



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

TOPOGRAFIA RADICALE DI OLIVO IN IMPIANTI AD ALTA DENSITÀ

RADICAL TOPOGRAPHY OF OLIVE TREE IN HIGH DENSITY ORCHARDS

TESI SPERIMENTALE

Studente:

Matteo Pacella

Relatore:

PROF. DAVIDE NERI

Correlatore:

DOTT.SSA VERONICA GIORGI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Una delle problematiche principali dell'ultimo secolo è stata la scarsità di acqua potabile.

Secondo I.C.A. ed A.P.U. (2009), l'acqua dolce rappresenta una risorsa vulnerabile ed esauribile, ed oggi circa 1.100.000.000 persone (stima W.W.F.) non ne ha accesso. Questo dato preoccupante è destinato ad aumentare dal momento che la popolazione umana crescerà più velocemente dell'aumento della quantità di acqua pulita accessibile (Jackson et Al., 2001).

L'agricoltura è una grande utilizzatrice di questa risorsa (quasi l'85% del consumo mondiale di acqua è dovuto all'agricoltura secondo W. A. Jury e H. J. Vaux Jr, 2007) e l'apparato radicale è il sistema vegetale più direttamente collegato all'assorbimento di acqua dal terreno. Per questo motivo, lo studio della radice è un'attività che non andrebbe mai affrontata con superficialità.

SOMMARIO

ELENCO DELLE FIGURE	5
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	6
PREMESSA	7
1 INTRODUZIONE	8
1.1 Funzioni dell'apparato radicale.....	8
1.1.1 Radici con funzione di appoggio	9
1.1.2 Radici con funzione di nutrizione	9
1.1.3 Radici con funzione di riserva	9
1.1.4 Radici con funzione respiratoria	9
1.2 Importanza dello studio della radice	9
1.3 Anatomia della radice	10
1.4 Accrescimento della radice	11
1.5 Accrescimento dell'apparato radicale.....	12
1.5.1 Profondità di impianto	16
1.5.2 Lavorazioni del terreno e tecniche agronomiche	16
1.5.3 Competizioni tra l'accrescimento della parte vegetativa e delle radici. Implicazioni nella potatura	18
1.5.4 Competizioni inter- ed intra-specifiche	18
1.5.5 Allelopatia e degrado del suolo.....	20
1.5.6 Condizioni idriche.....	21
1.5.7 Utilizzo di molecole di sintesi.....	22
1.5.8 Considerazioni	22
2 APPARATO RADICALE DELL'OLIVO	23
2.1 Perché studiare l'apparato radicale in olivo? La situazione olivicola italiana	23
2.2 Radici di olivo.....	24
2.2.1 Descrizione dell'architettura radicale 3D in situ.....	26
2.2.2 Sviluppo delle radici di olivo in un impianto 6x6.....	28

3	OBIETTIVO.....	30
4	MATERIALI E METODI.....	31
4.1	Descrizione degli appezzamenti.....	31
4.1.1	Roma e Rende.....	31
4.1.2	Agugliano.....	31
4.2	Metodo di analisi.....	32
4.2.1	Rilievi	33
4.2.2	Analisi dei campioni	34
4.2.3	Criticità	36
5	RISULTATI	38
5.1	I risultati di Roma e Rende	38
5.1.1	Diametro Medio per Profondità.....	38
5.1.2	Diametro Medio per Distanza dal tronco.....	39
5.1.3	Densità di Lunghezza Radicale (R.L.D.) per Profondità	39
5.1.4	Densità di Lunghezza Radicale (R.L.D.) per Distanza dal tronco	40
5.1.5	Densità di Lunghezza Radicale (R.L.D.) per Posizione	40
5.2	I risultati di Agugliano	41
5.2.1	Diametro Medio per Profondità.....	41
5.2.2	Diametro Medio per Distanza dal tronco.....	42
5.2.3	Densità di Lunghezza Radicale (R.L.D.) per Profondità	42
5.2.4	Densità di Lunghezza Radicale (R.L.D.) per Distanza dal tronco	43
6	DISCUSSIONE	44
6.1	Discussione dei risultati	44
6.1.1	Roma e Rende.....	44
6.1.2	Agugliano.....	44
6.2	Considerazioni generali	45
7	CONCLUSIONI	47
	BIBLIOGRAFIA	49

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1: Anatomia della radice.....	10
Figura 2: Accrescimento della radice.....	13
Figura 3: Distribuzione delle radici nel terreno in funzione dell'età dell'albero	14
Figura 4: Ritmica dell'accrescimento radicale.....	14
Figura 5: Effetto di diverse profondità d'impianto sull'accrescimento radicale.....	16
Figura 6: Lunghezza radicale media, superficie esplorata, diametro medio e volume radicale rispetto alla densità di impianto.....	19
Figura 7: Digitalizzazione 3D delle radici di olivo.....	26
Figura 8: Distribuzione della massa secca (kg/m ²) delle radici di primo, secondo e terzo ordine di ramificazione di <i>Olea europaea</i>	27
Figura 9: Schema del campionamento effettuato a Roma	33
Figura 10: Schema del campionamento effettuato ad Agugliano	34
Figura 11: Ricerca e selezione delle radici	35
Figura 12: Scannerizzazione vettoriale delle radici	36
Figura 13: Diametro Medio per profondità.....	38
Figura 14: Diametro Medio per Distanza dal tronco	39
Figura 15: R.L.D. per Profondità	39
Figura 16: R.L.D. per Distanza dal tronco.....	40
Figura 17: R.L.D. per Posizione	40
Figura 18: Diametro Medio per Profondità.....	41
Figura 19: Diametro Medio per Distanza dal tronco	42
Figura 20: R.L.D. per Profondità	42
Figura 21: R.L.D. per Distanza dal tronco.....	43

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

FIG.	Figura
W.W.F.	World Wide Fund for Nature
I.C.A.	Association for European Life Science Universities
A.P.L.U.	Association of Public and Land-grant Universities
N.H.S.	Narrow Herbicide Strips: strisce strette di erbicida
F.L.T.	Fabric-Lined Tranches: strisce foderate col tessuto
ISMEA	Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare
CREA OFA	Consiglio per la Ricerca e l'analisi dell'Economia Agraria – Olivicoltura, Frutticoltura e Agrumicoltura
M.OL.T.I.	Miglioramento della produzione in OLiveti Tradizionali ed Intensivi
AN.O.VA.	ANalysis Of VAriance: Analisi della varianza
H.S.D.	Honestly Significant Difference: differenza “rettamente” significativa
R.L.D.	Root Length Density: densità di lunghezza radicale

PREMESSA

L'apparato più affascinante dell'organismo vegetale, quello radicale, risulta oggi uno dei meno studiati. Analisi scientifiche mirate appaiono ostacolate sia dalla notevole variabilità spazio-temporale dell'apparato che dalle difficoltà che si riscontrano nel raggiungerlo. Si percepisce una carenza di conoscenze riguardanti questo sistema così importante, che andrebbe presto colmata.

1 INTRODUZIONE

1.1 Funzioni dell'apparato radicale

L'importanza dell'apparato radicale in una pianta è evidente già al momento della sua nascita: le prime energie che il seme mette in gioco vanno proprio verso la direzione del terreno, tanto che la radice embrionale è il primo organo a svilupparsi in una giovane pianta. Questa prima radice che si forma già nell'embrione viene chiamata "radice primaria".

Funzioni principali dell'apparato radicale sono quelle di assorbimento e di ancoraggio; a queste si aggiungono la funzione di riserva di sostanze nutritive e la loro conduzione (Marschner, 2012), nonché la capacità di sintetizzare una grande varietà di metaboliti secondari. Infine, le radici svolgono un ruolo importante nella ridistribuzione dell'acqua all'interno del terreno (Nadezhdina et al., 2014), nella rigenerazione clonale (Ky-Dembele et al., 2010), nella formazione dei suoli e nella secrezione di una vasta gamma di sostanze nella rizosfera, ossia il volume di suolo che circonda le radici di una pianta, che viene influenzato dall'attività dell'apparato (Lynch et al., 2001).

La funzione assimilativa di acqua e di sali minerali presenti nel terreno è svolta da radici fibrose attraverso i peli radicali, ma anche grazie a radici più vecchie attraverso soluzioni di continuità che permangono nell'endoderma.

La funzione di ancoraggio è oggi sfruttata in molti interventi tecnici che prevedono l'utilizzo di specie sia arboree che erbacee per trattenere il terreno. La capacità tipica degli organismi vegetali di aggrapparsi al suolo permette di sostenerlo anche in zone fortemente colpite da erosione (Wu et al., 2020).

La capacità di accumulo di riserve nella radice riguarda i carboidrati (Loescher et al., 1990) stoccati nel corso dell'anno in varie cellule dei tessuti radicali sotto forma di amido e richiesti dagli organi epigei in ripresa vegetativa. Tali riserve sono quelle quantitativamente più importanti nella pianta e, prima del ritorno alla chioma, vengono nuovamente trasformate in zuccheri semplici. A queste si aggiungono diverse altre attività biosintetiche che vengono permesse dall'apparato radicale. Un esempio è la trasformazione di ioni azotati assorbiti dal terreno in amminoacidi ed altri composti organici dell'azoto. Anche in questo caso la ripresa vegetativa richiede questi composti, le cui riserve si costituiscono nel corso dell'autunno. Gli

apici radicali risultano invece attivi produttori di bioregolatori: citochinine ed acido abscissico che, in particolare, sembrerebbe avere un ruolo nello sviluppo dello stesso apparato radicale (Harris, 2015).

1.1.1 *Radici con funzione di appoggio*

Servono a sorreggere la pianta, che scarica il proprio peso su di queste. Possono permettere l'ancoraggio su determinate superfici (come accade per l'edera), possono essere colonnari (come quelle del Ficus delle Pagode) o tubulari.

1.1.2 *Radici con funzione di nutrizione*

Anche dette "austori", sono tipiche di piante parassite non verdi, quindi non fotosintetizzanti. Tali radici sono in grado di inserirsi nella pianta ospite, di penetrare fino ai fasci conduttori e di suggerire gli zuccheri trasportati. Esempi di piante che producono austori sono le orobanche e la cuscuta.

Delle radici con funzione di nutrizione particolari sono quelle prodotte dal genere *Loranthus*. Tali austori penetrano nella pianta ospite ma, da questa, suggerono acqua, non zuccheri, che invece vengono prodotti tramite la fotosintesi.

1.1.3 *Radici con funzione di riserva*

Sono radici tuberiformi o tuberizzate. Alcune di esse hanno notevole importanza alimentare in quanto ricche di nutrienti. Esempi sono la patata dolce, la carota, il ravanella.

1.1.4 *Radici con funzione respiratoria*

Dette "aerifere" o "pneumatofori", sono radici che crescono verso l'alto in piante in cui l'apparato radicale è immerso in acqua. La loro funzione è quella di catturare l'aria così da permettere le funzioni biologiche dell'apparato.

1.2 **Importanza dello studio della radice**

La funzionalità delle radici ha implicazioni sia fisiologico – produttive per la pianta, che di carattere ambientale, dal momento che l'apparato partecipa attivamente allo stoccaggio

sotterraneo del carbonio. Nelle piante arboree è noto l'equilibrio dinamico che esiste tra l'apparato radicale e quello aereo: la funzionalità di una parte è condizionata dalla salute dell'altra. Per questo l'attività della radice ha riscontro anche sulla fisiologia e sulla produzione della parte aerea. Non a caso molte delle operazioni agronomiche effettuate in campo (come l'irrigazione, la fertilizzazione, le varie lavorazioni del terreno, la preparazione del letto di semina, ecc.) mirano a creare un ambiente adatto alla crescita e all'assorbimento radicale.

1.3 Anatomia della radice

La radice appare composta da un "meristema apicale", una "regione di distensione e differenziazione" ed una "di maturazione".

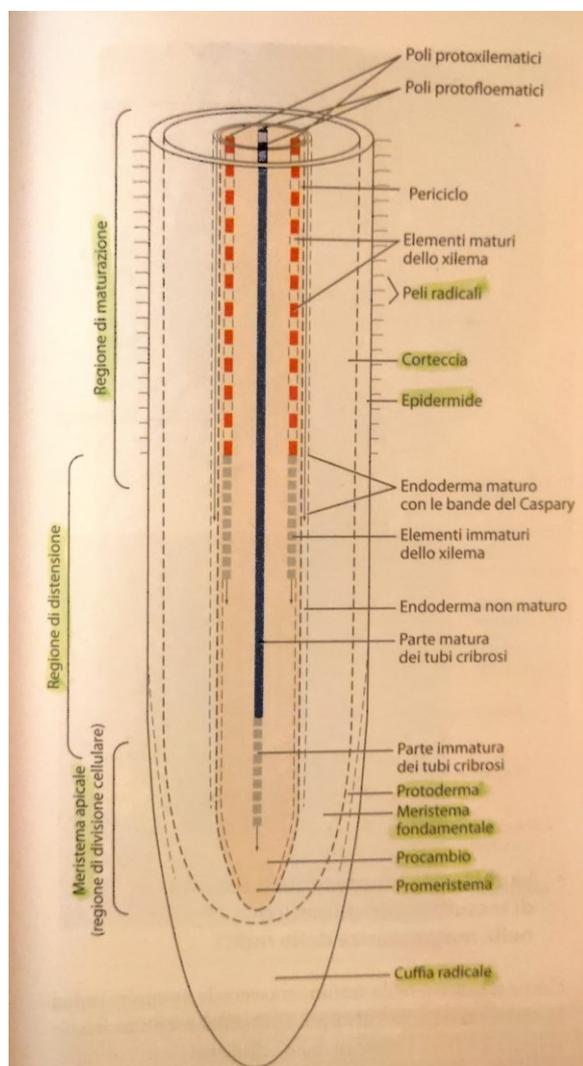


Figura 1: Anatomia della radice
da Evert et al., 2013

L'apice della radice è formato da cellule meristematiche iniziali e derivate. È coperto da una cuffia radicale formata da cellule adulte di natura parenchimatosa, prodotta dall'apice stesso. Le cellule della cuffia hanno una parete molto sottile che, quando si lacera, rilascia delle mucillagini, conosciute con il nome di "mucigel". Queste sono dei polisaccaridi altamente idratati che proteggono il meristema apicale retrostante da eventuali danneggiamenti / infezioni, aiutano la radice a penetrare nel terreno e giocano un ruolo importante nell'instaurazione di diverse simbiosi (Noirot-Gros et al., 2018).

Mentre la zona di distensione e di differenziazione appare liscia, la regione di maturazione è distinguibile in una zona di struttura primaria

(pilifera) ed una eventuale zona di struttura secondaria (suberosa) solo in Dicotiledoni e Gimnosperme.

1.4 Accrescimento della radice

L'apparato radicale risulta come l'insieme armonico di più radici unite tra loro. Nel descrivere lo sviluppo dell'apparato è quindi prima necessario analizzare le modalità di accrescimento della singola radice.

La regione del meristema apicale è interessata da una spinta attività di divisione cellulare.

In seguito all'allungamento della radice, le divisioni mitotiche della regione del meristema apicale diventano progressivamente infrequenti. Questa regione relativamente inattiva, nota come "centro quiescente", è comunque in grado di ripopolare le regioni meristematiche di confine danneggiate. La maggior parte delle divisioni cellulari si verifica invece nella regione immediatamente retrostante: la "regione di accrescimento per divisione cellulare".

Sopra la regione di divisione cellulare, ma non nettamente delimitata da questa, vi è la regione di accrescimento per distensione cellulare. Di solito lunga pochi millimetri, è in grado di determinare un maggior incremento della lunghezza della radice rispetto alla crescita per divisione cellulare.

Oltre la regione di distensione la radice non aumenta in lunghezza: solo la porzione più prossima all'apice viene costantemente spinta attraverso il suolo. Nella zona di non accrescimento si definisce la funzione di maturazione dei tessuti con differenziazione dei peli radicali nella "zona pilifera" e di radici laterali nella "zona suberosa".

La zona interessata dai peli radicali rimane di dimensioni costanti durante la crescita della radice: è interessata da un fenomeno di formazione dei peli e da uno di distruzione degli stessi. Si crea così un equilibrio dinamico tra la velocità di crescita della radice e la velocità di distruzione dei peli radicali. Ogni pelo radicale è costituito da una sola cellula (Guichard et al., 2019) dell'epidermide che forma una protuberanza in cui migra il nucleo e che piano piano si allunga. La superficie assorbente, grazie alla presenza di peli radicali, aumenta anche di dieci volte.

Il passaggio da una zona radicale all'altra non è mai netto, bensì graduale: i processi di divisione, distensione e di differenziazione cellulare possono sovrapporsi in determinate regioni di tessuto.

Una sorprendente capacità dell'apparato è quella di formare radici laterali in modo endogeno. In questo processo alcune cellule del periciclo, in corrispondenza delle arche xilematiche, cominciano a proliferare. Ad un primo allungamento delle cellule coinvolte nella formazione delle laterali, segue una fase di divisione secondo piani pericrinali. Ogni strato di cellule che si viene a formare contiene delle cellule iniziali che, dividendosi, originano l'apice della nuova radice. In questa fase, lo strato di endoderma si attiva ed inizia a dividersi, così da circondare la nuova radice per proteggerla fino all'esterno, lacerando i tessuti della radice madre. L'allungamento prosegue verso l'esterno e, giunto a contatto col terreno, lo strato di endoderma si disgrega. La neoformata radice avvia il processo di creazione della cuffia per proseguire la propria crescita.

1.5 Accrescimento dell'apparato radicale

L'insieme delle diverse radici partecipa alla formazione dell'apparato ipogeo della pianta, strutturalmente molto complesso. Una pianta in crescita mantiene un certo equilibrio tra l'area della superficie fotosintetizzante e l'area della superficie utile per l'assorbimento di acqua e minerali.

Le radici che compongono il sistema possono essere catalogate in diversi modi, a seconda delle caratteristiche prese in considerazione. Una classificazione molto seguita è quella di Kolesnikov del 1971, basata sulla funzione e sulla morfologia radicale. Tale classificazione prevede la distinzione tra radici esploranti, radici di assorbimento, di transizione e di conduzione. Le radici di gran lunga più numerose sono quelle assorbenti (80-85% dell'intero sistema radicale secondo Baldini, 1986), che però hanno uno sviluppo limitato in lunghezza e dopo un periodo di tempo generalmente breve vengono abscisse, andando a far parte della sostanza organica del terreno. Lo stato di equilibrio dinamico costante tipico delle radici assorbenti fa sì che la loro morte e sostituzione si verifichi simultaneamente. Nel loro percorso le radici assorbenti lasciano il terreno povero di minerali assorbibili ma ricco di sostanza organica derivante dalla loro veloce degradazione.

Barlow (Sansavini et al., 2020) evidenzia una correlazione di proporzionalità inversa tra la percentuale di radici assorbenti ed il peso totale delle radici in funzione dell'età della pianta. Questa, infatti, influisce notevolmente sullo sviluppo del sistema radicale.

Alla nascita di un nuovo organismo vegetale, la radice primaria cresce verso il basso (generalmente le radici rispondono in modo positivo al geotropismo) (Schiefebeina and Benfey, 1991), dando luogo a ramificazioni radicali. In questo modo, le radici più vecchie si trovano sempre alla base della radice fittonante iniziale. Dall'emergenza della radichetta in

poi, l'accrescimento dell'apparato radicale in una pianta arborea segue delle regole apparentemente rigide: l'accrescimento è planare, radiale e centrifugo. La maggior parte delle radici di una pianta arborea si trovano ad una profondità compresa tra 20 e 70cm, quindi nei primi strati di terreno (accrescimento planare). L'apparato radicale si dice con accrescimento radiale perché non ha una direzione preferenziale di crescita, occupa tutte le direzioni nell'intorno del tronco. Il verso di accrescimento principale è quello dal tronco alla periferia, con le radici assorbenti posizionate in abbondanza verso il bordo esterno dell'area esplorata (accrescimento centrifugo), tanto che l'estensione orizzontale dell'apparato radicale è nettamente superiore a quella della chioma.

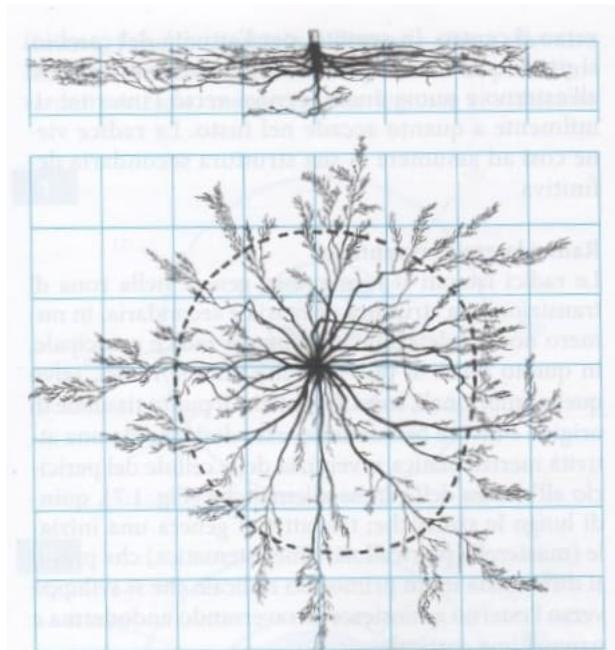


Figura 2: Accrescimento della radice da Sansavini et al., 2020

Zucconi (1996) mette in luce l'andamento della distribuzione delle radici nel terreno in funzione dell'età dell'albero. Nella fase di giovanità l'accrescimento della radice è sia profondo che parallelo al terreno, in allontanamento dal tronco. Nella fase di maturità l'accrescimento è principalmente di tipo radiale, in direzione dal tronco alla periferia. Nella fase di invecchiamento della pianta, aumenta l'approfondimento delle radici nel terreno ma si riduce la distanza media dal tronco.

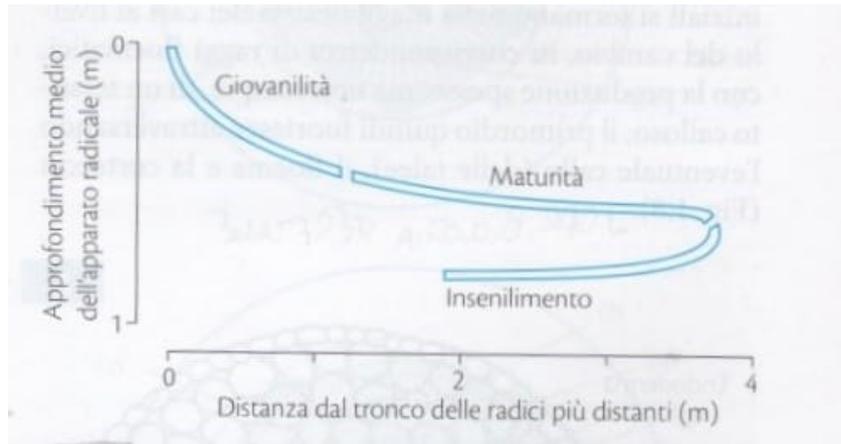


Figura 3: Distribuzione delle radici nel terreno in funzione dell'età dell'albero da Sansavini et al., 2020

Il parametro che si usa per valutare l'accrescimento radicale è la “lunghezza totale delle radici attive”, dovuto alla formazione di nuove radici e all'allungamento di quelle già presenti da una parte, alla suberificazione del tessuto corticale e all'abscissione radicale dall'altra.

La ritmica dell'accrescimento radicale stagionale è generalmente distinguibile in due periodi principali di attività durante la stagione vegetativa, separati da un periodo di stasi estiva. Nei nostri climi, anche nei mesi invernali, l'accrescimento non si ferma mai del tutto, anche se subisce un forte rallentamento.

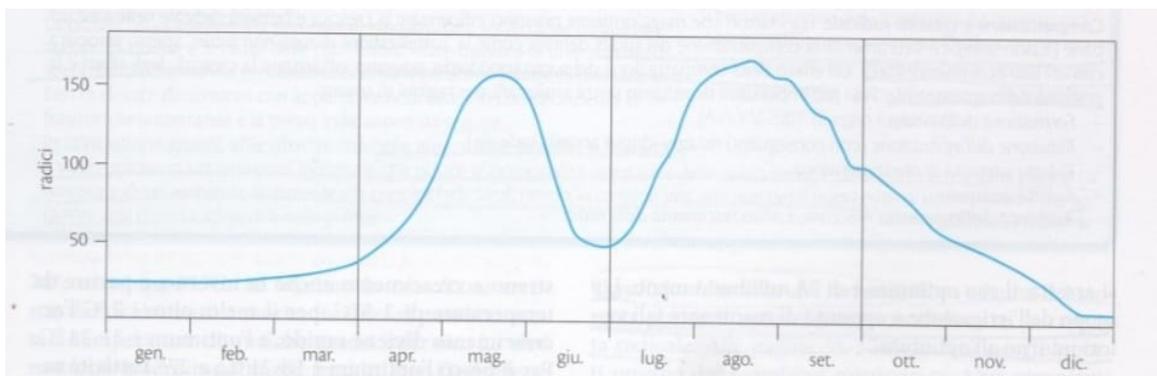


Figura 4: Ritmica dell'accrescimento radicale da Sansavini et al., 2020

Questo schema così rigido viene nella realtà facilmente superato dalla pianta. La plasticità fisiologica dell'apparato radicale sembra essere la vera “capacità pensante” dell'organismo vegetale, che si traduce quindi nella capacità di rispondere in maniera differente a diverse condizioni esterne.

Recenti studi si soffermano sugli aspetti “cognitivi” della pianta, sulla sua capacità di rispondere a stimoli esterni modificando il proprio apparato radicale.

Una visione particolare è fornita da Frantisek Baluska et al. (2010), che considerano l'apparato radicale come una forma di intelligenza “swarm”, a sciame. Si parla di “intelligenza a sciame” quando due o più individui indipendentemente, o almeno in parte in autonomia, riescono ad acquisire informazioni che poi vengono elaborate attraverso interazioni sociali. Questa capacità è utilizzata per risolvere un problema cognitivo in un modo che sarebbe impossibile per gli stessi individui, isolati. La singola radice mostrerebbe quindi la capacità di relazionarsi con le altre, di scambiare informazioni all'interno del sistema più complesso dell'apparato radicale per superare ostacoli esterni, situazioni che impediscono o che rallentano il loro accrescimento.

Alle piante è riconosciuta la capacità di cercare autonomamente le risorse necessarie in circostanze competitive, la percezione sensoriale dettagliata, la capacità di elaborazione delle informazioni, di apprendimento, la memoria, la capacità di scegliere, l'auto-riconoscimento e la lungimiranza: qualità tipiche di esseri propriamente detti “intelligenti”. L'espressione della capacità intellettuale degli organismi vegetali sarebbe la loro plasticità fenotipica, in particolare quella radicale (Trewavas, 2005). La capacità delle piante di percepire ed utilizzare in modo adattativo l'ambiente potrebbe essere considerata una sorta di stimolo darwiniano all'evoluzione (Novoplansky, 2019).

La morfogenesi e l'attività della radice sono infatti guidate da una struttura genetica ma largamente influenzate sia dalle caratteristiche edafiche del terreno (come tessitura e struttura) che da altre situazioni specifiche come l'areazione, l'umidità del terreno, la sua temperatura, le condizioni biotiche sotterranee, le competizioni con altri organismi, fenomeni di antagonismi o di stanchezza del terreno.

Ad esempio, appare chiaro come ci sia un intervallo specifico di temperatura alla quale ogni specie accelera notevolmente la crescita del proprio apparato radicale (Murmotsev, 1984). Allo stesso modo, esiste una relazione tra la densità apparente delle radici (la radicabilità), il grado di ritenzione idrica del suolo (Dexter, 2004) e la sua tessitura (Allan Jones, 1983).

Che la pianta possa modellare il proprio scheletro radicale (nascondendo, secondo Zucconi (1997), una dinamicità ancor maggiore di quella mostrata dai rami) in funzione delle condizioni esterne sembra quindi dato certo in natura. La situazione si complica in sistemi

antropizzati, di stampo produttivo. Infatti, negli agroecosistemi ad alto input, il valore della plasticità fenotipica non è chiaro, dal momento che la gestione umana ha rimosso molti dei vincoli perché possa manifestarsi questa capacità (Schneider and Lynch, 2020). Sono quindi necessarie ulteriori ricerche per comprendere il panorama della plasticità radicale in risposta a diverse condizioni imposte dall'uomo.

Questa ambiziosa analisi è già stata avviata per alcuni degli aspetti che possono condizionare la crescita delle radici. Di seguito, alcune delle evidenze emerse.

1.5.1 *Profondità di impianto*

Esistono relazioni tra lo sviluppo dell'apparato radicale e la profondità di impianto. La profondità ottimale (figure di destra) varia in base alla specie e alle caratteristiche fisiche del terreno, mentre una profondità eccessiva determina una risalita delle radici verso la superficie (Baldini, 1986).

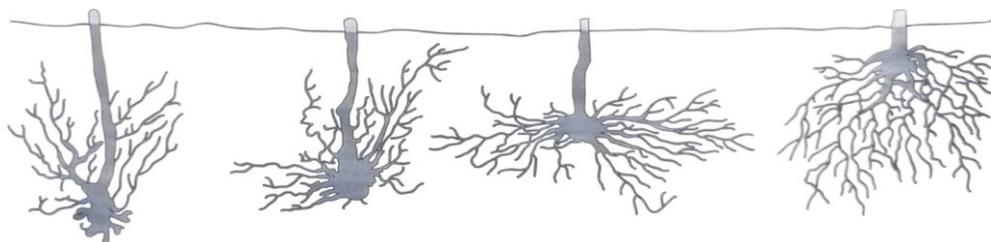


Figura 5: Effetto di diverse profondità d'impianto sull'accrescimento radicale da Sansavini et al., 2020

1.5.2 *Lavorazioni del terreno e tecniche agronomiche*

Mentre in un terreno lavorato l'apparato radicale tende a rimanere distante dalla superficie del terreno, in assenza di lavorazioni ma con pacciamatura con paglia, le radici assorbenti esplorano anche lo strato superficiale del terreno, il più ricco di principi nutritivi assorbibili (Baldini, 1986). Inoltre, le radici che si sviluppano in terreni lavorati presentano un diametro medio maggiore rispetto a quelle che si sviluppano sotto pacciamatura (Polverigiani et. al., 2013).

Leandro Carneiro Barbosaa relaziona lo sviluppo radicale alla porosità del suolo, alla sua resistenza alla penetrazione e alle lavorazioni effettuate. (Barbosa et al., 2018)

Dallo studio svolto su canna da zucchero, risulta come la compattazione riduca la disponibilità di aria ed acqua, aumentando la resistenza del suolo alla penetrazione e limitando l'infiltrazione d'acqua: tutti aspetti che possono avere impatti negativi sullo sviluppo delle radici.

Per l'analisi delle caratteristiche fisiche del terreno sono stati raccolti dei campioni di suolo indisturbato a diverse profondità, così da essere rappresentativi di strati specifici del terreno. La resistenza alla penetrazione è stata misurata tramite un penetrometro elettronico che veniva posizionato al centro dei campioni indisturbati (dai quali erano stati allontanati il primo e l'ultimo centimetro di spessore) e bilanciati allo stesso potenziale idrico (saturazione totale). In questo modo, la differenza nei valori di resistenza alla penetrazione era influenzata principalmente dalla variazione della tessitura del suolo.

In seguito, per calcolare la densità apparente del suolo, i campioni di terreno sono stati essiccati fino a peso costante e nuovamente pesati; si è proceduto dividendo la massa secca del suolo per il volume dello stesso. La biomassa radicale è stata quantificata attraverso la valutazione dei blocchi di suolo raccolti in corrispondenza dei campioni effettuati per studiarne le caratteristiche fisiche. In laboratorio, il terreno è stato sciacquato su setacci separando la terra dalle radici, che poi venivano essiccate in forno. La biomassa radicale di ogni blocco è stata rapportata al volume di suolo corrispondente per avere un valore di densità radicale.

Per correlare gli attributi fisici del suolo con la densità e la biomassa radicale (massa secca) è stato adottato il "metodo della linea di confine", considerando come "valori critici" per la densità apparente del suolo e per la resistenza alla penetrazione, una riduzione del 75% della densità delle radici.

I risultati mostrano una maggiore biomassa radicale negli appezzamenti con rotazione delle colture rispetto a quanto accade nelle zone incolte spoglie. Se si considera la media dei trattamenti di lavorazione del terreno, in generale, la rotazione delle colture ha prodotto più biomassa radicale rispetto a quanto riscontrato su suolo nudo e nelle aree incolte.

Confrontando solo i sistemi di lavorazione del terreno, la lavorazione convenzionale ha prodotto più biomassa radicale rispetto alle prove senza lavorazione.

Tali risultati suggeriscono che la lavorazione convenzionale, tendendo a ridurre i valori di densità apparente del suolo e della resistenza alla penetrazione rispetto a quelli di un terreno non lavorato, possa promuovere un leggero aumento della produzione di radici, specialmente negli strati superficiali di suoli argillosi.

Inoltre, nello stesso lavoro, si è riscontrata per ogni tesi una maggiore concentrazione delle radici nello strato superficiale di suolo e nella regione del filare, ed una diminuzione della densità radicale in relazione alla distanza dalla pianta nell'interfila. Questo potrebbe essere correlato al fatto che tutto il fertilizzante era stato applicato nel filare durante il periodo di semina. La somministrazione localizzata di fertilizzante potrebbe quindi promuovere un maggiore sviluppo degli apparati radicali in prossimità del punto di applicazione.

1.5.3 Competizioni tra l'accrescimento della parte vegetativa e delle radici. Implicazioni nella potatura

La presenza di foglie, fiori e frutti ha un ruolo importante nello sviluppo radicale. A questo proposito, Head (Sansavini et al., 2020) ha rapportato la lunghezza totale delle radici assorbenti con l'intensità di accrescimento dei germogli in due peri di cultivar Conference innestati su Cotogno. Da questo studio emerge come una vegetazione ridotta ma più vigorosa determini una maggiore competizione, quindi lo spostamento dell'attività radicale verso la parte finale della stagione. Tali risultati suggeriscono implicazioni sulla potatura. Questa ha infatti un effetto solo inizialmente negativo sull'accrescimento radicale (in quanto il maggior vigore dei germogli rimanenti dopo la potatura esercita una forte competizione per i metaboliti); successivamente si riscontra un maggior stimolo alla crescita radicale dovuto ad una maggiore efficienza fotosintetica dei giovani germogli e ad un afflusso maggiore di bioregolatori.

1.5.4 Competizioni inter- ed intra-specifiche

L'effetto allelopatico in risposta alla vicinanza di due piante contigue della stessa specie determina uno stop della crescita radicale, con le radici che non si incrociano (Baldini, 1996; Neri and Savini, 2006). La competizione intraspecifica è generalmente maggiore di quella interspecifica, (Briones et al., 1996) che comunque spinge il sistema radicale a trasmigrare tramite radici esploranti particolarmente sviluppate. (Polverigiani et al., 2013).

Il rapporto chioma / massa radicale si mantiene abbastanza costante nelle piante adulte, anche in condizioni di crescente densità, e quindi per questo le piante a densità più elevata tendono ad avere dimensioni minori (Atkinson, da Sansavini, 2020); tuttavia, si riscontrano differenze significative sulla lunghezza media delle radici e sulla densità di lunghezza radicale rispetto alle differenti distanze di impianto (Farooq et al., 2019; Hecht et al., 2016).

In particolare, lo studio di Farooq et al. (2019) evidenzia l'andamento della lunghezza media delle radici, del loro diametro medio, del volume radicale e della superficie esplorata dall'apparato rispetto a 3 diverse densità di impianto di Abete cinese: alta (3950 piante/ha, con sesto di impianto 1,44 x 1,44m), media (2460 piante/ha, con sesto di impianto 1,83 x 1,83m) e bassa (1450 piante/ha, con sesto di impianto 2,36 x 2,36m). I risultati mostrano come la lunghezza media della radice diminuisca significativamente all'aumentare della densità di impianto mentre l'area esplorata dall'apparato sia maggiore in impianti a densità intermedia e bassa rispetto a quelli ad alta densità. Il diametro radicale medio, come anche il volume delle radici, sono risultati significativamente più elevati in impianti a densità intermedia che negli altri. Tuttavia, mentre non c'è rilevanza statistica nelle differenze di diametro radicale medio tra impianti ad alta e bassa densità, è significativamente maggiore il dato raccolto sul volume radicale di impianti a bassa densità rispetto a quello di impianti ad elevata densità.

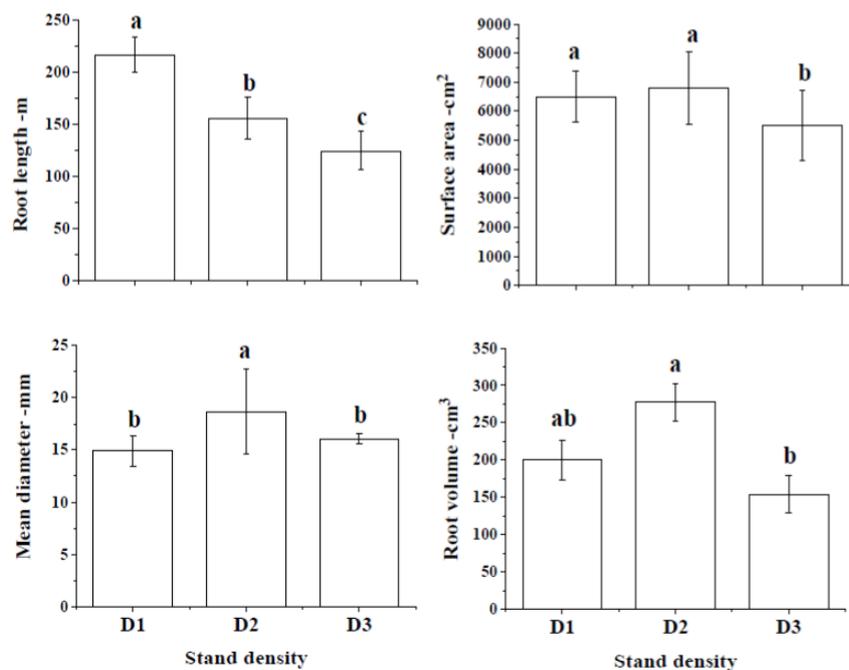


Figura 6: In alto a sinistra la lunghezza radicale media in base alla densità. In alto a destra la superficie esplorata dall'apparato in base alla densità. In basso a sinistra il diametro medio in base alla densità. In basso a destra il volume radicale rispetto alla densità di impianto. Da Farooq et al., 2019

Dall'articolo di Hecht et al. (2019) su *Hordeum vulgare* emerge come la densità di lunghezza radicale aumenti all'aumentare della densità di impianto, mentre non diminuisce (o lo fa solo lievemente) l'angolo di ramificazione delle radici rispetto alla verticale.

Kamel (1959) riscontra come, nell'orzo, sia il peso delle radici che il loro peso secco tenda a diminuire all'aumentare della densità. Allo stesso tempo, la percentuale di acqua all'interno delle radici sembra aumentare a minori distanze di impianto. Questo potrebbe fenomeno essere legato ad una maturazione più rapida della pianta a distanze di impianto minori.

1.5.5 *Allelopatia e degrado del suolo*

Lo studio condotto da Neri et al. (2005) su fragola indica come il degrado del suolo dovuto al continuo reimpianto della stessa specie risulti inibente la crescita delle radici sia primarie che secondarie a causa di possibili effetti tossici. Tale prova è stata svolta in rizotroni miscelando alla torba residui di fragola a diverse concentrazioni (0%, 3%, 10%, 30% e 100%) in uno strato ben delimitato di terreno. Tramite la parete in vetro dei vasi, dopo il quinto giorno, è stato possibile osservare e tracciare con un pennarello la crescita delle radici.

Già prima di raggiungere lo strato con i residui di fragola, l'accrescimento delle radici delle prove con concentrazione al 30 e al 100% appariva rallentato. Questo era probabilmente dovuto ad una migrazione delle sostanze tossiche nella parte superiore del profilo avvenuta durante il periodo di pre-piantagione. Una volta giunte allo strato tossico, in nessuno dei trattamenti le radici hanno perso il loro geotropismo ma si è proporzionalmente ridotta la quantità di radici e di ramificazioni. Le dosi maggiori di residui hanno rallentato la crescita dell'apparato anche nello strato sottostante a quello tossico. In quest'ultimo strato, migliorava invece la capacità di ramificare delle radici sottoposte a stress maggiori. La pianta ha messo quindi in gioco una grande quantità di energia per cercare uno strato di terreno più fertile rispetto a quelli superficiali.

Anche la porzione vegetativa delle piante rispondeva all'aumento di concentrazione dei residui. Nel controllo e nelle tesi con percentuali di residui basse, le piante risultavano più vigorose rispetto a quelle cresciute con un'alta percentuale di elementi tossici.

Si deduce che un accumulo di residui di una singola coltura (dovuto, ad esempio, al reiterato reimpianto della stessa specie) può produrre il rilascio di metaboliti tossici e cicli di decomposizione anormali anche per lunghi periodi in relazione al clima. Questo può indurre specifici effetti dispatici che portano al degrado del suolo.

1.5.6 Condizioni idriche

La morfologia dell'apparato radicale appare simile in terreni asciutti ed umidi. L'apparato radicale risponde diversamente invece quando sviluppa in terreni solo parzialmente bagnati. Polverigiani et al. (2011) indicano come, nel caso dell'olivo, sia evidente una plasticità di crescita in relazione al contenuto idrico del suolo, sia per le radici pioniere che per quelle fibrose. In questo lavoro il deficit di umidità ha spinto una maggiore densità di tessuto nelle radici, senza che però ne aumentasse il diametro. Inoltre, le radici pioniere che sono cresciute nei settori di suolo bagnati hanno accumulato una minore quantità di suberina. Lo studio evidenzia come, in condizioni di disomogenea umidità, la pianta abbia allocato più omogeneamente la biomassa delle radici pioniere rispetto che quella delle radici fibrose. Diversamente dalle radici pioniere, quelle fibrose hanno evidenziato una fisiologia alterata in termini di integrità della membrana (perdita di elettroliti) delle radici più vecchie nei settori asciutti della prova a disomogenea umidità. La perdita di elettroliti evidenzia come, quando l'umidità è scarsa, la pianta colloca le radici preferenzialmente nelle regioni umide del suolo, mentre riduce l'allocazione di sostanze nutritive a quelle nelle regioni asciutte. Questo determina, probabilmente, un graduale abbandono del mantenimento delle radici nel terreno più sfavorevole.

Tale rilievo ha implicazioni nel posizionamento degli irrigatori negli impianti più intensivi. La presenza di ali gocciolanti potrebbe provocare una riduzione della superficie di terreno esplorata dalle radici, che potrebbero sviluppare preferenzialmente in prossimità del gocciolatore. Le piante diventerebbero in questo modo "dipendenti" dalla presenza dell'ala, incapaci di cercare acqua altrove, ovvero nei settori di terreno non esplorati dall'apparato radicale.

Palese et al. (2000) hanno verificato come la densità di lunghezza radicale di giovani olivi cresciuti in ambiente mediterraneo fosse notevolmente influenzata dall'umidità del suolo. Il parametro in analisi era maggiore negli alberi irrigati che in quelli non irrigati e, negli alberi irrigati, è emerso un picco di densità delle radici durante il periodo di riposo invernale. Tale picco di densità potrebbe essere spiegato come la necessità di adeguamento dell'apparato radicale ad un più vigoroso sviluppo della chioma avvenuto nella precedente stagione di crescita, dovuto alla presenza di un maggior apporto idrico. Inoltre, l'area fogliare di maggiori dimensioni delle piante irrigate potrebbe fornire una riserva totale di carboidrati maggiore per l'attività delle radici rispetto a quanto accade nelle piante non irrigue. L'irrigazione ha permesso agli alberi di esplorare un volume di terreno maggiore e di sviluppare l'apparato radicale anche oltre l'area bagnata. Fernandez e Moreno (1999) indicano come ci sia una

riduzione del tasso di assorbimento radicale all'aumentare della disponibilità d'acqua, come se ci fosse una sorta di compensazione all'interno dell'apparato radicale: all'aumentare della densità di lunghezza radicale si riduce la quantità d'acqua che è in grado di assorbire la singola radice.

1.5.7 Utilizzo di molecole di sintesi

Lo studio condotto da Williamson et al. (1992) riguarda un impianto ad alta densità di pesco "Redhaven" su radice propria. Le prove sono state effettuate su alberi piantati in strisce trattate con erbicida (prova NHS) ed alberi rivestiti con un tessuto in poliestere impregnato con un lattice acrilico (prova FLT). A queste tesi ne era associata una di controllo.

Lo studio della distribuzione radicale evidenzia una significativa differenza tra i tre trattamenti per quanto riguarda il numero di radici osservate per albero: il numero massimo di radici apparteneva agli alberi della prova di controllo, il numero minimo (ma simile a quello dell'altra prova) a quelli rivestiti dal tessuto in poliestere. Diversamente, il numero relativo di radici per ogni classe di diametro non sembrava essere influenzato dal trattamento di impianto, così come il modello di distribuzione delle radici. Tuttavia, le radici degli alberi della prova FLT sono risultate drasticamente limitate sia lateralmente che verticalmente in profondità rispetto a quelle degli altri trattamenti.

Dalla prova si deduce come l'utilizzo di molecole diserbanti possa ridurre il numero totale di radici per albero, senza alterarne gravemente la distribuzione spaziale.

1.5.8 Considerazioni

La plasticità fenotipica dell'apparato radicale risulta quindi una risposta attiva nei confronti degli stress che l'uomo impone alle piante in produzione. Nonostante questo, la produttività della coltura appare limitata quando lo sviluppo dell'apparato radicale è rallentato o non avviene correttamente (si consideri ad esempio le implicazioni produttive che ha il degrado del suolo per effetto allelopatico). È doveroso permettere il benessere ed il corretto sviluppo di tutti gli organi delle piante in produzione. Risulta quindi necessario approfondire ancor di più lo studio dell'apparato sotterraneo, in diverse situazioni di cultivar, terreni, sistemi produttivi, così che le produzioni possano divenire più efficaci e rispettose del mondo vegetale.

2 APPARATO RADICALE DELL'OLIVO

2.1 Perché studiare l'apparato radicale in olivo? La situazione olivicola italiana

Lo studio delle possibili risposte dell'apparato radicale a condizioni di campo differenti risulta quindi particolarmente importante in colture per le quali si voglia intensificare la produzione. Questo discorso vale in modo specifico per l'olivo (*Olea europaea* L.), un albero che integra un insieme unico di caratteristiche morfologiche ed evolutive adatte alle condizioni relativamente asciutte del suo areale d'origine mediterraneo (Rapoport, 2016).

L'olivicoltura tradizionale a bassa densità (meno di 200 piante/ha) rappresenta la gran parte del patrimonio olivicolo produttivo italiano nonostante gli elevati costi richiesti soprattutto per l'esecuzione delle operazioni di potatura e di raccolta (Fretto, 2016).

Il mancato rinnovamento dell'olivicoltura italiana spiega in parte la perdita della leadership del nostro paese nella produzione di olio che oggi appartiene alla Spagna, che ha investito enormemente nel settore.

Il consumo mondiale è in lenta ma costante crescita, grazie al diffondersi della dieta mediterranea di cui l'olio di oliva è uno degli alimenti principe. L'incremento medio annuo, pari all'1%, è contenuto ma costante (Cola and Sarnari, 2020). All'aumento della domanda di olio sui mercati, avvenuta perlopiù in paesi non produttori e con elevato livello di reddito (come nord Europa, America del nord, Giappone, Australia, ecc.), è corrisposto un incremento della coltivazione in tutte le nazioni tradizionalmente produttrici, anche se l'Italia in controtendenza ha ridotto le produzioni. Va inoltre considerato che l'olivicoltura si sta estendendo anche in nuovi paesi quali Australia, Argentina (dove si è verificato un aumento significativo degli oliveti a gestione intensiva soprattutto nella regione del nord-ovest, in climi che richiedono quantità di irrigazione elevata (Correa-Tedesco, 2010), Cile e Sud Africa (Famiani and Gucci, 2011).

Il ritardo dell'Italia assume ancor più rilevanza se si considera che la produzione nazionale è largamente inferiore ai consumi interni, tanto che il nostro paese è il primo importatore mondiale di olio di oliva secondo i dati ISMEA Mercati.

L'Indice del Clima di Fiducia ISMEA Mercati è un parametro (che va da -100 a +100) che "sintetizza i giudizi degli operatori sull'andamento corrente degli affari della loro azienda e le loro attese sull'evoluzione economica della stessa nei prossimi 2-3 anni". Questo, per quanto riguarda l'olivicoltura da olio in Italia, è risultato negativo nel terzo trimestre 2021 (-2,2) e solo leggermente positivo nel trimestre successivo (+1,2). La sfiducia mostrata dagli agricoltori è preoccupante in un settore come quello olivicolo, dal momento che le numerose peculiarità del prodotto nazionale potrebbero consentire la produzione di oli dotati di vari tipi di identità: da quella genetica a quella territoriale, fino ad una identità storica che non ha pari in nessun altro Paese olivicolo (Alfei et al., 2013).

Tutto questo sottolinea la necessità di un rinnovamento del settore attraverso la costituzione di nuovi oliveti, che consentano rese e qualità elevate.

La progettazione di un nuovo impianto, secondo Proietti e Regni (2019), deve tenere in conto obiettivi chiari, quali la sostenibilità ambientale ed economica dello stesso, l'ottenimento di produzioni importanti e costanti, uno standard di qualità elevato dell'olio, il contenimento dei costi di gestione.

Per raggiungere questi obiettivi occorre garantire che gli alberi possano crescere e fruttificare in maniera ottimale e che sia possibile applicare un elevato livello di meccanizzazione a tutte le operazioni colturali (Proietti and Regni, 2019).

Un incremento degli impianti ad alta densità è auspicabile per aumentare le produzioni di olio d'oliva anche in Italia, obiettivo che oggi appare ben distante dal raggiungimento dal momento che la creazione di un nuovo oliveto segue perlopiù tecniche tradizionali di derivazione antica (Porfirio et al., 2016).

Perché sia possibile un'olivicoltura intensiva efficiente è prima necessario approfondire come rispondono le piante al ridursi della distanza di impianto. Questo compito spetta alla ricerca di base, che dovrebbe supportare la transizione di cui si è discusso.

2.2 Radici di olivo

Le prime radici che si sviluppano dal seme di olivo sono caratterizzate da un elevato geotropismo positivo. La radichetta è fortemente fittonante nelle prime fasi di sviluppo e genera laterali che si sviluppano altrettanto perpendicolarmente al terreno. Già alla fine del primo anno, la piantina si è dotata di un importante apparato epigeo e di un fittone che

raggiunge il metro di profondità. Dalle iniziali radicali si generano nuove radici avventizie che, dapprima capillari, gradualmente ingrossano e si prolungano nel terreno in direzione sempre più orizzontale. Dal terzo-quarto anno la pianta si è dotata di un nuovo sistema radicale avventizio più superficiale di quello fittonante iniziale e che tende a sostituirlo fino a che, al settimo-decimo anno, prende completamente il sopravvento. L'area interessata dall'apparato generalmente supera abbondantemente la proiezione della chioma (fino a 2-3 volte il raggio della stessa) e le radici si sviluppano prevalentemente nei primi 50-60 cm di terreno in assenza di inerbimento. Nel caso in cui il terreno sia inerbito, l'apparato ha uno sviluppo ancor più superficiale. Le radici più grandi, deputate al sostegno della pianta e al trasporto di acqua e nutrienti, sono, a maturità raggiunta, circa il 20-30% del totale; il restante 70-80% è rappresentato dalle radici assorbenti periferiche secondo Lodolini e Masetani (2020).

Lo sviluppo dell'apparato è influenzato da diversi aspetti, come l'areazione del suolo e il contenuto idrico dello stesso: nei climi siccitosi la pianta è in grado di spingere alcune radici oltre i 6-7 m di profondità nel terreno.

L'olivo risulta molto tollerante alla siccità (Pérez-Lopez et al., 2007). J. E. Fernández et al. (1994) riscontrano nella specie una differente conformazione radicale in base al regime idrico. In questo studio emerge come la crescita secondaria comincia più prossima all'apice nelle radici che crescono in terreno asciutto (a 9 cm) rispetto a quelle coltivate in terreno irrigato (a 12 cm). Inoltre, fino a 5cm dalla punta della radice, il tessuto corticale è risultato più largo nelle radici in asciutto che in quelle in irriguo. Sia il raggio della radice che quello del cilindro centrale sono risultati maggiori nel trattamento secco rispetto a quello irriguo, mentre non sono state riscontrate differenze per quanto riguarda i diametri dei vasi.

L'attività radicale inizia in modo vigoroso a 14-16°C di temperatura del suolo ma si rilevano crescite anche con temperature più basse, di 5-7°C. Lo sviluppo delle radici procede in due distinti periodi: uno di più rilevanza tra la primavera e l'estate (legato soprattutto alla disponibilità idrica) ed uno di minor crescita in autunno-inverno (con disponibilità idrica e temperature al di sopra del minimo di crescita). La stasi che interviene in questi periodi è dovuta a fenomeni interni di competizione nutrizionale con la parte aerea, a condizioni sfavorevoli di umidità del suolo e di temperatura.

L'apparato radicale dell'olivo è attivo nello stoccaggio temporaneo delle sostanze di riserva (carboidrati solubili, amido, amminoacidi e proteine) e nella sintesi ormonale (acido abscissico, gibberelline, citochinine ed etilene). Le citochinine e le gibberelline, che vengono sintetizzate negli apici radicali, controllano l'attività vegeto-riproduttiva dell'intero albero;

infatti, le sostanze di riserva accumulate nelle radici contribuiscono allo sviluppo di gemme a fiore durante la ripresa dell'attività vegeto-riproduttiva primaverile.

2.2.1 Descrizione dell'architettura radicale 3D in situ

L'architettura radicale 3D di *Olea europaea* in situ è stata descritta da Soragonà et al. (2018) tramite una digitalizzazione 3D semiautomatica. Lo studio rappresenta il primo tentativo di applicazione di una digitalizzazione e successiva ricostruzione 3D delle radici di una pianta da frutto in un impianto ad alta densità. Il risultato che si ottiene è molto accurato:

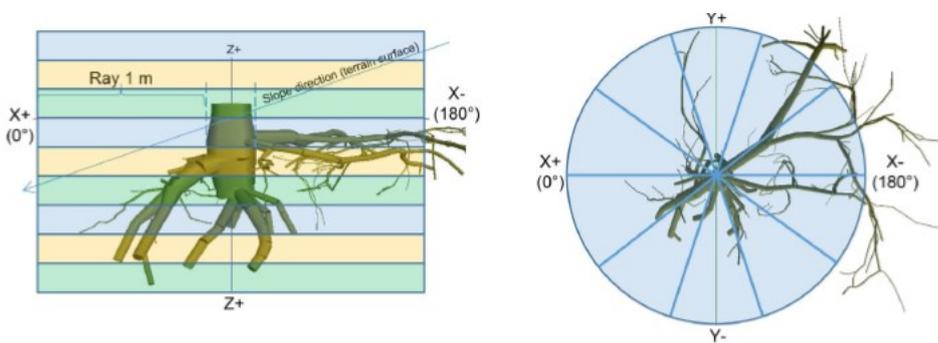


Figura 7: Digitalizzazione 3D delle radici di olivo da Soragonà et al., 2018

Questo approccio ha permesso di stimare la biomassa ed il contenuto di carbonio delle radici strutturali, di primaria importanza per l'esplorazione del suolo, per l'ancoraggio delle piante e nel sequestro a lungo termine del carbonio nel sottosuolo. L'articolo rappresenta una base per l'analisi botanica delle radici di olivo, per lo studio della risposta dell'apparato all'elevata densità di impianto e alla pendenza del terreno. L'impostazione di questo lavoro è più di carattere di tutela ambientale che tecnico-produttivo, sebbene analizzi anche la risposta dell'apparato a diversi metodi di raccolta. L'articolo non approfondisce la disposizione delle radici assorbenti nel suolo, un rilievo che invece sarebbe auspicabile per l'impianto efficiente di oliveti ad alta densità.

Nel caso-studio svolto in suolo calabro, le radici di primo ordine (ovvero le radici, tra quelle analizzate, più prossime all'apice) hanno un picco tra 45 e 60 cm di profondità del suolo. Le radici di secondo ordine risultano maggiormente concentrate tra 30 e 45 cm di profondità; quelle di terzo ordine (ovvero le radici più grandi, quelle più vicine al tronco) ancor più superficialmente, tra 0 e 15 cm.

La maggior parte della biomassa radicale è stata riscontrata a circa 40cm di profondità, in corrispondenza delle caratteristiche iperplasie che si formano sulle radici di *Olea europaea*.

La media geometrica dei diametri medi delle radici ha restituito una distribuzione di forma ovale attorno alla pianta.

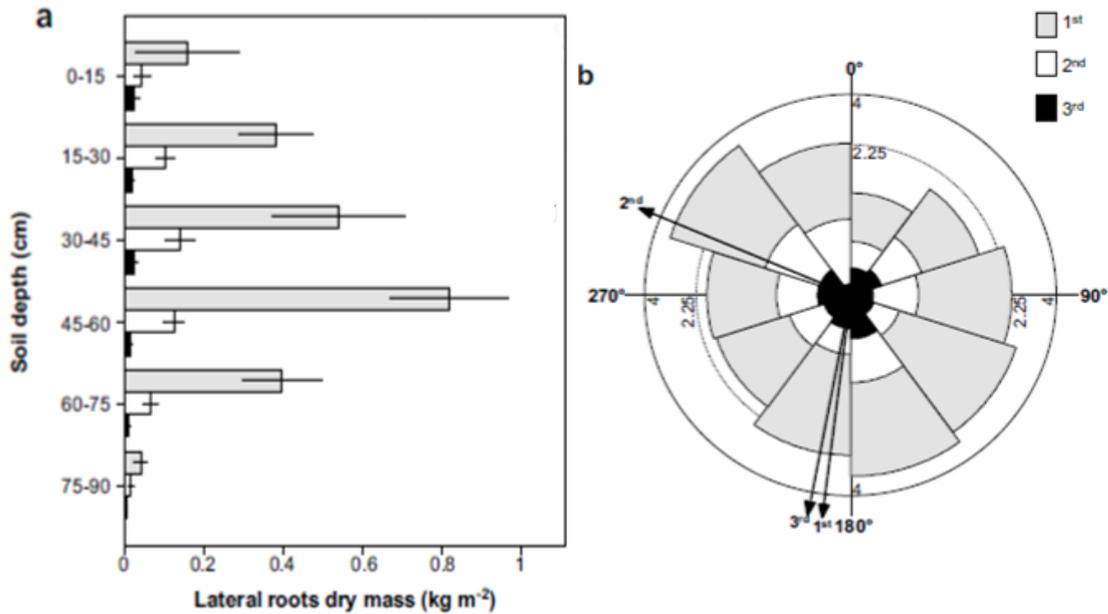


Figura 8: Distribuzione della massa secca (kg/m²) delle radici di primo, secondo e terzo ordine di ramificazione di *Olea europaea*. A sinistra (a) la massa laterale totale a diverse profondità nel suolo; a destra (b) la distribuzione della massa secca entro 1m di distanza radiale dalla corteccia. Nel grafico b, 0° corrisponde alla direzione della discesa. Le frecce nere che partono dal centro indicano la direzione media (centro di massa) per ciascun ordine radicale. I valori sono la media di 12 repliche. Adattato da Sorogonà et al., 2018

È stata osservata una direzione di allungamento delle radici orientata preferenzialmente in salita, anche se non in modo significativo. Questo potrebbe aiutare alla stabilità meccanica della pianta.

Riguardo i metodi di raccolta delle olive, quello meccanico ha aumentato significativamente l'angolo di crescita delle radici di primo ordine (rispetto alla verticale) ma non ha influenzato né l'allocazione della biomassa, né quella del carbonio nei tre ordini di ramificazione analizzati. La variazione dell'angolo di crescita probabilmente è dovuta al fatto che lo scuotitore del tronco causa un "affioramento" delle radici più superficiali. Infatti, la capacità delle radici di resistere a carichi di trazione, compressione o flessione, potrebbe venire meno nel caso di un elevato numero di percussioni ripetute (2000-2200 vibrazioni/min in

questo studio) come accade quando si utilizza uno scuotitore per la raccolta meccanica. L'allocazione della biomassa più superficiale delle piante sottoposte a scuotimento suggerisce che queste possano essere meno efficienti nello stoccaggio di carbonio a lungo termine, dal momento che diminuisce la quantità di biomassa radicale nello strato più profondo, che invece viene considerato un ambiente conservativo perché con un basso tasso di decomposizione organica.

2.2.2 Sviluppo delle radici di olivo in un impianto 6x6

Masmoudi-Charfi et al. nel 2011 hanno stimato la disposizione degli apparati radicali in un oliveto irriguo impiantato 6x6 in suolo tunisino.

Lo studio del sistema radicale è avvenuto nei mesi di riposo (novembre-dicembre) tramite il "metodo della trincea". Questo prevede lo scavo di una fossa e l'inserimento di una parete in vetro che permette di contare le radici che crescono su questa. La distanza massima delle radici dal tronco è stata misurata in cinque strati di terreno (profondità crescente). Per il calcolo del volume totale del suolo analizzato e dell'area esplorata dalle radici si è assunto un modello di sviluppo a simmetria centrale. Per la stima della densità radicale è stato utilizzato il "metodo del cilindro". Sono stati prelevati dei campioni di terreno a diverse distanze e profondità, sia sulla linea dei gocciolatori che sulla linea perpendicolare a questa. Tali campioni sono stati scioccati su setaccio, poi le radici sono state contate e misurate rapportandole ad un riferimento di scala. In questo modo è stata derivata la lunghezza media delle radici e la loro densità sul volume di suolo.

I risultati dello studio mostrano un apparato radicale che comincia il proprio sviluppo nei centimetri più superficiali del terreno, poi si estende rapidamente in direzione laterale e verticale con inclinazione variabile tra 30 e 60° a seconda di dimensione e posizione delle radici stesse. Per le piante più grandi sono state osservate radici di dimensioni maggiori oltre i primi 0,3 m; l'apparato poi si è sviluppato prevalentemente in direzione orizzontale con numerose altre radici. I risultati indicano che la maggior parte delle radici (70%) sono localizzate nei primi 0,6 m di terreno. Alcune radici si sono sviluppate negli strati più profondi, raggiungendo 1,0 m di profondità, ma pochissime sono state trovate al di sotto di questa quota. Il diametro delle radici è risultato compreso tra 2 mm (nell'albero di un anno) e 32 mm (nell'albero di 4 anni).

Lo sviluppo prevalente del sistema radicale si è verificato nei primi anni di coltivazione.

Valori massimi per la densità radicale sono stati registrati nei primi centimetri di terreno ad una distanza di 0,4 m dal tronco. All'aumentare della distanza poi la densità radicale è

diminuita velocemente, salvo che per alcune misurazioni in alberi più grandi. Il fattore che ha influenzato di più la densità radicale è stata la distribuzione d'acqua eterogenea all'interno del frutteto. Infatti, la carenza d'acqua può aumentare la mortalità di radici assorbenti, riducendo così la densità radicale nei settori più secchi.

Il volume di suolo esplorato dal sistema radicale è aumentato in modo regolare nei primi due o quattro anni di coltivazione, prevalentemente orizzontalmente negli strati più superficiali, ad un tasso di circa 1,0m³ all'anno.

Riguardo la lunghezza complessiva del sistema radicale, questa variava da 1km a 33,9km a seconda dell'età delle piante.

Il rapporto area radicale / volume della chioma è risultato molto elevato nel primo anno di vita delle piante, indicando una maggiore disponibilità di acqua per superficie fogliare. È andato poi diminuendo con gli anni, fino a raggiungere un equilibrio. I risultati mostrano come l'ulivo stabilisca rapidamente un equilibrio tra lo sviluppo delle radici e quello della chioma raggiungendolo, in questa prova, già al quarto anno.

Il rapporto area della radice / volume della chioma viene indicato come un possibile coefficiente culturale da analizzare negli alberi giovani. L'adozione di tale rapporto consente la stima del fabbisogno di irrigazione in funzione dell'età dell'albero, dei diversi regimi termopluviometrici e della densità di impianto (Masmoudi-Charfi and Mechlia, 2004). I risultati che si ottengono derivando il fabbisogno d'acqua in questo modo non corrispondono a quanto si ottiene calcolando lo stesso parametro mediante il metodo dei coefficienti culturali FAO del 1998 (Allen et al., aggiornati al 2006): i coefficienti indicati dal metodo FAO sarebbero sovrastimati negli olivi più giovani.

Riconosciuta l'importanza del lavoro, la mancanza di un'adeguata significatività statistica risulta un importante punto critico della prova. Questa, infatti, è stata svolta solamente su sei piante, una per ogni anno d'età. Il risultato ottenuto difficilmente è rappresentativo di ciò che realmente avviene in campo, essendo notevolmente influenzato dalla casualità e dall'errore umano.

3 OBIETTIVO

Date le considerazioni descritte nella premessa, distribuzione, morfologia ed estensione radicale sono fortemente influenzate da numerosi fattori, come la densità di piante, le condizioni pedo-climatiche e le tecniche agronomiche di gestione dell'impianto. Volendo intensificare le produzioni olivicole italiane, è necessario uno studio che riguardi distanze di impianto minori rispetto a quelle analizzate da Masmoudi-Charfi, in suoli di differente impasto, in siti geograficamente più vicini al nostro areale di produzione. Le conoscenze acquisite potrebbero permettere un'ottimizzazione dell'utilizzo dell'acqua e delle molecole di sintesi, oltre che produzioni maggiori.

Obiettivo della tesi è l'analisi della distribuzione degli apparati radicali in tre oliveti ad alta densità. Vengono presi in esame e paragonati due oliveti giovani: uno situato a Roma e uno a Rende (CS). Un terzo oliveto, sito ad Agugliano (AN), è un impianto già adulto.

La distanza geografica dei tre appezzamenti e la diversità in composizione dei terreni sono ulteriori elementi che permetteranno di valutare la plasticità dell'apparato radicale di olivo.

Il focus è quello di monitorare la distribuzione radicale in questi impianti, facendo rilievi sia nella fila che nell'interfila, a distanze dalla pianta e a profondità differenti. In questo modo si potrà ottenere una stima della topografia degli apparati radicali.

4 MATERIALI E METODI

4.1 Descrizione degli appezzamenti

4.1.1 *Roma e Rende*

Quelli di Roma e di Rende sono due oliveti ad alta densità recentemente impiantati presso il CREA OFA di Fioranello (Roma) e di Rende. Creati rispettivamente nell'ottobre (Roma) e nel dicembre (Rende) 2019, presentano un sesto di impianto 4x2, per un totale di 1250 piante/ha; la prova è stata effettuata nella seconda stagione di crescita. All'interno dell'appezzamento sono presenti diverse varietà di olivo: quella su cui è stata avviata la sperimentazione è Maurino.

La cultivar Maurino, seppur autosterile, (Farinelli et al., 2002) è oggi una delle più attenzionate a livello medico-scientifico, sia per la soddisfacente capacità di adattamento fisiologico alle condizioni dell'oliveto ad alta densità (Proietti et al., 2012), che per le capacità antiossidanti e per la quantità di fenoli presenti nelle foglie, che rappresentano una fonte naturale di queste sostanze benefiche per la salute (Nicoli et al., 2019).

Nei due impianti, annualmente viene effettuata una concimazione con 60 g di N, 9 g di P₂O₅ e 15 g di K₂O a pianta. L'interfila è inerbito e viene sfalciato periodicamente. L'irrigazione avviene settimanalmente nella stagione calda (da giugno ad agosto) con impianto a goccia.

Il terreno dell'appezzamento di Roma ha una tessitura franco-sabbiosa e pH neutro; quello di Rende ha una tessitura argillosa.

La sperimentazione negli appezzamenti di Roma e di Rende fa parte del progetto M.O.L.T.I che coinvolge nel lavoro il CREA OFA e l'Università Politecnica delle Marche per lo "Studio della crescita, topografia e turn over radicale in condizioni differenziate di controllo delle infestanti nel sottofila".

4.1.2 *Agugliano*

L'appezzamento di Agugliano è inserito nel Centro di Ricerca e Servizi Azienda Agraria Didattico – Sperimentale "P.Rosati" dell'Università Politecnica delle Marche. Il polo, secondo

il Piano Strategico 2021-2023, viene gestito con tecniche di Agricoltura Integrata in un'ottica di riduzione dell'uso degli agrofarmaci, dei fenomeni erosivi e di miglioramento del contenuto di sostanza organica del suolo.

L'oliveto su cui è stata avviata la prova comprende una superficie di 1,68 ha ed ha esposizione sud-sud ovest. L'impianto, realizzato nel maggio 2012, è ad alta densità, presenta strutture di sostegno per la parte vegetativa ed un impianto di fertirrigazione a goccia. Il sesto di impianto è 4x2, con diverse varietà di olivo disposte su 26 file. La sperimentazione è stata condotta su Maurino, così che i dati raccolti presso gli appezzamenti del CREA OFA e quello di Agugliano potessero essere comparabili.

Fin dal primo anno d'impianto, nell'oliveto di Agugliano si è deciso di inerbire l'interfila con la semina tardo-estiva di un cotico erboso costituito prevalentemente da *Festuca arundinacea* e *Lolium perenne*. Le erbe spontanee nel sottofila sono state gestite mediante diserbo chimico o lavorazione meccanica. La scelta riguardo l'inerbimento è stata eseguita sia per contenere l'espansione degli apparati radicali dell'olivo, che per prevenire fenomeni erosivi e favorire la rinaturalizzazione dell'interfila. La scarsa persistenza di *Lolium* ha consentito il rapido insediamento di *Festuca*. Questa, dato il marcato sviluppo del proprio apparato radicale, determina una notevole attività competitiva per l'assimilazione dei nutrienti e dell'acqua nei confronti dell'olivo. Si creano così le condizioni necessarie alla formazione di apparati radicali di tipo residenziale in grado di rispondere al meglio agli input dati attraverso la tecnica colturale, ad esempio attraverso le operazioni di fertirrigazione e di potatura radicale finalizzate al controllo dei ritmi di crescita della pianta, così che si garantisca la possibilità di eseguire operazioni di raccolta con la macchina scavallatrice (Tarragoni, 2014).

Nell'impianto viene effettuata una fertilizzazione organica alternata, un anno da un lato ed un anno dall'altro dei filari

4.2 Metodo di analisi

La tecnica usata è stata quella di estrarre dei campioni di suolo con carotaggi a distanze dalla pianta e profondità prestabilite. I campioni di suolo estratti contenevano così sia il terreno che le radici che lo stavano esplorando. In laboratorio le radici presenti nei vari campioni sono state separate dalla terra. Procedendo con il riconoscimento delle radici di olivo, si è in grado di determinare la loro densità, il loro diametro medio e la lunghezza totale delle stesse. Rapportando i risultati ottenuti con la distanza dalla pianta e con la profondità di ogni campione, si riesce ad approssimare la distribuzione degli apparati.

4.2.1 Rilievi

I rilievi sono stati effettuati manualmente tramite una trivella di diametro di 7 cm e lunghezza 15 cm, che ha permesso di scavare e di sollevare un pane di terra con dimensioni standard. I primi centimetri di suolo (2-3 cm) sono stati rimossi manualmente, così da non portare in laboratorio eventuali erbe spontanee.

Nel sito di Roma, ad aprile 2021 sono stati acquisiti rilievi a 30 ed 80 cm di distanza dalla pianta, sia in direzione della fila che dell'interfila. Per ogni posizione sono state effettuati 2 carotaggi, tra 0 e 15 cm di profondità e tra 15 e 30 cm.

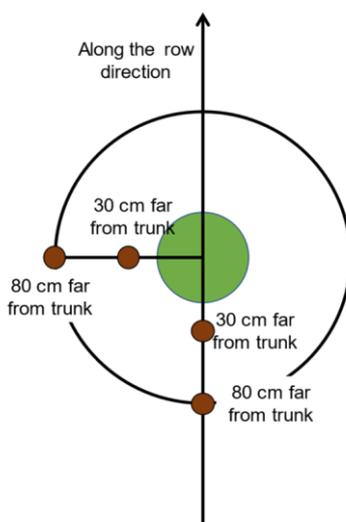


Figura 9: Schema del campionamento effettuato a Roma da Lodolini et al., 2022

Nel sito sperimentale di Rende, i campioni sono stati estratti in modo simile. In questo sito, i rilievi sono stati effettuati alle distanze di 50 e 100cm dalla pianta. Per ogni posizione sono state prelevati carotaggi tra 0 e 20 cm di profondità e tra 20 e 40 cm.

Sono stati prelevati quindi 8 campioni per ogni pianta su 8 diverse piante, per un totale di 64 campioni per ogni appezzamento del CREA OFA.

Nel campo di Agugliano, la differente età delle piante ha richiesto degli adattamenti specifici. I rilievi sono stati effettuati nel mese di febbraio su olivi in pendenza vicini tra loro (per standardizzare quanto più possibile i risultati) e sono stati estratti un totale di 22 campioni per coppia di piante. Il campionamento ha riguardato sia la fila che l'interfila. Nella fila i carotaggi sono stati effettuati a 20, 60, 100, 140, 180 cm dalla pianta più in basso. Nell'interfila i rilievi hanno riguardato una distanza molto prossima all'albero (D1, 60-70 cm), una distanza alla quale potesse abitualmente transitare la trattrice (D2, 130-140 cm) ed un ultimo rilievo si

è spinto oltre le tracce della trattrice (D3, circa 200 cm). I rilievi sull'interfila hanno interessato alternativamente l'uno e l'altro lato del filare. Per ogni posizione il carotaggio è stato ripetuto a due diverse profondità, tra 0 e 20 cm e tra 20 e 40 cm. Le piante analizzate sono state 8, per un totale di 88 campioni.

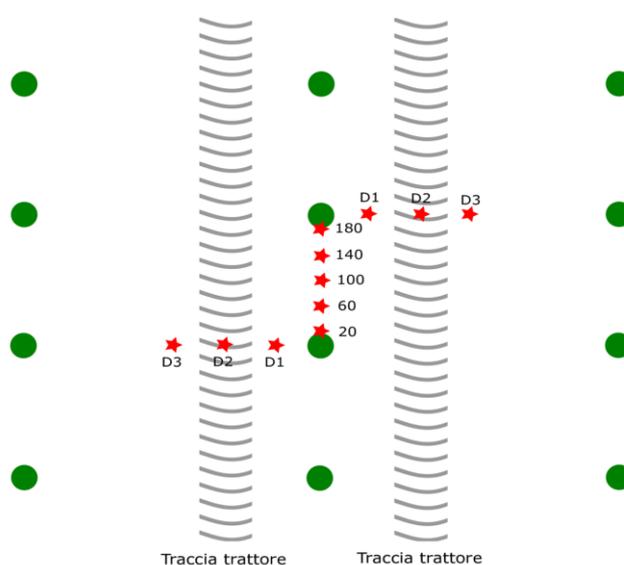


Figura 10: Schema del campionamento effettuato ad Agugliano

I terreni delle tre prove erano di diverso impasto: di natura prevalentemente argillosa quelli di Rende ed Agugliano, più grossolana la tessitura dell'appezzamento di Roma.

4.2.2 Analisi dei campioni

I campioni provenienti dal campo sono stati trasportati nel laboratorio del dipartimento di Arboricoltura dell'Università Politecnica delle Marche, dove è stata effettuata la loro analisi.

Il peso secco del campione è un parametro da rilevare prima di ulteriori manipolazioni. I sacchi sono stati inseriti in stufa a 60-65°C per almeno 48h, il tempo necessario perché potesse evaporare tutta l'acqua trattenuta dal terreno. Trascorso questo tempo, il contenuto di ogni sacco è stato pesato con una bilancia da laboratorio con risoluzione di 0,01g.

Una volta pesati, i campioni, specialmente quelli con terreno più compatto, sono stati messi in "ammollo" per qualche ora.

Per facilitare la ricerca delle radici a questo punto si è proceduto “sciacquando” i campioni con un getto delicato. In questo modo, la terra in eccesso veniva dilavata mentre le radici rimanevano sul setaccio che sosteneva il campione (con diametro dei pori di 0,710 mm).



Figura 11: Ricerca e selezione delle radici

Il setaccio contenente le radici è stato quindi scrupolosamente analizzato.

L’analisi del campione ha previsto l’estrazione ed il riconoscimento di tutte le radici presenti. Le radici presenti venivano trasportate tramite una pinzetta su di un panno di carta assorbente.

Solo le radici di olivo sono state estratte attraverso una selezione di tipo visivo. Queste appaiono generalmente suberificate e di colore aranciato, distinguibili ad occhio nudo da quelle di specie erbacee spontanee.

Le radici asciutte sono state a questo punto poggiate su di un foglio trasparente e coperte con un altro simile.

Tramite uno scanner si sono ricavate le immagini vettoriali delle radici.



Figura 12: Scannerizzazione vettoriale delle radici

di radici/g suolo).

Le scansioni delle radici sono state analizzate con WinRHIZO Basic 2021 (Regent Instruments Inc.), un software semiautomatico che permette di ricavare, dalle foto, misurazioni sulle radici presenti. I parametri presi in considerazione sono stati la lunghezza totale delle radici (cm) ed il loro diametro medio (mm).

Per uniformare i risultati è stata calcolata la densità di lunghezza radicale (cm/g), come il rapporto tra la lunghezza radicale totale ed il peso del campione.

Tutti i dati sono stati poi analizzati con il software di analisi statistica JMP 16 (SAS Institute Inc.) calcolando ANOVA e test HSD Tukey per la separazione delle medie.

4.2.3 Criticità

Il metodo utilizzato per l'analisi presenta delle criticità legate al riconoscimento delle radici, vincolato ad un operatore, e all'utilizzo dell'acqua. Infatti, la pulizia delle radici dal

Le radici scannerizzate sono state inserite in sacchetti separando ogni campione.

Ripetuto lo stesso lavoro per tutti i campioni, si è proceduto inserendo le radici in stufa per valutare il peso delle radici secche. Per questo rilievo è stata necessaria una bilancia di precisione con risoluzione di 0,0001 g. Il peso delle radici secche è stato rapportato con il peso secco dei campioni, così che i parametri potessero essere standardizzati sulla base delle variazioni di peso dei campioni, calcolando la densità in peso delle radici (g

pane di terra prevede l'utilizzo di grandi quantità d'acqua, che poi non vengono reimpiegate in alcun modo. Mi auguro che i risultati ottenuti da questo e da altri lavori simili permettano in futuro di ridurre il consumo di acqua in campo, e che quindi venga recuperata quella persa in laboratorio per l'analisi scientifica.

5 RISULTATI

5.1 I risultati di Roma e Rende

5.1.1 Diametro Medio per Profondità

Il primo parametro oggetto di studio è stato il diametro medio radicale. Questo, in relazione alla profondità, mostra risultati statisticamente significativi solamente a Rende, con le radici più superficiali che appaiono di diametro maggiore rispetto a quelle più profonde. Nell'oliveto di Roma si riscontra comunque una tendenza a radici con diametro superiore nei primi centimetri di suolo ed inferiore nelle porzioni di suolo più profonde (fig. 12).

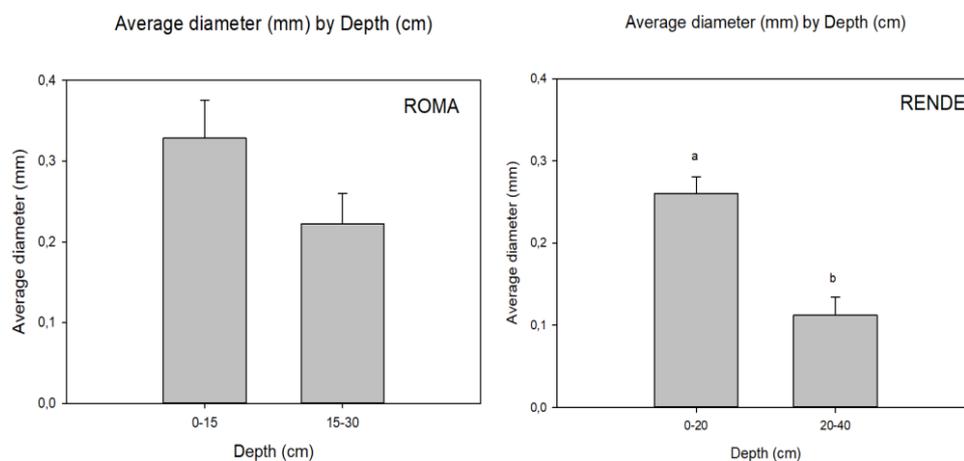


Figura 13: Diametro Medio per profondità

5.1.2 Diametro Medio per Distanza dal tronco

Non emergono differenze di diametro medio statisticamente rilevanti in relazione alla distanza dalla pianta. Appare comunque chiara la tendenza a radici più grandi in prossimità del tronco, radici con diametro minore in allontanamento da questo (fig. 13).

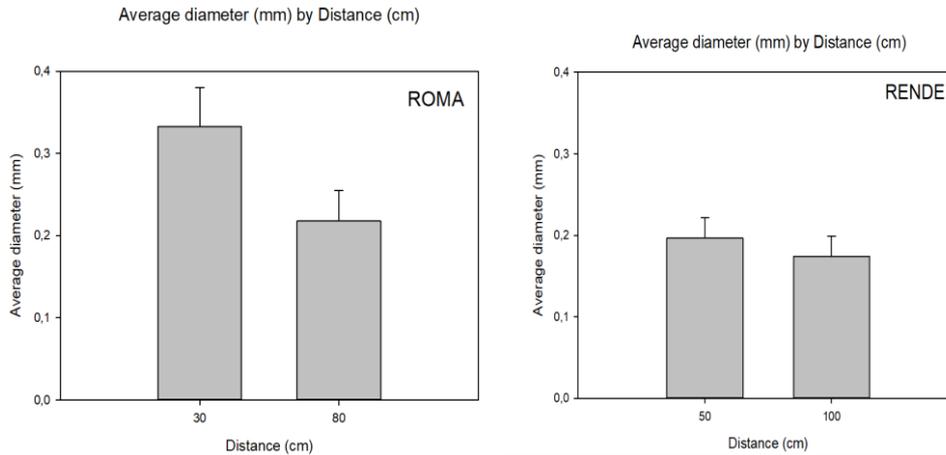


Figura 14: Diametro Medio per Distanza dal tronco

5.1.3 Densità di Lunghezza Radicale (R.L.D.) per Profondità

Il secondo parametro analizzato è stata la densità di lunghezza radicale, R.L.D.. Questa rappresenta il rapporto tra la lunghezza totale delle radici del campione ed il peso del campione di suolo. Sono emerse differenze rilevanti in entrambe le località. Le radici di olivo erano maggiormente concentrate nei primi centimetri di suolo (fig. 14).

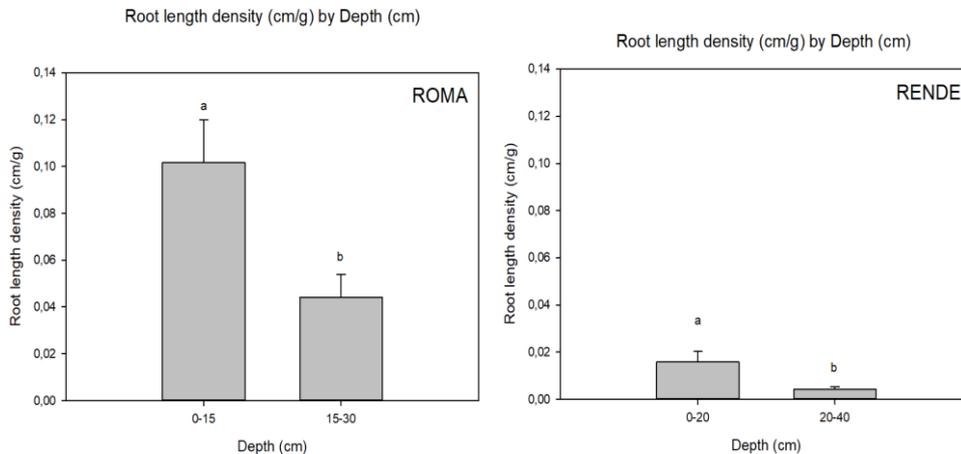


Figura 15: R.L.D. per Profondità

5.1.4 Densità di Lunghezza Radicale (R.L.D.) per Distanza dal tronco

Per lo stesso parametro R.L.D. non è emersa una differenza significativa rispetto alla distanza dal tronco (fig. 15).

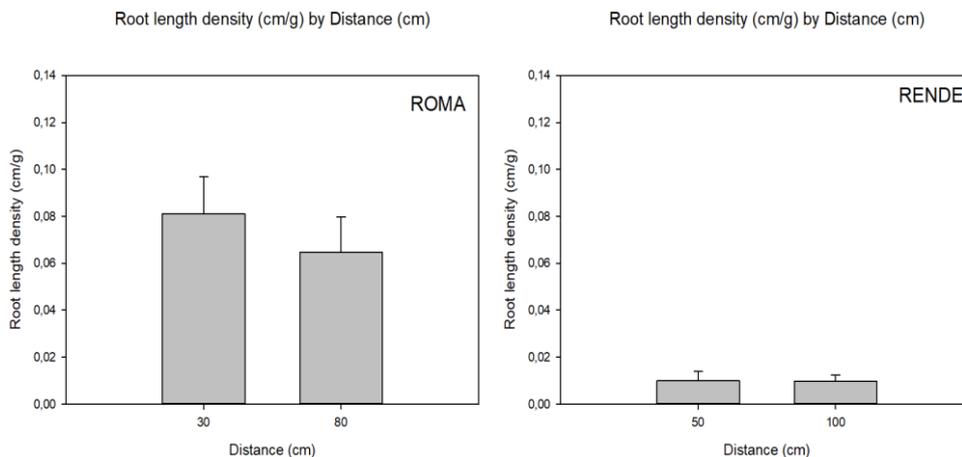


Figura 16: R.L.D. per Distanza dal tronco

5.1.5 Densità di Lunghezza Radicale (R.L.D.) per Posizione

La densità di lunghezza radicale appare statisticamente superiore in direzione della fila che dell'interfila nella prova di Rende. La stessa verifica, nel campo di Roma, non porta risultati significativi (fig. 16).

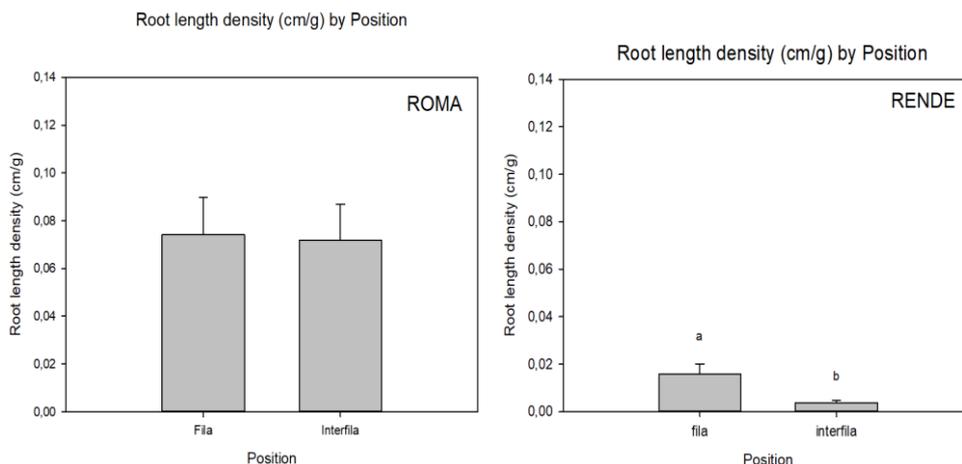


Figura 17: R.L.D. per Posizione

5.2 I risultati di Agugliano

5.2.1 Diametro Medio per Profondità

I risultati ottenuti nella sperimentazione di Agugliano mostrano come ci sia una differenza significativa nel diametro medio delle radici nell'interfila misurato alle due diverse profondità. Le radici raccolte nello strato più superficiale del terreno (0-20 cm) appaiono di diametro significativamente maggiore rispetto a quelle più profonde (20-40 cm). La stessa analisi non ha riportato differenze significative nei campioni raccolti lungo la fila (fig. 17).

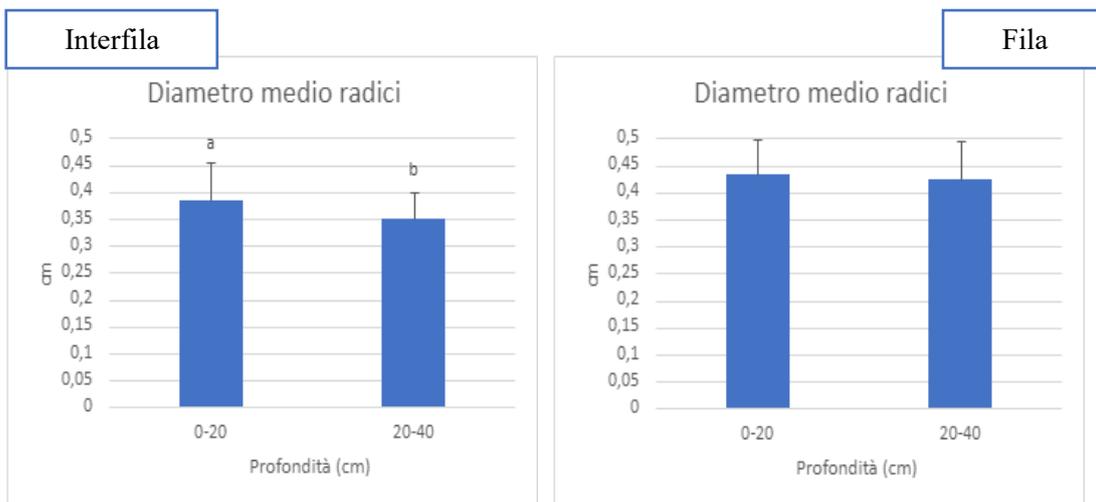


Figura 18: Diametro Medio per Profondità

5.2.2 Diametro Medio per Distanza dal tronco

All'aumentare della distanza dal tronco, il diametro medio delle radici decresce significativamente nell'interfila. Lungo la fila si osserva una tendenza ad avere radici di dimensioni maggiori nei campioni estratti più vicini alle piante (fig. 18).

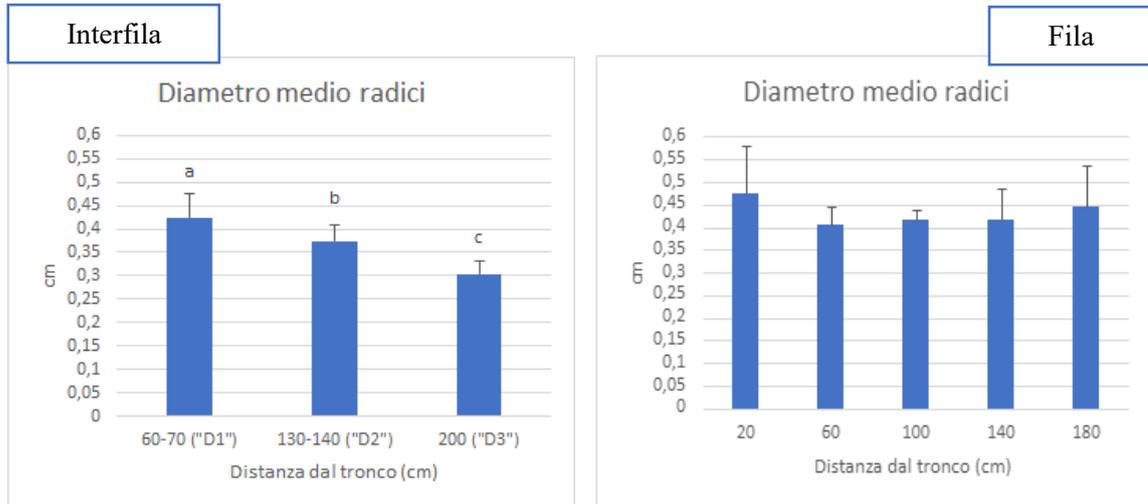


Figura 19: Diametro Medio per Distanza dal tronco

5.2.3 Densità di Lunghezza Radicale (R.L.D.) per Profondità

Per quanto riguarda la densità di lunghezza radicale, i rilievi effettuati sia nell'interfila che lungo la fila mostrano valori significativamente più elevata nei primi centimetri di suolo rispetto a quelli dei centimetri più profondi (fig. 19).

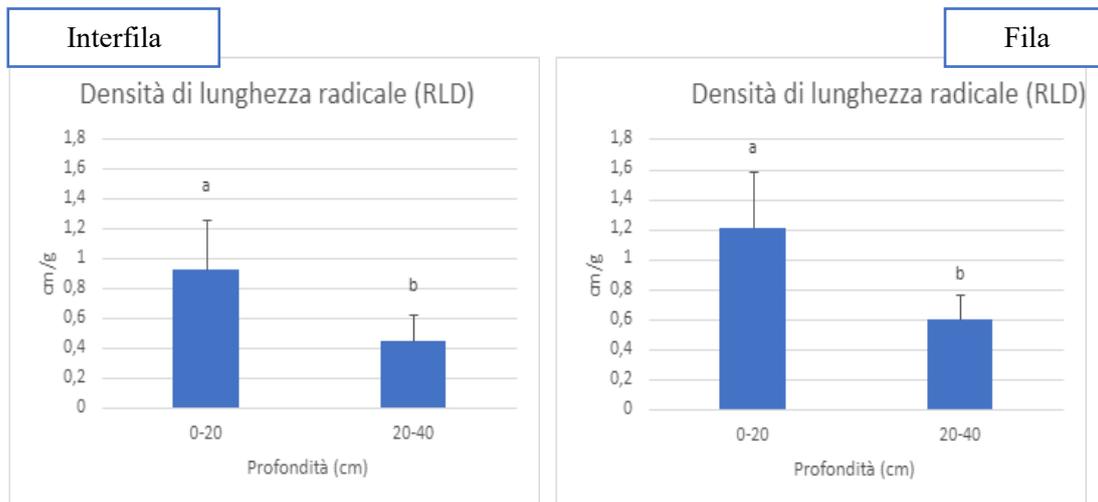


Figura 20: R.L.D. per Profondità

5.2.4 Densità di Lunghezza Radicale (R.L.D.) per Distanza dal tronco

Rispetto alla distanza dal tronco, non si osservano differenze rilevanti né nell'interfila né lungo la fila per quanto riguarda la densità di lunghezza radicale. Tuttavia, è evidente una tendenza alla riduzione del valore di questo parametro in allontanamento dalla pianta sia lungo il filare che nell'interfila (fig.20).

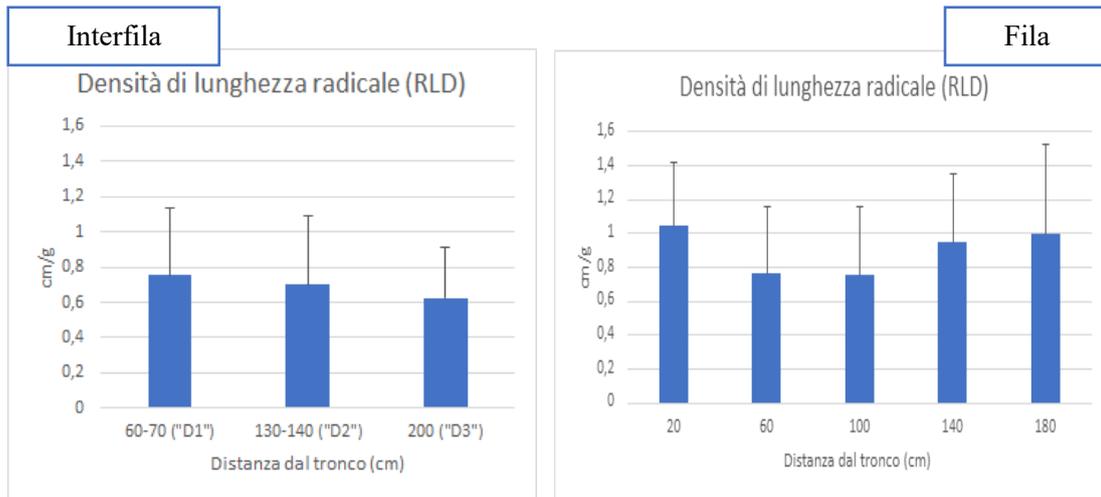


Figura 21: R.L.D. per Distanza dal tronco

6 DISCUSSIONE

I risultati ottenuti riguardano un campionamento, quindi una rappresentazione statica della distribuzione delle radici. Per avere un quadro migliore, dinamico, sarebbe opportuno ripetere le stesse analisi nei prossimi anni, così che si possa monitorare l'accrescimento nel tempo degli apparati radicali.

6.1 Discussione dei risultati

6.1.1 *Roma e Rende*

I risultati delle prove di Roma e di Rende hanno andamenti simili tra loro. In entrambi i casi si osserva una tendenza generalizzata ad avere radici di diametro maggiore negli strati più superficiali di terreno e nelle zone più vicine al tronco della pianta che in quelle più distanti.

La densità di lunghezza radicale appare maggiore nei primi centimetri di terreno, mentre non è ben chiaro l'andamento di questo parametro in relazione alla distanza dal tronco.

Differenze significative del parametro R.L.D. rispetto alla posizione sono emerse solamente a Rende, come effetto, probabilmente, del clima più siccitoso rispetto a quello dell'altro sito. La stessa diversità, infatti, non è stata verificata a Roma.

Sia i valori assoluti del diametro medio radicale che quelli della R.L.D. risultano più elevati a Roma che a Rende. Tale rilevante differenza potrebbe essere spiegata in base ai diversi tempi di piantagione, oltre che alle diverse caratteristiche di clima e di terreno nelle due prove. Infatti, l'oliveto di Roma è stato impiantato due mesi prima rispetto a quello di Rende. Gli alberi siti a Roma potrebbero aver sfruttato questi ulteriori sessanta giorni con temperature del suolo ancora favorevoli per lo sviluppo del loro apparato radicale.

6.1.2 *Agugliano*

La prova di Agugliano porta risultati non contrastanti rispetto a quelli ottenuti a Roma e Rende.

Se si analizza l'interfila, le piante hanno posizionato radici di diametro più elevato negli strati più superficiali di terreno, in funzione anche di una densità di lunghezza radicale maggiore.

In allontanamento dalla pianta il diametro radicale diminuisce significativamente, mentre non altrettanto rilevante è la diminuzione della densità di lunghezza radicale. Questo potrebbe indicare la presenza di una maggiore quantità di radici assorbenti nelle zone più periferiche e di radici strutturali più grandi nelle zone più prossime al tronco. Allo stesso tempo, il transito delle macchine da lavoro e la presenza dell'inerbimento potrebbero aver ostacolato la costruzione di radici di diametro elevato nelle aree più distanti dal tronco. Il transito dei mezzi potrebbe aver determinato un maggior compattamento del terreno, creando così zone di suolo più difficili da penetrare per le radici: le piante avrebbero incontrato difficoltà nell'espansione dei diametri radicali in queste aree.

Lungo il filare si sono ottenute evidenze meno marcate.

La densità di lunghezza radicale è apparsa invece significativamente superiore negli strati più superficiali del terreno lungo il filare.

Si riscontra una tendenza alla diminuzione della densità radicale in allontanamento dalla pianta anche lungo il filare. Il grafico relativo a questo parametro ha un andamento ad "U", con i valori massimi a valle e a monte in prossimità delle piante ed il valore minimo a 100 cm di distanza da entrambi gli alberi. L'assenza di un picco a metà della distanza tra due piante contigue potrebbe indicare che i due apparati radicali tendenzialmente non si sovrappongono. Questo difficilmente indica che le radici non riescono a svilupparsi oltre 1 m di distanza dal tronco (tanto che nell'interfila sono state estratte radici anche alla distanza 3, a circa 2 m dal tronco); più verosimilmente, l'arresto dello sviluppo radicale a metà tra due piante di olivo potrebbe essere dovuto a possibili fenomeni allelopatici tra alberi della stessa specie.

La densità di lunghezza radicale non sembra essere stata influenzata dalla presenza degli irrigatori lungo la fila. Difatti, il parametro R.L.D. è apparso molto simile nella fila e nell'interfila alla distanza di 60cm dal tronco: un risultato analogo a quello ottenuto nell'oliveto di Roma.

6.2 Considerazioni generali

I risultati di Roma ed Agugliano mostrano una maggiore indipendenza della pianta dalla presenza dell'irrigazione antropica. Gli apparati radicali in questi due casi si sono sviluppati sia in direzione della fila che dell'interfila, senza che ci fosse mai una preferenza statisticamente rilevante (parametro R.L.D. in base alla posizione). Diversamente, nel caso di

Rende, la pianta sembra preferire uno sviluppo radicale principalmente in prossimità dell'ala gocciolante. Tale peculiarità potrebbe essere spiegata se si considerano le differenze climatiche dei diversi areali. La città in cui si sviluppa l'oliveto calabro è caratterizzata da una minore piovosità e da temperature più elevate rispetto a quelle marchigiana o laziale. In climi più asciutti, come quello di Rende, la pianta appare più dipendente dall'ala gocciolante rispetto a quanto accade più a nord, in cui le piante risultano più indipendenti.

La tendenza allo sviluppo di radici negli strati più superficiali di terreno appare chiara in tutte e tre le prove; risultano invece poco esplorate le zone più profonde.

Tale distribuzione degli apparati sembra indipendente dalla presenza dell'ala gocciolante o dalle differenze di clima. Questo potrebbe indicare una predisposizione genetica della cultivar Maurino allo sviluppo di radici soprattutto negli strati superiori di terreno.

Allo stesso modo, sembra evidente la tendenza ad avere radici con diametro maggiore in prossimità della pianta. Questo rappresenta una prova di come la pianta posizioni le radici assorbenti, quelle con diametro minore, in allontanamento dal tronco.

Nella sperimentazione di Agugliano è stato valutato sia l'accrescimento ad est della fila che quello ad ovest. I grafici di questa analisi non sono stati riportati perché non si sono riscontrate differenze significative. Le concimazioni alternate da un lato e dall'altro della fila non hanno quindi determinato preferenze nella crescita dell'apparato, che si è sviluppato ugualmente in entrambe le direzioni nell'interfila.

In conclusione, nelle prove di Agugliano e di Roma, dove il clima è più favorevole allo sviluppo di piante arboree, la disposizione dell'apparato ipogeo rispetta i canoni di sviluppo tipici: l'accrescimento appare planare, centrifugo e radiale. Nella prova di Rende, in cui le precipitazioni rappresentano un parametro limitante, non è stato rispettato il vincolo della radialità: la direzione prevalente per la crescita dell'apparato risulta quella parallela alla tubazione dell'irrigazione; è sfavorita la crescita in direzione dell'interfila. Tali risultati andranno comunque confermati da rilievi in annate successive per verificare lo sviluppo radicale.

7 CONCLUSIONI

Spetta alla ricerca il compito di approfondire le conoscenze nel settore agricolo, con l'obiettivo di un utilizzo più mirato delle risorse ed un aumento delle produzioni a parità di superficie disponibile e di impieghi. Una conoscenza più specifica dell'apparato ipogeo delle piante in produzione potrebbe rispondere ad entrambe queste esigenze.

Nell'ottica di ridurre gli sprechi idrici, lo studio dell'apparato radicale in impianti ad alta densità potrebbe permettere un posizionamento più mirato dei gocciolatori per la fertirrigazione, quindi un minor utilizzo di acqua e di molecole fertilizzanti a parità di produzione.

Dal presente studio risulta come, in impianti di olivo ad alta densità che si accrescono in zone mediamente piovose, l'apparato radicale si sviluppi anche nell'interfila oltre che sulla fila dotata di irrigazione localizzata a goccia. Le radici sono presenti già dai primi anni di impianto a 80-100 cm di distanza dal tronco e alla profondità di 20-40 cm (assunto che la tessitura del terreno sia adatta), dove si sviluppa una notevole densità radicale negli anni successivi. Questo rende l'impianto di irrigazione efficiente anche se interrato alla fine del primo anno a 30 cm di profondità e a 40 cm dal tronco, in quanto le radici possono superare facilmente questa distanza.

La distribuzione delle radici in un impianto maturo di olivo ad alta densità conferma che queste si distribuiscono in modo abbondante anche nell'interfilare. Tuttavia, il posizionamento sul filare mostra come piante di olivo prossime non mescolino le proprie radici: ad un metro dal tronco si ha una densità radicale inferiore a quella che si ritrova a 20 cm dall'albero.

Inoltre, nella progettazione di un impianto, la conoscenza del reale sviluppo delle radici in situ potrebbe fornire indicazioni preziose per calcolare la porzione di terreno da riservare ad ogni pianta, quindi il sesto ottimale del nuovo oliveto. In questo modo si potrebbero ottimizzare gli spazi in campo, senza arrecare danno alle produzioni.

Nonostante negli ultimi due decenni sia stata data una crescente importanza allo studio del suolo e della radice (Ephrath et al., 2020), le conoscenze che si hanno sugli apparati radicali delle piante da frutto in impianti ad alta densità sono ancora scarse ed andrebbero approfondite ulteriormente. Lo studio appena affrontato si pone in quest'ottica, nella speranza che in futuro potranno proseguire ricerche simili a questa sempre più accurate.

BIBLIOGRAFIA

- Alfei, B., Pannelli, G. & Ricci, A., 2013. *Olivicoltura Coltivazione, olio e territorio*. I a cura di Milano: Edagricole.
- Allen, R. G., Pereira, L. S. & Raes Dirk, S. M., 2006. Paper No. 56 - Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). *FAO Irrigation e Drainage*.
- Allen, R. G., Pereira, L. S. R. D. & Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - Paper 56. *FAO Irrigation and Drainage*.
- Angelini, R., 2009. *L'ulivo e L'olio*. s.l.:ART Servizi Editoriali.
- Azienda Agraria, C., 2021. *PIANO STRATEGICO 2021-2023 AZIENDA AGRARIA DIDATTICO-SPERIMENTALE ORTO BOTANICO "SELVA DI GALLIGNANO" UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE*, Ancona: s.n.
- Baldini, E., 1986. *Arboricoltura generale*. Bologna: CLUEB.
- Baluska, F., Lev-Yadum, S. & Mancuso, S., 2010. Swarm intelligence in plant roots. *Ecology and Evolution*.
- Briones, O., Montana, C. & Ezcurra, E., 1996. Competition between three Chihuahuan desert species: evidence from plant size-distance relations and root distribution. *Journal of Vegetation Science*.
- Carneiro Barbosa, L. et al., 2018. Soil texture affects root penetration in Oxisols under sugarcane in Brazil. *Geoderma Regional*.
- Casavecchia, S., a.a. 2019-2020. *Corso di Biologia Vegetale*. Ancona: UNIVPM.
- Cocco, S., a.a. 2021-2022. *Corso di Pedologia Agraria*. Ancona: UNIVPM.
- Cola, M. & Sarnari, T., 2020. LA COMPETITIVITA' DELLA FILIERA OLIVICOLA. Analisi della redditività e fattori determinanti. *ReteRuraleNazionale20142020*.
- Correa-Tedesco, G., Rousseaux, M. C. & Searles, P. S., 2010. Plant growth and yield responses in olive (*Olea europaea*) to different irrigation levels in an arid region of Argentina. *Agricultural Water Management*.

- CREA, 2021. *L'AGRICOLTURA ITALIANA CONTA 2020*, Roma: s.n.
- Dexter, A. R., 2004. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on Root Growth. *GEODERMA*.
- Ephrath, J. E., Klein, T., Sharp, R. E. & Lazarovitch, N., 2020. Exposing the hidden half: root research at the forefront of science. *Plant Soil*.
- Evert, R. F. & Eichhorn, S. E., 2018. *La biologia delle piante di Raven*. VII a cura di Bologna: Zanichelli.
- Famiani, F. & Gucci, R., 2011. MODERNI MODELLI OLIVICOLI. *Accademia Nazionale dell'Olio e dell'Olio Spoleto*.
- Farinelli, D. et al., 2002. Impollinazione incrociata nelle varietà di olivo. *Frutticoltura*.
- Farooq, T. H. et al., 2019. Growth, Biomass Production and Root Development of Chinese fir in Relation to Initial Planting Density. *forests*.
- Fernandez, J. E., Moreno, F., Martin-Aranda, J. & Rapoport, H. F., 1994. Anatomical response of olive roots to dry and irrigated soils. *Adv. Hort. Sci.*
- Ferretto, S., 2016. *VALUTAZIONE DI ACCESSIONI DI OLIVO SICILIANE AI FINI DELL'INDIVIDUAZIONE DI GENOTIPI ADATTI AD IMPIANTI SUPERINTENSIVI ALLA PRODUZIONE DI OLI FUNZIONALI*. Università degli Studi di Palermo, Dipartimento Scienze Agrarie e Forestali: s.n.
- Fernandez, J. E. & Moreno, F., 2008. Water Use by the Olive Tree. *Journal of Crop Production*.
- Giorgi, V., 2007. *Plasticità radicale: risposte allo stress osmotico e alla presenza di residui organici - Tesi di dottorato*. D3A, UNIVPM Ancona, IT: s.n.
- Guichard, M., Allain, J.-M., Bianchi, M. W. & Frachisse, J.-M., 2019. Root Hair Sizer: an algorithm for high throughput recovery of different root hair and root developmental parameters. *Plant methods*.
- Harris, J. M., 2015. Abscisic Acid: Hidden Architect of Root System Structure. *plants*.
- Hecht, V. L. et al., 2019. Plant density modifies root system architecture in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) through a change in nodal root number. *Plant Soil*.
- Hecht, V. L. et al., 2016. Sowing Density: A Neglected Factor Fundamentally Affecting Root Distribution and Biomass Allocation of Field Grown Spring Barley (*Hordeum Vulgare* L.). *frontiers in Plant Science*.

- I.C.A. & A.P.L.U., 2009. *Water Policy*. Prague, s.n.
- ISMEA, Mercati, s.d. *Bilanci Approvvigionamento*. s.l.:s.n.
- ISMEA, Mercati, s.d. *Clima di Fiducia*. s.l.:s.n.
- ISMEA, Mercati, s.d. *Indice dei Mezzi Correndi di Produzione per l'Olio di Oliva*. s.l.:s.n.
- ISMEA, Mercati, s.d. *Produzione Agricola Totale per Settore di produzione*. s.l.:s.n.
- Jackson, R. B. et al., 2001. WATER IN A CHANGING WORLD. *Ecological Applications*.
- Jones, C. A., 1983. Effect of Soil Texture on Critical Bulk Densities for Root Growth. *Soil Science Society of America Journal*.
- Jury, W. A. & Vaux Jr, H. J., 2007. The Emerging Global Water Crisis: Managing Scarcity and Conflict Between Water Uses. *Advances in Agronomy*.
- Kamel, M. S., 1959. A PHYSIOLOGICAL STUDY OF SHADING AND DENSITY EFFECTS ON THE GROWTH AND THE EFFICIENCY OF SOLAR ENERGY CONVERSION IN SOME FIELD CROPS.
- Ky-Dembele, C. et al., 2010. Clonal Propagation of Detarium microcarpum from Root Cuttings. *Silva Fennica*.
- Lodolini, E. M. et al., 2022. CANOPY AND ROOT GROWTH OF YOUNG OLIVE TREES IN A HIGH-DENSITY ORCHARD. *In stampa*.
- Lodolini, E. M. & Massetani, F., 2020. *L'oliveto familiare*. I a cura di Milano: Edagricole.
- Loescher, W. H., McCamant, T. & Keller, J. D., 1990. Carbohydrate Reserves, Translocation, and Storage in Woody Plant Roots. *HortScience*.
- Lynch, J. M., Brimecombe, M. J. & De Leij, F. A., 2001. Rhizosphere. *eLS*.
- Madigan, M. T. et al., 2016. *BROCK - Biologia dei microrganismi*. XIV a cura di Milano - Torino: PEARSON.
- Marschner, P., 2012. *Mineral nutrition of higher plants*. III a cura di s.l.:s.n.
- Masmoudi Charfi, C. & Mechelia, N. B., 2004. Irrigation de l'Olivier: Cas des jeunes plantations intensives. *ResearchGate*.
- Masmoudi-Charfi, C., Masmoudi, M. & Ben Mechlia, N., 2011. Root distribution in young Cheétoui olive trees (*Olea europaea* L.) and agronomic applications. *Adv. Hort. Sci.*
- Murmotsev, I. A., 1984. Active Parts of Root System of Fruit Plants.

- Nadezhkina, N. et al., 2014. Water uptake and hydraulic redistribution under a seasonal climate: long-term study in a rainfed olive orchard. *Ecohydrology*.
- Neri, D., a.a. 2020-2021. *Corso di Arboricoltura Generale*. Ancona: UNIVPM.
- Neri, D. & Savini, G., 2006. Crescita e struttura radicale della fragola: impatto dei residui organici. *Italus Hortus*.
- Neri, D., Sugiyama, N. & Inujima, A., 2005. Effects of Organic Residues on Strawberry Root Growth. *Internationa Journal of Fruit Science*.
- Nicoli, F. et al., 2019. Properties of 15 Italian *Olea europaea* L. Cultivar Leaves. *molecules*.
- Noirot-Gros, M.-F. et al., 2018. Dynamics of Aspen Root Colonization by *Pseudomonas* Reveals Strain Specific and Mycorrhizal-Specific Patterns of Biofilm Formation. *frontiers in Microbiology*.
- Novoplansky, A., 2019. What plant roots know?. *Seminars in Cell & Developmental Biology*.
- Palese, A. M. et al., 2000. THE INFLUENCE OF SOIL WATER CONTENT ON ROOT DENSITY IN YOUNG OLIVE TREES. *Acta Hort*.
- Perez-Lopez, D. et al., 2007. The effect of irrigation schedules on the water relations and growth of a young olive (*Olea europaea* L.) orchard. *ScienceDirect*.
- Polverigiani, S. et al., 2013. Effect of Four Different Soil Management Techniques on Apple Root Development.
- Polverigiani, S., Massetani, F., Tarragoni, A. & Neri, D., 2013. Apricot Root Development and Morphology as Influenced by Mulching and Multispecies Ground Cover. *Acta Hort*.
- Polverigiani, S., Mueller, C. W., McCormack, M. L. & Essenstat, D. M., 2011. Growth and physiology of olive pioneer and fibrous roots exposed to soil moisture deficits. *Tree Physiology*.
- Porfirio, S. et al., 2016. Reviewing current knowledge on olive (*Olea europaea* L.) adventitious root formation. *Scientia Horticulturae*.
- Proietti, P., Nasini, L. & Ilarioni, L., 2012. Photosynthetic behavior of Spanish Arbequina and Italian Maurino olive (*Olea europaea* (L.) cultivars under super-intensive grove conditions. *PHOTOSYNTHETICA*.
- Proietti, P. & Regni, L., 2019. MANUALE PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEGLI OLIVETI. *olive4climate*.

- Ranganathan, J., Waite, R., Searchinger, T. & Hanson, C., 2018. How to Sustainably Feed 10 Billion People by 2050, in 21 Charts. *WORLD RESOURCES INSTITUTE*.
- Rapoport, H. F. F. A. & Sebastiani, L., 2016. Abstract of the chapter "The olive Tree Genome". In: *Olive Biology. Part of the Compendium of Plant Genomes*. s.l.:Springer.
- Sansavini, S. et al., 2020. *Arboricoltura generale*. I a cura di Bologna: Pàtron Editore.
- Santilocchi, R., a.a. 2020-2021. *corso di Agronomia Generale*. Ancona: UNIVPM.
- Santilocchi, R., a.a. 2021-2022. *Corso di Tappeti Erbosi*. Ancona: UNIVPM.
- Schiefebeina, J. W. & Benfey, P. N., 1991. The Development of Plant Roots: New Approaches to Underground Problems. *The Plant Cell*.
- Schneider, H. M. & Lynch, J. P., 2020. Should Root Plasticity Be a Crop Breeding Target?. *frontiers in Plant Science*.
- Sequi, P., Ciavatta, C. & Milano, T., 2017. *Fondamenti di chimica del suolo*. I a cura di Bologna: Pàtron Editore.
- Sorogonà, A., Proto, A. R., Abenavoli, L. M. & Di Iorio, A., 2018. Spatial distribution of coarse root biomass and carbon in a high-density olive orchard: effects of mechanical harvesting methods. *Trees*.
- Tarragoni, A., a.a. 2013-2014. *ARCHITETTURA DELLA PIANTA E FERTILITA' DELL'OLIVO IN COLTURA INTENSIVA*. Ancona: UNIVPM.
- Trewavas, A., 2005. Plant intelligence. *Naturwissenschaften*.
- W.W.F., s.d. *WATER SCARCITY*. [Online]
Available at: <https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>
- Williamson, J. G., Coston, D. C. & Cornell, J. A., 1992. Root Restriction Affects Shoot Development of Peach in a High-density Orchard. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*.
- Wu, G.-L. et al., 2020. Trade-off between vegetation type, soil erosion control and surface water in global semi-arid regions: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*.
- Zucconi, F., 1997. *Declino del suolo e stanchezza del terreno*. I a cura di Padova: Spazio Verde.
- Zucconi, F., Neri, D., Brunzini, L. & Sabbatini, P., 1996. *Nanizzazione delle piante arboree*. I a cura di Padova: Spazio Verde.

Ringraziamenti

Sono molto grato di aver avuto un'opportunità di crescita professionale così importante.

Colgo l'occasione per ringraziare il professor Neri e soprattutto i suoi collaboratori: Veronica, Monica, Matteo, Samuele, Arash e Marco che, gentili ed appassionati del loro lavoro, mi hanno accompagnato con pazienza e spensieratezza in questa attività di ricerca.