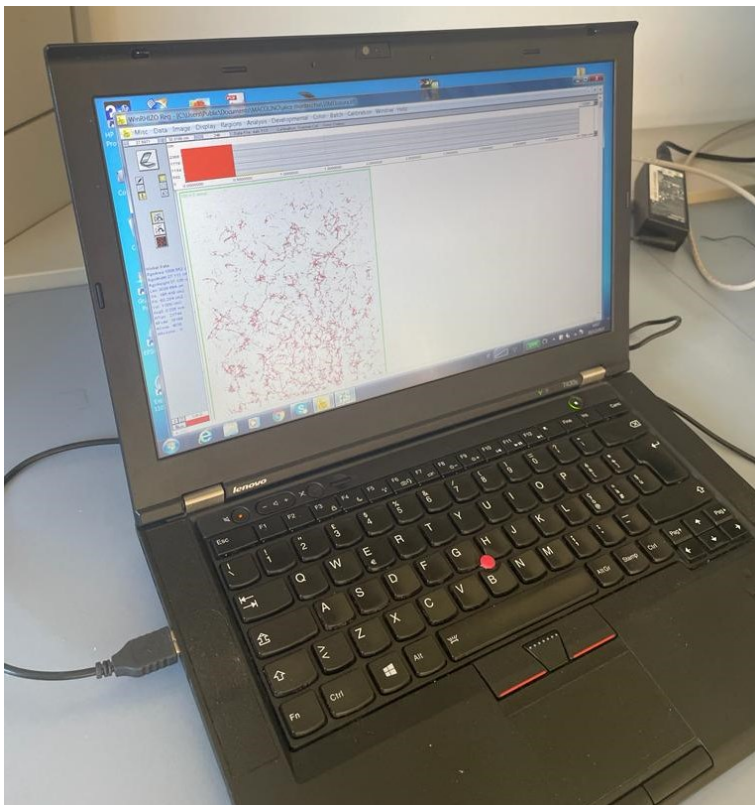


Figura 40. Immagine al computer del risultato della scannerizzazione e analisi mediante software WinRHIZO.

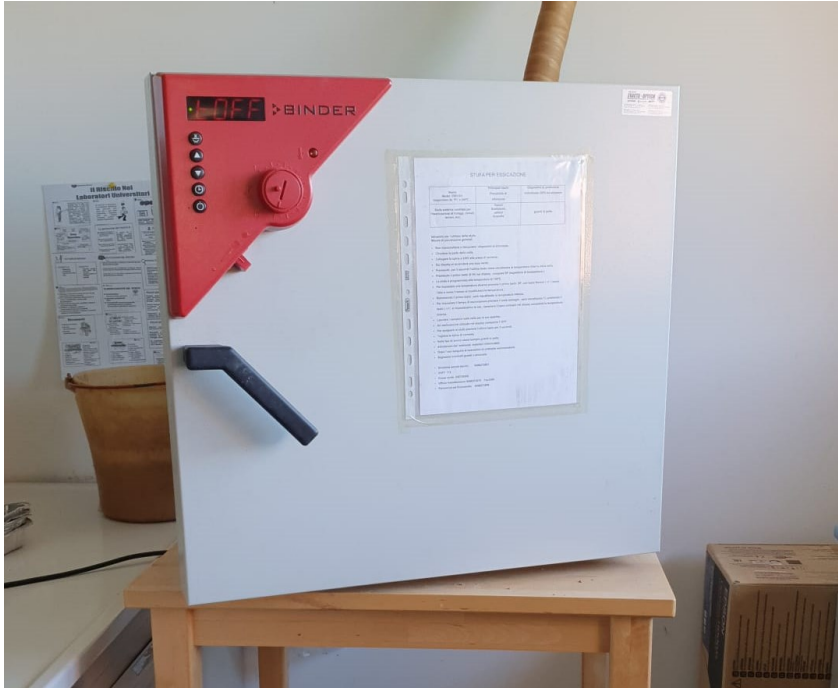


Figura 41. Immagine della stufa Binder utilizzata per l'essiccazione dei campioni.



Figura 42. Campioni delle radici private totalmente dell'acqua, peso secco effettivo.

Operazioni eseguite sulla porzione epigea:

- 1) **Lavaggio:** separazione della terra e sabbia dalla cotica erbosa superficiale (figura 43-44) tramite setaccio e acqua messa in pressione (figura 45-46).
- 2) **Divisione:** separazione delle radici stoloni e separazione degli stessi tra vivi (utilizzati nel conteggio) e morti mediante valutazione visiva (figura 47).
- 3) **Determinazione del peso secco:** la porzione epigea è stata seccata in stufa a 107,5° per 48 h (figura 41).

Anche per gli stoloni, dopo la divisione, si ha la determinazione del peso secco dove sono stati seccati in stufa a 105° per 48 h (figura 41).



Figura 43. Dettaglio di come si presentano le carotature effettuate.



Figura 44. Materiale asportato con la carota in attesa di lavaggio.



Figura 45. Lavaggio rudimentale in casa.



Figura 46. Raccolta del materiale lavato.



Figura 47. Pulizia e separazione manuale dei campioni.

2.3 Analisi statistica

Tutti i dati precedentemente raccolti sono stati poi sottoposti all'analisi della varianza. L'analisi statistica è stata effettuata tramite il software R, versione 4.3.2. (Copyright (C) 2022 di Posit Software, PBC) e pacchetti aggiuntivi Im (adattamento dei modelli lineari), Emmeans e Multcomp (confronto multiplo). Per quanto riguarda i parametri qualità del tappeto erboso (aspetto estetico generale), colore, NDVI, VCW, temperatura e compattamento del suolo l'analisi della varianza è stata eseguita utilizzando un modello lineare a effetti misti per testare gli effetti della tecnica di taglio, separatamente per i diversi mesi. Per i parametri densità in lunghezza radicale (RLD), densità in peso radicale (RWD) e densità in peso degli stoloni (HSWD) l'analisi della varianza è stata eseguita per testare l'effetto della tecnica di taglio, della profondità e della loro interazione.

3.RISULTATI

Dei dati raccolti nei mesi di maggio, giugno, luglio, agosto e settembre 2023; sono stati analizzati: aspetto estetico generale, colore del tappeto erboso, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), temperatura del terreno, compattamento del suolo e volume dell'acqua contenuta nel terreno (tabella 4).

Tabella 4. Risultati dell'ANOVA rilevati all' effetto del tipo di taglio sui parametri misurati nei diversi mesi di sperimentazione.

Parametri misurati	Mese				
	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Aspetto estetico generale del tappeto erboso	**	ns	***	***	*
Colore del tappeto erboso	***	***	*	***	***
NDVI	ns	ns	ns	ns	ns
VWC Volume d'acqua contenuto	*	ns	ns	ns	ns
Temperatura del suolo	ns	ns	ns	ns	ns
Compattamento del suolo	ns	ns	ns	ns	ns

Dove:

- ns=non significativo
- *=significativo fino a probabilità 0,05.
- **= significativo fino a probabilità 0,01.
- ***= significativo fino a probabilità 0,001.

Come evidenziato in tabella 1 l'effetto del taglio è evidente su aspetto estetico generale e colore, in tutti i mesi presi in esame. Mentre per le varie caratteristiche del terreno, soltanto in maggio i diversi tipi di taglio si sono differenziati per contenuto idrico.

3.1 Colore

Andando ad analizzare nello specifico il colore del tappeto erboso, si evidenzia che il taglio eseguito con tosaerba di tipo convenzionale (nei grafici seguenti indicato come taglio tradizionale) prevale rispetto al taglio robotizzato in tutti i mesi presi in considerazione dallo studio. Il taglio robotizzato assume il valore medio più basso di 4 (insufficiente) nel mese di maggio (figura 48), mentre nel mese di settembre (figura 52) non supera il 5 (insufficiente), al contrario del taglio convenzionale risulta vicino o superiore a 6. Nei mesi di giugno, luglio e agosto invece il taglio robotizzato ha ricevuti valori sufficienti, ma sempre inferiori al taglio convenzionale (figure 49, 50, e 51).



Figura 48. Valore medio di colore del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio nel mese di maggio.

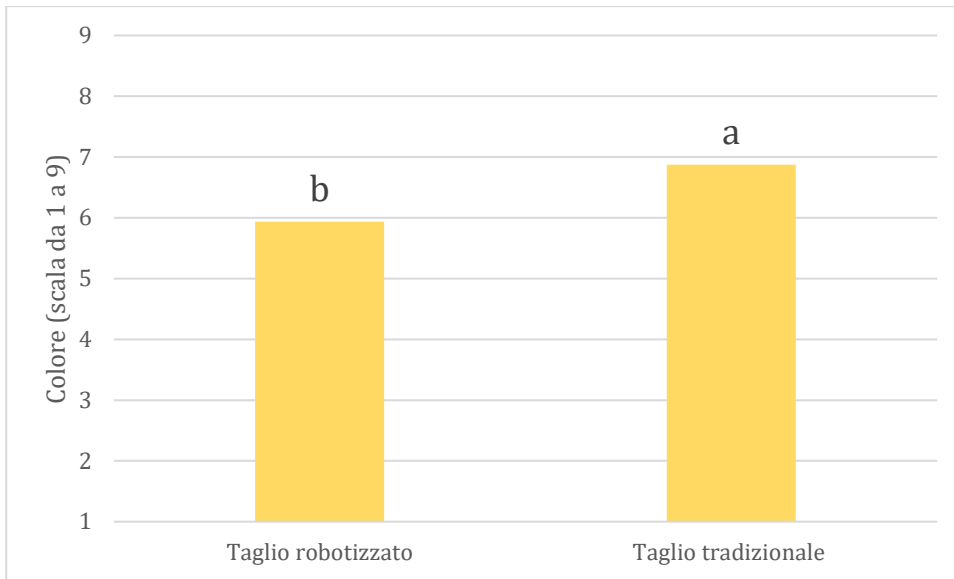


Figura 49. Valore medio di colore del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio nel mese di giugno.

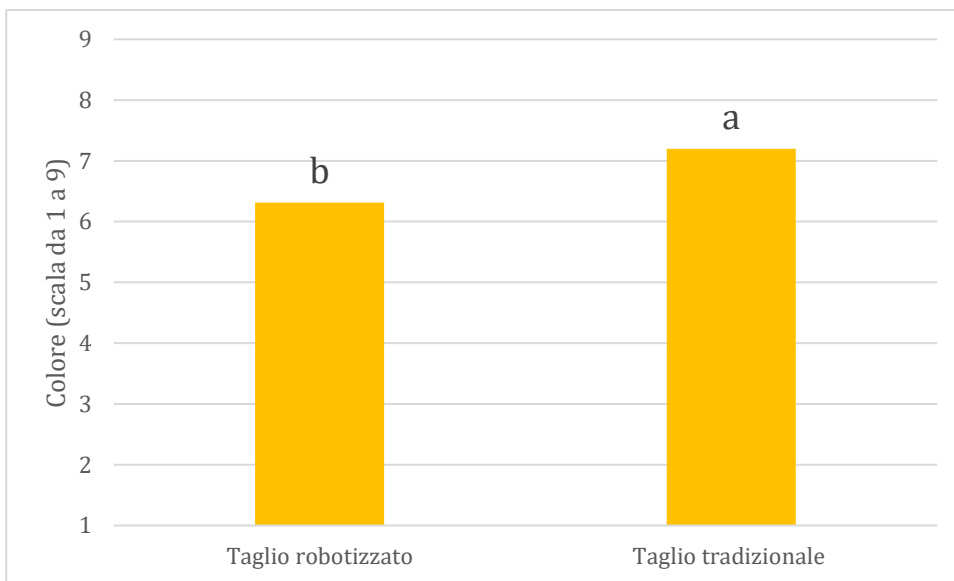


Figura 50. Valore medio di colore del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio nel mese di luglio.

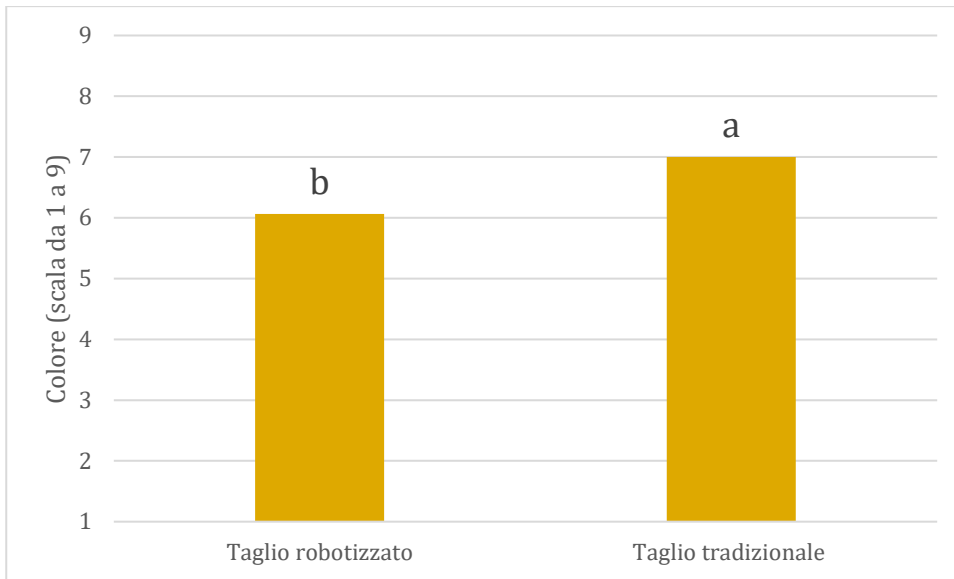


Figura 51. Valore medio di colore del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio nel mese di agosto.

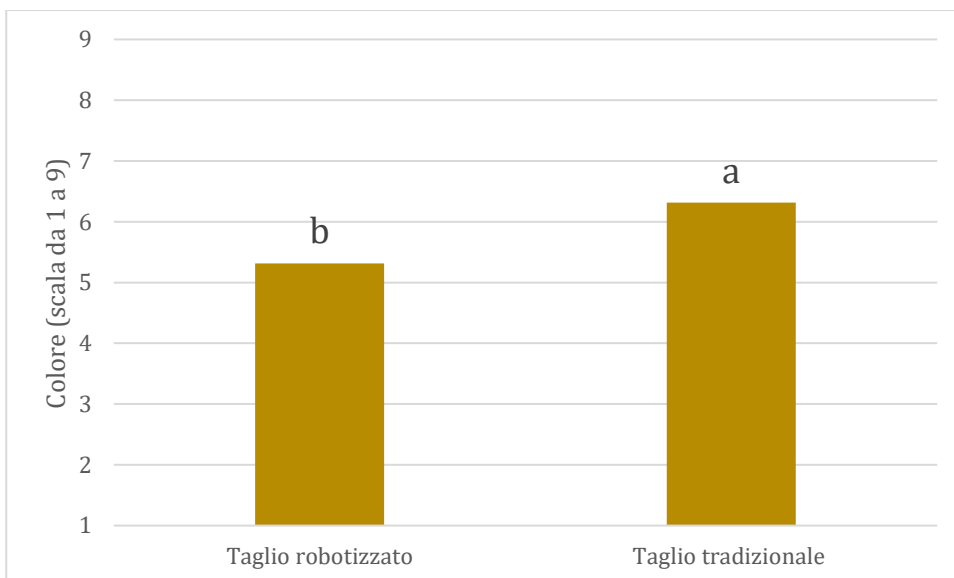


Figura 52. Valore medio di colore del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio nel mese di settembre.

3.2 Aspetto estetico generale.

Per quanto riguarda il parametro aspetto estetico generale del tappeto erboso si sottolinea che il taglio convenzionale raggiunge un valore medio minimo di 5 a maggio (figura 53) e un valore medio massimo di 7 nei mesi di luglio (figura 55) e agosto (figura 56) mentre a giugno (figura 54) e settembre (figura 57) un valore medio di 6. Questo metodo di taglio assume valori superiori rispetto al taglio robotizzato, che presenta un valore medio massimo di 6 nei mesi di giugno (figura 54), luglio (figura 55) e agosto (figura 56), un valore minimo pari a 4 nel mese di maggio (figura 53), e nel mese di settembre (figura 57) un valore medio di 5. Il mese di giugno (figura 54) risulta l'unico mese in cui non è stata osservata una differenza nei due metodi di taglio.



Figura 53. Valore medio di aspetto estetico generale del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio nel mese di maggio.

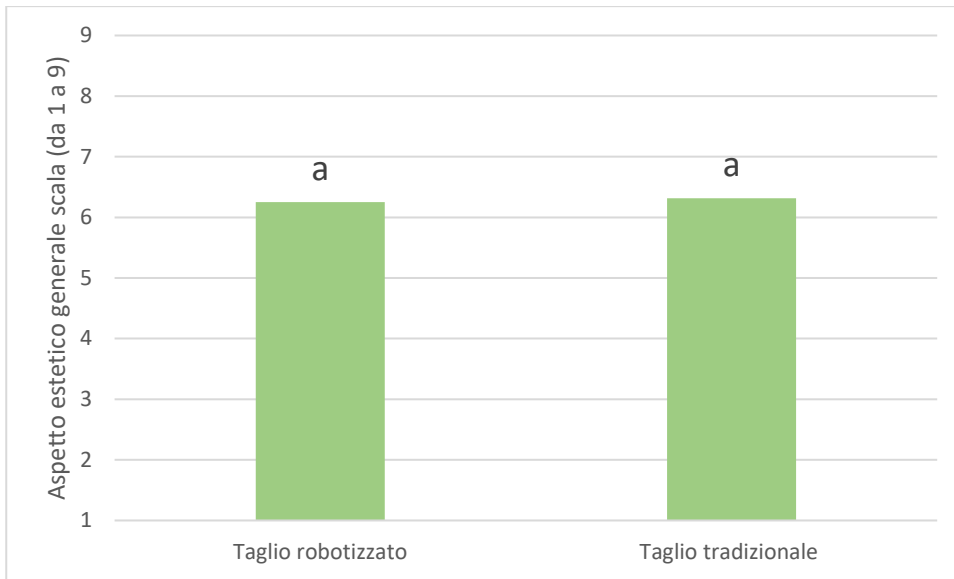


Figura 54. Valore medio di aspetto estetico generale del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio nel mese di giugno.

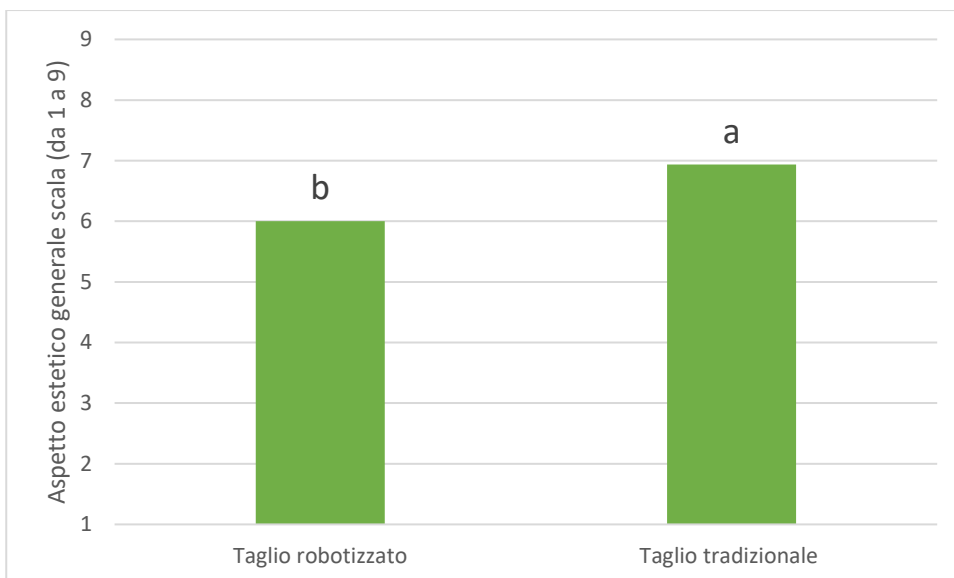


Figura 55. Valore medio di aspetto estetico generale del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio nel mese di luglio.

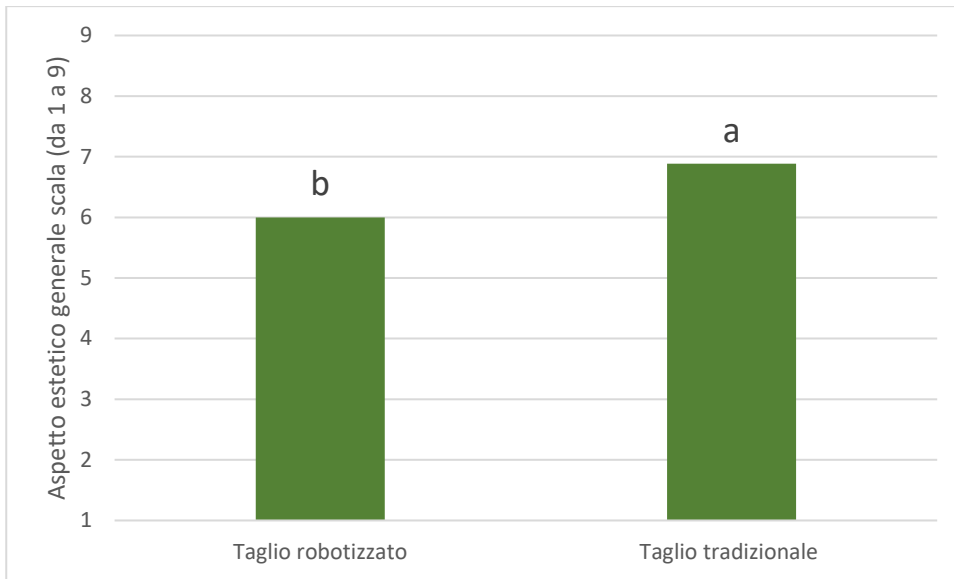


Figura 56. Valore medio di aspetto estetico generale del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio nel mese di agosto.

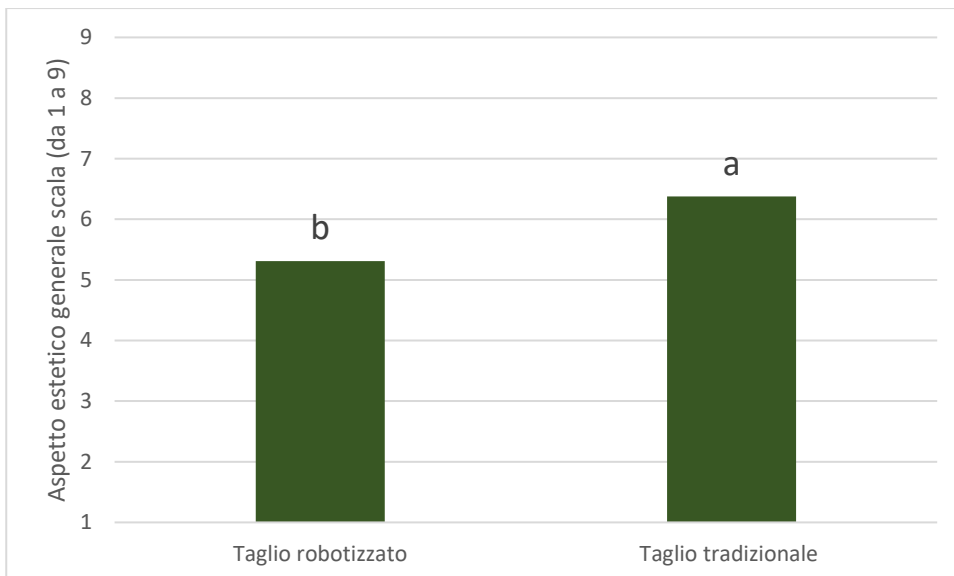


Figura 57. Valore medio di aspetto estetico generale del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio nel mese di settembre.

3.3 Contenuto idrico del suolo

Osservando il volume d'acqua contenuto nel terreno si nota una differenza nel mese di maggio (figura 58), in cui, nel taglio robotizzato il valore è molto più alto rispetto al taglio convenzionale con una differenza del 5,5%.

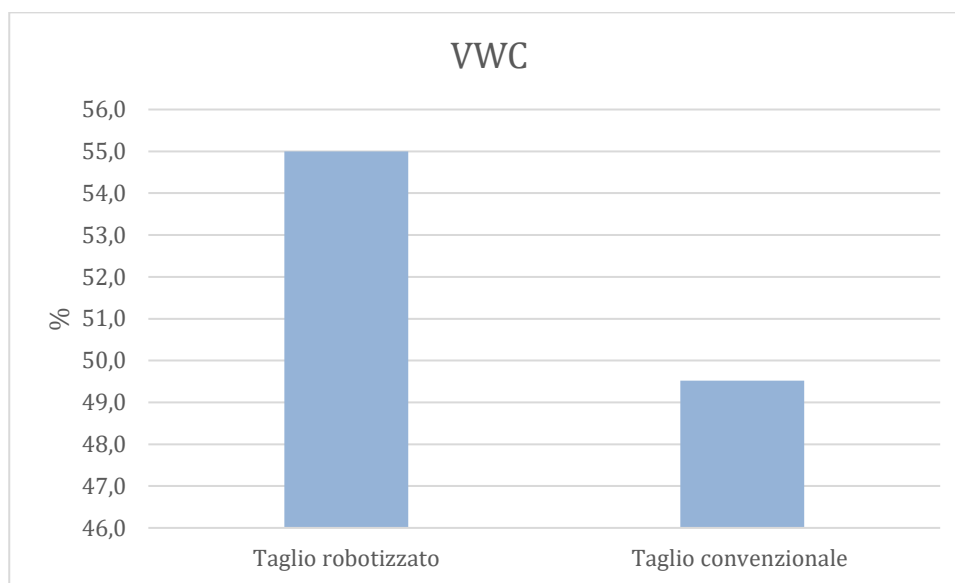


Figura 58. Contenuto idrico del suolo nel mese di maggio 2023.

3.4 Radici e stoloni

In data 18/09/2023 sono stati effettuati i prelievi di campioni di terreno come indicato a pag. 33. Questi sono stati processati secondo i metodi riportati nel capitolo materiali e metodi 2.2, per ottenere i dati di densità radicale in lunghezza (RLD), densità radicale ponderale (RWD) e densità di stoloni (HSWD) (tabella 5). Non sono state trovate significative differenze, ad eccezione di HSWD per cui la profondità è risultata significativa.

Tabella 5. Risultati dell'ANOVA relativi all'effetto del tipo di taglio, della profondità e della loro interazione, su densità radicale in lunghezza (RLD), densità radicale in peso (RWD) e densità in peso degli stoloni (HSWD).

Parametri misurati	Fonte di variazione		
	Tipo di taglio (Mt)	Profondità (P)	Mt x P
RDL	ns	ns	ns
RWD	ns	ns	ns
HSWD	ns	*	ns

Dove:

- ns=non significativo
- *=significativo fino a probabilità 0,05.
- **= significativo fino a probabilità 0,01.
- ***= significativo fino a probabilità 0,001.
-

Il valore di HSWD è risultato più alto nello strato più superficiale del terreno per il taglio robotizzato, con un valore di 0,040284621 g/cm³ contro un valore di 0,000340504 g/cm³ nello strato più profondo.

Anche se non significativi, RLD (figura 59), RWD (figura 60) e HSWD (figura 61) sono caratterizzati da valori più alti in appezzamenti tagliati con taglio robotizzato rispetto a quelli gestiti con taglio convenzionale. RLD ha un valore medio di 25,06 cm/cm³ nel taglio robotizzato e di 21,01 cm/cm³ nel taglio convenzionale; RWD ha un valore medio di 0,0019 g/cm³ per il taglio robotizzato e di 0,0015 g/cm³ per il taglio convenzionale.

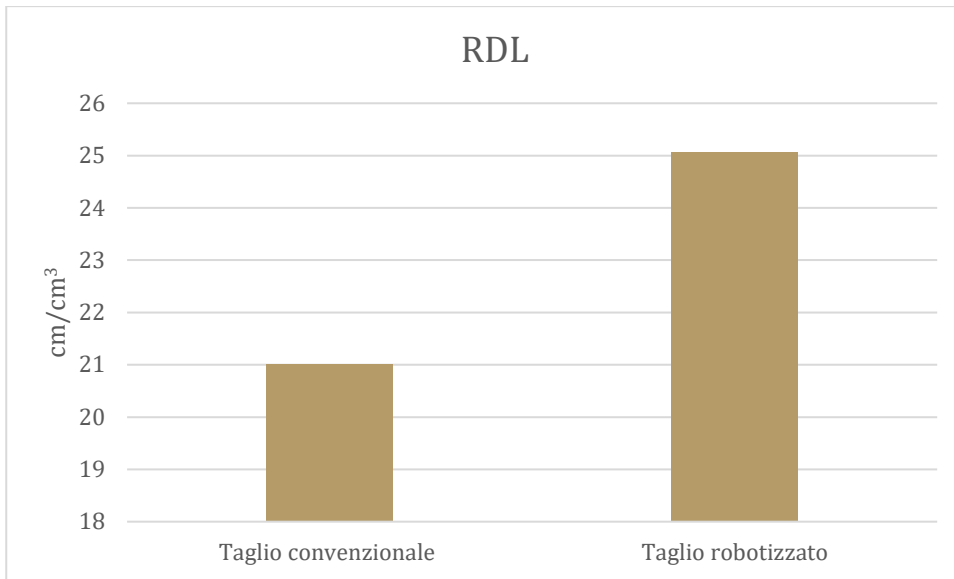


Figura 59. Valore medio di densità radicale in lunghezza del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio.

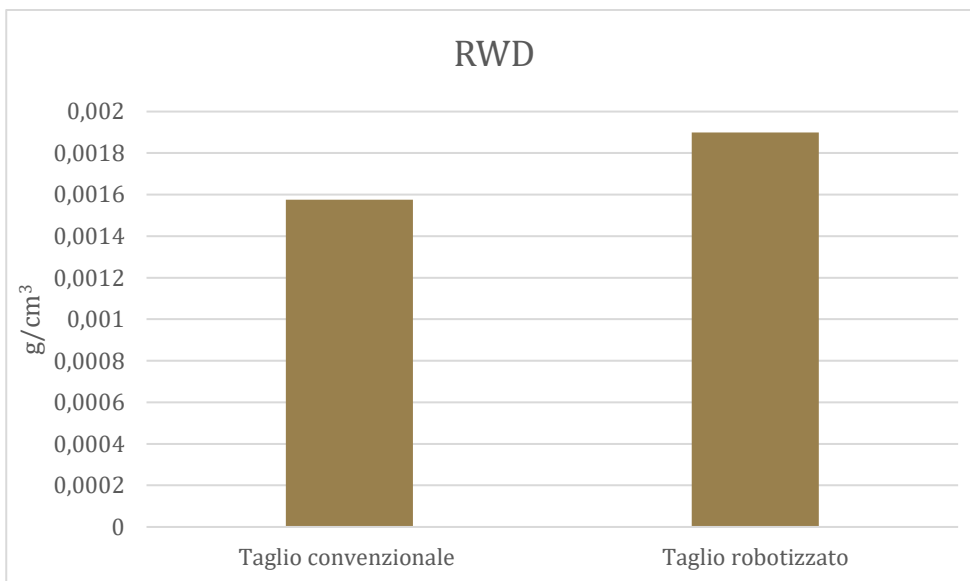


Figura 60. Valore medio di densità radicale in peso del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio.

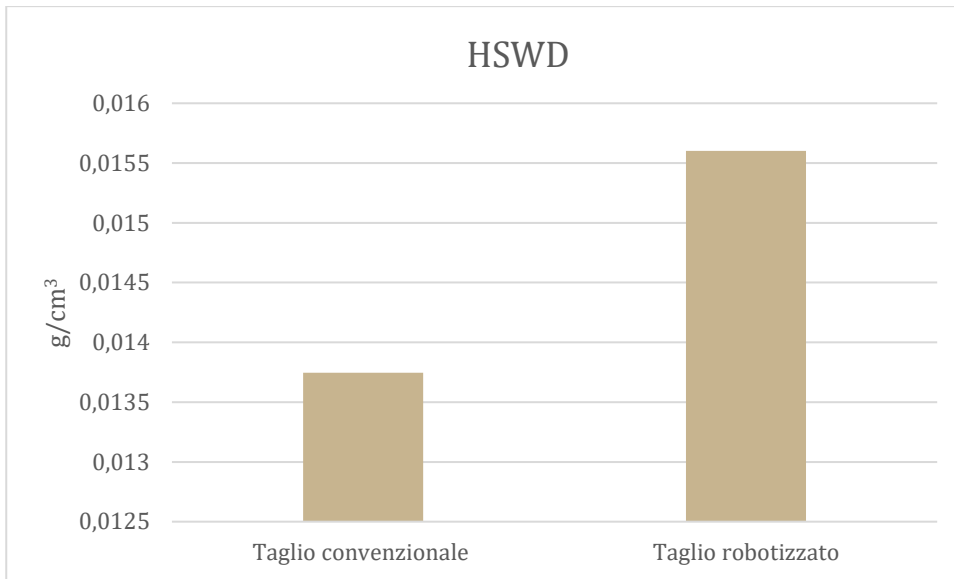


Figure 61. Valore medio di densità in peso degli stoloni del tappeto erboso gestito con le due tecniche di taglio.

4. DISCUSSIONE

Dai risultati precedentemente esposti relativamente all'analisi del colore del manto erboso, si è osservato che i valori medi del taglio convenzionale sono significativamente più alti rispetto a quelli ottenuti a seguito del taglio robotizzato, per il quale si osservano valori medi insufficienti nei mesi di maggio (figura 48) e settembre (figura 52).

Le differenze di colore rilevate dell'analisi della varianza, possono essere attribuite alla qualità del taglio dalle due macchine in prova. A tal proposito, il colore migliore del manto erboso percepito dall'occhio umano è stato determinato dalla migliore qualità del taglio della macchina convenzionale, avente un apparato di taglio di tipo elicoidale. Al contrario, la più bassa qualità del taglio derivante dall'apparato di taglio rotativo della macchina autonoma (taglio robotizzato) può essere percepita come una riduzione del colore del manto erboso che appare più chiaro. Il colore più chiaro è causato dagli "sfilacciamenti" che si generano a seguito dall'impatto della lama contro i tessuti della foglia (figura 62).

Anche per quanto riguarda l'aspetto estetico generale del tappeto erboso sono stati osservati valori medi significativamente più alti per il taglio con macchina tradizionale fatta eccezione per il mese di giugno (figura 54) per il quale non sono state rilevate differenze significative. Sebbene i valori ottenuti a seguito del taglio convenzionale siano risultati essere significativamente più alti, i valori medi ottenuti a seguito del taglio robotizzato sono stati comunque accettabili nei mesi di giugno, luglio ed agosto. L'elevato tasso di crescita della Gramigna utilizzata in questo studio è stato sicuramente il fattore principale che ha negativamente influenzato la performance della macchina autonoma di taglio rispetto a quella convenzionale. Per quanto riguarda il mese di maggio (figura 53) e settembre (figura 57) il taglio robotizzato risulta di qualità insufficiente.

Relativamente al contenuto idrico del suolo, l'unica differenza significativa rilevata dall'analisi della varianza è stata nel mese di maggio (figura 58). In particolare, il sistema suolo del tappeto erboso sottoposto al taglio robotizzato presenta un valore superiore del 5,5% rispetto a quello sottoposto a taglio tradizionale e questo può essere attribuito al cospicuo evento piovoso verificatosi nella data di rilievo.



Figura 62. Sfilacciamento della lamina fogliare della porzione del taglio robotizzato.

Per quanto riguarda l'analisi sulle radici e gli stoloni non risulta alcuna differenza significativa né per singolo effetto (tipologia di macchina) né per l'iterazione macchina-profondità. Come ci si aspettava invece, l'unica significatività ha riguardato l'effetto profondità, è stata relativa una più alta densità dei stoloni nello strato più superficiale del suolo. Osservando il compattamento del suolo non è stata osservata alcuna differenza significativa tra l'utilizzo della macchina convenzionale e quella autonoma. Nonostante ciò, estendendo il periodo di prova le differenze tra le due tipologie di gestione del taglio (convenzionale e robotizzato) potrebbero emergere definendo quelli che sono gli effetti benefici del taglio robotizzato sia sul sistema suolo (minor compattamento) che sul sistema radicale (maggior vigoria ed approfondimento radicale).

Dal punto di vista economico sono stati calcolati i costi approssimativi che il campo da golf sostiene in un anno (tabella 6). In particolare, nel caso dello scenario di vita utile di 5 anni per la macchina autonoma, il costo totale annuo è comparabile a quello della macchina tradizionale. Nel caso invece degli altri due scenari, 8 e 10 anni di vita utile della macchina autonoma, si ha una cospicua riduzione dei costi annui.

Tabella 6. Confronto dei costi (Sciusco G. et.al., in press).

Tipo-di-tosaerba	Scenario-di-vita-utile (anno)	Costo-del-campo-da-golf- all'anno (€)
Tosaerba-a-bobina-Toro-a-5-bande-5510-D	9	62-007,00
Rasaerba-Husqvarna-CEORA-546-L43	5	63-689,00
	8	46-336,00
	10	40-552,00

Dal punto di vista dell'impatto ambientale, in termini di emissioni di CO² in atmosfera, è stata osservata una riduzione per la macchina autonoma di circa il 296,05% (tabella 7).

Tabella 7. Confronto emissioni di CO₂/anno tra i due metodi di taglio (dati da: Sciusco G. et.al., in press).

Toro 5510D	
Emissioni totali di CO ₂ l'anno (nel campo da golf)	13953kg
CEORA 546 L43	
Emissioni totali di CO ₂ l'anno (nel campo da golf)	4713kg

5.CONCLUSIONI

Dai risultati di questo studio emerge che il taglio robotizzato rappresenta il futuro portando vantaggi sia di tipo gestionale che ambientale . Tuttavia, per un suo impiego su larga scala sono necessari miglioramenti tecnici e funzionali per garantire una qualità di taglio analoga a quella dei tosaerba tradizionali professionali. Inoltre, sono necessari ulteriori studi al fine di approfondire gli effetti positivi e le eventuali complicanze che, questo tipo di taglio, potrebbe generare soprattutto in grandi aree come quelle del golf.

BIBLIOGRAFIA

Siti:

- <https://extreme.golf/shop/32113-hulbor-og-hulskaer-mm/10505-hulbor-hio153----hammerbor/>
- <https://www.husqvarna.com/it/vivi-husqvarna/robot-tagliaerba-ceora/>
- <https://www.golfontecchia.it/de/component/content/article/30-impegnati-nel-verde.html>
- <https://www.ventrac.com/products/attachments/mk960>
- https://pratoverde.it/prodotti/?yith_wcan=1&product_cat=attrezzature&product_settore=campi-sportivi
- <https://www.toro.com/it-it/golf>
- <https://www.sporteimpianti.it/principale/tsport/rubriche-tsport/reportage/speciale-campi-in-erba-e-manutenzione-le-cure-particolari-per-il-golf/>

Libri:

- S. Boni, M.P. Casati, A. De Luca, A. Minelli, C. Liva. 30 Anni di golf la Montecchia, l'impiego sostenibile del territorio della storia e della natura.
- Christians, N. (1998). Fundamentals of turfgrass management Ann Arbor Press.
- Turgeon, A. J. (1999). Turfgrass management 5th ed Prentice Hall Upper Saddle. NJ,4, 225.
- Panella, A. (1991).Tappeti erbosi: impianto, manutenzione e impieghi. Edagricole-Edizioni agricole.

Articoli:

- Sciusco, G., De Luca C., Magni S., Federighi T., Fontanelli M., Lorenzo G,...& Volterrani, M. (In press). Autonomous and traditional mowing in golf course maintenance: case study in Italy .
- Grossi, N., Fontanelli, M., Garramone, E., Peruzzi, A., Raffaelli, M., Pirchio, M., ... & Volterrani, M. (2016). Can robotic mowing improve the quality of the lawn?. In *Book of abstracts of the 5th European Turfgrass Society Conference*(pp. 109-110). ETS-European Turfgrass Society.

- Pirchio, M., Fontanelli, M., Labanca, F., Sportelli, M., Frascioni, C., Martelloni, L., ... & Grossi, N. (2019). Energetic aspects of turfgrass mowing: Comparison of different rotary mowing systems. *Agriculture*, 9(8), 178.
- Mcelroy, S., Magni, S., Caturegli, L., Sportelli, M., Sciusco, G., Fontanelli, M., & Volterrani, M. (2022). Autonomous Mowers will change the Rules of Mowing. *Golf Course Manag. Online*.
- Hesselsøe, K. J., Borchert, A. F., & Aamlid, T. S. (2022). ROBO-GOLF: Robotic mowers for better turf quality on golf courses—Preliminary results. *International Turfgrass Society Research Journal*, 14(1), 1049-1056.
- Hull, R. J. (1995). Turf grass trends. *An Independent Newsletter for Turf Manger*, 4(4), 3-3.
- Minelli, A., De Luca, A., Croce, P., Cevenini, L., & Zuffa, D. (2014, July). Transition from cool-season to warm-season grass: Environmental effects in a golf course in the North of Italy. In *Proceedings of the Fourth European Turfgrass Society Conference*, Osnabrueck, Germany (pp. 6-9).

7. RINGRAZIAMENTI

7.1 Ringraziamenti a persone e istituzioni che hanno contribuito allo studio.

Desidero esprimere la mia gratitudine al professor Stefano Macolino per la sua disponibilità e gentilezza. La sua grande passione e dedizione quotidiana al lavoro mi hanno fatto appassionare alla sua materia. Ringrazio la mia correlatrice, Cristina Pornaro, per la sua disponibilità, gentilezza e pazienza nel spiegarmi l'esecuzione esatta delle varie procedure d'analisi delle radici e nella redazione della tesi.

Un ringraziamento speciale va al mio correlatore, Giuliano Sciusco, per avermi accompagnata e assistita fin dall'inizio nei sopralluoghi atti alla rilevazione, aiutandomi nella stesura della tesi finale. Ringrazio il professor De Luca e il campo da golf La Montecchia per avermi ospitato durante le giornate di rilievo, fornendomi tutta l'assistenza necessaria.

Sono grata agli operatori dell'azienda agraria sperimentale "L. Toniolo" per la loro gentilezza e disponibilità, in particolare a Nicoletta, Andrea e alla squadra del professor Macolino, sempre pronti ad aiutarmi e a regalarmi un sorriso. Ringrazio la borsista Elena Basso per il servizio fotografico, senza il quale non avrei avuto foto delle procedure eseguite in laboratorio.

Un sentito ringraziamento va alla mia famiglia per avermi permesso di intraprendere gli studi universitari e per avermi sempre supportato e sopportato. Ringrazio i miei compagni di corso, Ilaria, Stefano, Daniele e Alessia, per essere stati sempre presenti, anche nei momenti più difficili, pronti a darci una mano l'uno con l'altro e a condividere bei momenti, distinguendoci sempre e regalandomi sorrisi.

Un grazie speciale a tutti i professori del corso per la loro disponibilità e dedizione al lavoro.

