



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**EFFETTO DELL'AMBIENTE E DEL  
PORTINNESTO SULLO SVILUPPO  
RADICALE DEL PERO**

TESI SPERIMENTALE

Studente:  
Fabrizio Manzone

Relatore:  
PROF. DAVIDE NERI

Correlatore:  
DOTT.SSA VERONICA GIORGI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

*Alla mia famiglia  
ai miei genitori, esempio di vita.  
Ai miei fratelli e ai miei nipoti  
A chi mi dà amore e a chi dall'alto mi protegge  
ad Alessia che mi è sempre stata vicino  
a Fabrizio, grande amico e collega che ha  
condiviso con me questa fantastica esperienza.  
Ai miei pensieri, a com'ero ieri  
e anche per me.*

# SOMMARIO

PREMESSA.....	4
1. INTRODUZIONE .....	5
1.1 La Situazione attuale della coltivazione del pero.....	5
1.1.1 Evoluzione della tecnica colturale.....	6
1.1.2 Il paesaggio della coltura intensiva.....	9
1.2 Il problema: il decadimento del pero.....	10
1.2.1 I cambiamenti climatici.....	12
1.2.2 L'irrigazione nelle specie arboree da frutto.....	15
1.2.3 Irrigate.....	16
1.3 Il sistema radicale.....	17
1.3.1 Le funzioni.....	18
1.3.2 Tipi di radici.....	19
1.3.3 Assorbimento minerale e territorio radicale.....	21
1.3.4 Crescita della radice ed espansione radicale.....	23
1.4 Il pero.....	25
1.4.1 La varietà Abate.....	26
1.4.2 L'importanza del portinnesto.....	27
1.4.3 I portinnesti in esame.....	28
2. OBIETTIVI DELLA TESI.....	31
3. MATERIALI E METODI.....	32
4. RISULTATI.....	38
5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONE.....	46
BIBLIOGRAFIA.....	48

## PREMESSA

Il deperimento delle piante di pero risulta un fenomeno assai diffuso e in continua espansione, in particolare in Emilia-Romagna dove la pericoltura trova l'ambiente ideale per il raggiungimento di standard quali-quantitativi elevati. I fattori che determinano questa moria sono vari ma non ancora accertati. Il problema si presenta dunque complesso, le cause ipotizzate non sono certe e meritano un adeguato approfondimento, non esiste un unico responsabile, ma una serie di fattori che interagiscono tra di loro ad amplificarne la sintomatologia. Tra questi hanno influenza certamente gli eventi anomali dovuti al cambiamento climatico in corso e la gestione idrica e nutrizionale legata al portinnesto utilizzato. In questa tesi ci si soffermerà su plausibili cause che determinano il fenomeno con particolare riferimento al portinnesto utilizzato e allo sviluppo radicale, al fine di rendere note informazioni utili alla risoluzione del problema. La tesi si inserisce in un più ampio lavoro sperimentale che ha l'obiettivo di stendere linee guida al fine di consentire ai produttori la realizzazione di nuovi impianti di pero e la gestione di quelli già esistenti in un'ottica di risparmio idrico (a seguito dell'estesa siccità che ha colpito la regione nel 2022) e contemporaneamente limitando l'incidenza della moria delle piante.

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 Situazione attuale della coltivazione del pero

Originario dell'Asia occidentale, dove è ancora presente in forma spontanea, il pero è oggi coltivato in forma intensiva in gran parte del globo ed in Europa, soprattutto in Italia, Spagna, Francia e Germania. Nel 2018 la produzione mondiale di pere è stata di 23,2 Mt su una superficie coltivata di 1,3 milioni di ettari (fonte: FAOSTAT), a livello europeo, la cultivar principale è la Conference, che in media nel quinquennio 2015-2019, ha rappresentato il 42% di tutta la produzione, seguita da Abate Fétel con il 13% e Williams 12%. La coltivazione del pero riveste, in Italia, un'importanza fondamentale, non solo per la quantità delle produzioni e delle superfici investite, ma anche per i riflessi di carattere economico e sociale che direttamente sono ad esse collegate (Bargioni,1965). Le produzioni, infatti, si attestano per una cifra pari a 625.720,100 t su una superficie coltivata di 28 000 ettari (fonte: Istat, 2020). Le pere di produzione italiana sono disponibili sul mercato praticamente tutto l'anno, con varietà estive come William, Coscia, Guyot, Santa Maria e Max Red Bartlett, ed autunnali, quali Abate Fétel, Decana del Comizio, Conference, Rosada, Packam's e Kaiser. L'invernale Passacrassana ha subito un notevole declino ed oggi occupa una posizione marginale. Nel 2019, due cultivar, Abate Fétel (37%) e Williams (27%), rappresentavano il 64% della produzione di pere; questa mancanza di innovazione di cultivar è comune a tutti i paesi dove viene coltivata questa specie, ed ha portato ad un “ristagno varietale” dettato soprattutto dalle esigenze del consumatore che si dimostra fedele alle cultivar tradizionali. (Musacchi, et al., 2021).

L'Emilia-Romagna è la regione certamente più vocata per la pericoltura, con la cultivar Abate Fétel che trova nel territorio compreso tra le provincie di Ferrara, Modena e Bologna un ambiente di coltivazione particolarmente adatto e tale da permettere il raggiungimento di livelli produttivi e qualitativi difficilmente ottenibili in altri areali di coltivazione (Musacchi, 2007). Nella tabella 1 sono riportati i dati riguardanti l'influenza della coltivazione del Pero

nella regione e la relativa incidenza economica, sottolineando il confronto tra le annate 2019 e 2020.

**Tabella 1: Produzione lorda vendibile dell'Emilia-Romagna, anni 2019-2020 - valori a prezzi correnti**

Fonte: (Fanfani & Boccaletti, 2021)

Produzioni vegetali	Produzioni			Prezzi			P.L.V.		
	(000 t.)		%	(euro/100 kg)		%	(milioni di euro)		%
	2019	2020		2019	2020		2019	2020	
<b>COLTURE FRUTTICOLE:</b>									
Mele	174,9	157,7	-9,8	48,00	56,00	16,7	541,20	543,29	0,4
Pere	260,0	408,7	57,2	80,00	62,50	-21,9	207,99	255,43	22,8
Pesche	93,4	33,8	-63,9	27,00	70,00	159,3	25,21	23,63	-6,3
Nettarine	165,0	31,3	-81,1	26,50	75,00	183,0	43,72	23,45	-46,4
Albicocche	100,2	9,8	-90,3	33,00	90,00	172,7	33,06	8,78	-73,4
Ciliegie	9,7	8,8	-9,2	310,00	400,00	29,0	29,98	35,13	17,2
Susine	83,1	26,7	-67,8	28,00	60,00	114,3	23,27	16,03	-31,1
Actinidia	68,1	51,6	-24,2	85,00	100,00	17,6	57,89	51,62	-10,8
Loto o kaki	21,0	18,2	-13,6	35,00	42,50	21,4	7,36	7,72	4,9
Altra frutta							28,75	33,17	15,4
Altri (mosti e olio d'oliva)							28,16	32,92	16,9
<b>TOTALE coltivazioni arboree</b>							<b>895,13</b>	<b>899,51</b>	<b>0,5</b>

### 1.1.1 Evoluzione della tecnica colturale

Per capire come sta cambiando la pericoltura e il ruolo dell'introduzione dei moderni mezzi strumentali di rilevamento e di supporto tecnologico, occorre una breve retrospettiva su un processo di cambiamento della frutticoltura iniziato cinquanta-sessanta anni fa, ma non ancora concluso. In contrapposizione ai benefici apportati alle aziende che hanno saputo modernizzarsi, ha accentuato le difficoltà delle aziende che non si sono tempestivamente rinnovate, fino a rendere ormai irricognoscibile il volto degli impianti di ieri rispetto agli odierni (Georgofili, 2014). Negli ultimi anni, infatti, la tecnica colturale del pero ha subito notevoli innovazioni, le quali hanno determinato cambiamenti che hanno portato a un aumento della produzione e ad uno stravolgimento del paesaggio agrario. Gli impianti tradizionali erano, infatti, caratterizzati da piante di grandi dimensioni, che venivano mantenute in vita per molto tempo, ma che richiedevano anche molti anni prima di concludere la loro formazione e quindi prima di entrare in piena produzione (Massetani, et al., 2019), inoltre i sestri di impianto poco densi, permettevano una notevole espansione della chioma, che rendeva difficoltosa

l'esecuzione da terra delle principali operazioni colturali, con la necessità, conseguentemente, di molta manodopera (costi elevati). Tutto questo, però, portava ad una grande stabilità strutturale dell'albero, che non necessitava, durante il periodo produttivo, di alcun sostegno. La notevole vigoria dell'apparato radicale, data dall'utilizzo di portinnesti franchi, conferiva infatti, oltre ad un buon ancoraggio al suolo, un alto grado di autonomia a livello idrico e nutritivo e una maggiore tolleranza agli stress abiotici permettendo dunque, una gestione a basso impatto ambientale. Nei tempi odierni, si assiste in generale, ad un aumento della densità di impianto nei frutteti di pere, con l'introduzione di portinnesti nanizzanti (tabella 2). Soprattutto in Europa, infatti, c'è stata una graduale intensificazione dovuta all'uso di melo cotogno come ipobionte, caratterizzato da limitato vigore che, unito alla plasticità del pero, permette di modellare l'albero in diverse forme, creando una notevole variabilità di sistemi di impianto. . La possibilità di creare impianti con caratteristiche diverse rende molto plastica la coltura del pero, tuttavia vanno ricercati di volta in volta gli equilibri intrinseci nelle diverse combinazioni d'innesto per ottenere impianti efficienti (Sansavini, et al., 2008).

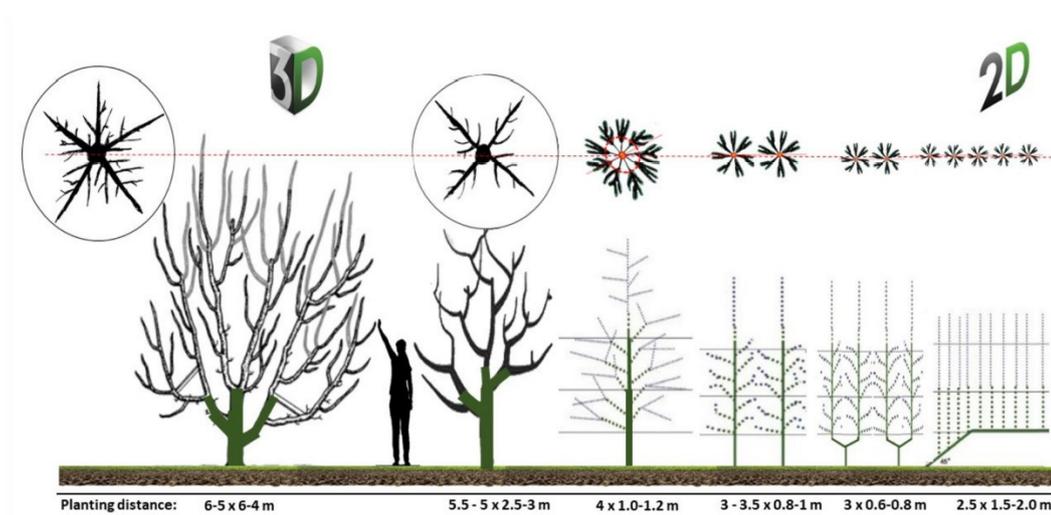
**Tabella 2: Cenni storici sull'evoluzione degli impianti di pero nella Pianura Padana**

Fonte: (Musacchi, et al., 2021)

Density	Trees/ha	Rootstock	Training System
1930s–1940s			
Low	300–500	Seedling	Open Vase and Pyramid
Medium	500–1500	Seedling	Pyramid
High	1000–3000	Local quince	Spindles and horizontal Palmette
Very High	3000–6000	Local quince	Vertical axis
1960s–1970s			
Low	1000–1500	Local quince	Palmette oblique
Medium	1500–3000	Angers and Provence quinces	Irregular Palmette and spindle bush
High	3000–4000	Angers and Provence quinces	Spindle
Very High	>4000	Provence quinces	Spindle
2000s–2020s			
Low	1000–1500	Seedlings, BA29	Free Palmette
Medium	1500–3000	BA29, Sydo, MH	Free Palmette and spindle
High	3000–4000	MH, Adams MC	Spindle, V system
Very High	>4000	MC, Adams	V-system, Vertical axis
Ultra High	>8000	MC	Vertical axis

L'uso di portinnesti nanizzanti, e la relativa intensificazione degli impianti consente di ridurre notevolmente le dimensioni degli alberi (figura 1): ciò rende meno onerosa la fase di allevamento, garantisce una rapida entrata in produzione delle giovani piante, un aumento dell'efficienza produttiva degli alberi e il miglioramento globale della qualità dei frutti (Sansavini, et al., 2008). Il passaggio da una architettura a tre dimensioni (a vaso) ad una

bidimensionale (a parete) ha reso possibile la meccanizzazione delle principali operazioni colturali, sopperendo così, alla carenza di manodopera (Musacchi, et al., 2021). A tale rendimento corrisponde, però, un alto incremento dei costi di impianto e di gestione il cui ammortamento non è detto sia compensato dalla precocità di fruttificazione (Sansavini, et al., 2008), inoltre, in particolare in impianti ad altissima densità (>8000 piante/ha), possono presentarsi ulteriori costi spesso necessari per controllare l'eccessiva crescita degli alberi (taglio radicale, potature straordinarie, uso di brachizzanti, ecc.) e la loro parziale perdita di autonomia.



**Figura 1: Evoluzione del modello architeturale del pero**

Fonte: (Musacchi, et al., 2021)

La riduzione di vigoria dell'apparato ipogeo, inoltre, porta alla presenza di radici più superficiali con minore capacità ad approfondirsi; restano dunque confinate nella parte di terreno più densamente occupata dai residui dei precedenti apparati radicali. Queste condizioni contribuiscono complessivamente a ridurre la probabilità della radice di trovare nicchie di suolo colonizzabile e aumentano la probabilità che la **stanchezza** possa manifestarsi (Zucconi,2003), oltre a diminuire la capacità di intercettare acqua in profondità, rendendo dunque indispensabili apporti idrici nel corso della stagione vegetativa. Portinnesti nanizzanti

e tecniche di gestione del suolo con lavorazioni possono, dunque, indebolire il pero e renderlo più suscettibile a stress (Poni, et al., 1992).

### *1.1.2 Il paesaggio della coltura intensiva*

L'attività agricola, e le pratiche ad esse connesse, hanno subito notevoli mutamenti nel corso della storia, assecondando il processo evolutivo sociale e politico che ha più o meno direttamente, preso parte all'evoluzione del paesaggio agrario. Le tecniche agronomiche utilizzate nelle antiche società, prevedevano un uso temporaneo dei terreni da parte delle popolazioni nomadi e poi l'abbandono quando la fertilità o il clima non erano favorevoli alla crescita delle colture e sostituiti con nuove aree fertili (Santilocchi,1996). L'impatto paesaggistico risultava dunque molto limitato fino allo sviluppo dell'agricoltura permanente quando, con l'avvento delle grandi civiltà, l'ambiente rurale iniziò ad assumere un aspetto più stabile. Il grande mutamento si è verificato nel secolo scorso, quando l'agricoltura è diventata un'attività economica con la stessa dignità degli altri settori produttivi. In sostanza, l'agricoltore ha modificato l'ecosistema per arrivare a produrre derrate alimentari più abbondanti su superfici ridotte. Per fare ciò ha costituito un agro-ecosistema in cui erano presenti numerosissimi individui di una sola specie, o al massimo di un numero limitato di specie (Santilocchi,1996), con le relative differenze, riportate nella tabella 3.

***Tabella 3: Caratterizzazione dell'agroecosistema***

Fonte: (Santilocchi, 1996)

	<b>ECOSISTEMA</b>	<b>AGROECOSISTEMA</b>
Complessità biologica	elevata	ridotta
Cicli biogeochimici	chiusi	aperti
Produttività primaria	ridotta	elevata
Asportazione di biomassa	assente	elevata
Stabilità del sistema	elevata	ridotta
Catena alimentare	lunga	corta
Qualità della biomassa	poco importante	molto importante

Negli ultimi 50 anni, nelle aree più vocate ad ospitare la frutticoltura industriale, si è assistito ad una semplificazione genetica, agronomica ed ecosistemica, che ha portato alla diffusione di ordinamenti monocolturali, tipici delle pianure irrigue e definibili come paesaggi-industria. (Coltura e cultura, 2016)

La ricerca di una continua e costante intensificazione nel modello progettuale degli impianti, e la relativa possibilità di meccanizzazione di questi, hanno stravolto notevolmente il paesaggio frutticolo, provocando la sua affermazione anche in areali considerati, in precedenza, non adatti alla coltivazione o considerati, comunque, come territori a bassa vocazionalità. Dai primi anni del XX secolo, infatti, in molte regioni del nord Italia tra cui l'Emilia-Romagna, si è assistito a grandi opere indirizzate soprattutto al governo delle acque che hanno reso idonee alla coltivazione molte terre di pianura e collina, come è il caso, per il pero, delle argille calanchive delle colline di Brisighella (RA) (Coltura e cultura, 2016). Dalla seconda metà del secolo scorso, con il progresso tecnologico, l'introduzione di fitofarmaci di sintesi e concimi inorganici, impianti di irrigazione e possibilità di copertura degli impianti, la pericoltura Emiliana, assumerà definitivamente i caratteri della specializzazione colturale, destando però preoccupanti limiti economici e ambientali.

## **1.2 Il problema: il decadimento del pero**

Negli ultimi anni, in diverse importanti aziende agricole Emiliane specializzate nella coltivazione del pero, collocate nelle aree più vocate come Modena, Ferrara, Bologna, Ravenna e Reggio Emilia si è assistito ad un esteso deperimento delle piante, in primo luogo non attribuibile a specifiche malattie o parassiti (Figura 2). La problematica ha riguardato in primis la cultivar Abate Fétel che, come precedentemente esplicitato, risulta la più coltivata in regione e dunque, quella con una maggiore incidenza economica e sociale sul comparto frutticolo nazionale, ed è inoltre, quella che è stata più duramente colpita dalle gelate della primavera 2020 (Fanfani & Boccaletti, 2021). L'annata 2020 è stata infatti compromessa sin dagli esordi, tra fine marzo e inizio aprile, quando una serie di ritorni in freddo hanno provocato ingenti danni alle colture, in quanto il gelo ha colpito le piante in uno stadio di sviluppo avanzato e particolarmente sensibile (inizio fioritura), favorito in più da un inverno molto mite, il più caldo registrato in regione insieme al 2007, dal 1961. Situazione analoga nella primavera 2021. L'apparente contraddizione tra aumento delle temperature medie nei periodi più freddi dell'anno e il sempre più frequente verificarsi di ritorni in freddo nei mesi primaverili, unito ad un andamento climatico nel periodo estivo caratterizzato da ondate di

calore, “bombe” d’acqua e forti grandinate, trova una spiegazione razionale nell’attuale cambiamento climatico in corso. (Fanfani & Boccaletti, 2021). Analisi svolte a partire dal 2018 dall’ufficio tecnico di Apo Conerpo, insieme al Consorzio fitosanitario di Modena, hanno messo alla luce l’ipotesi che la moria delle piante di pero possa essere causata da un surplus di irrigazione o, comunque, da una errata gestione della risorsa idrica e probabilmente una eccessiva concimazione (anche in contesti pedoclimatici e gestionali non adatti) adottate dall’agricoltore in risposta ad estati sempre più calde e siccitose, con una pluviometria irregolare e temperature medie che tendono ad aumentare nel corso degli anni. Fenomeni causati, appunto, dai cambiamenti climatici. Il problema si presenta dunque complesso, le cause ipotizzate non sono certe e meritano un adeguato approfondimento, non esiste un unico responsabile, ma una serie di fattori che interagiscono tra di loro ad amplificarne la sintomatologia. Tra questi hanno influenza certamente il **cambiamento climatico** in corso e la **gestione idrica** e nutrizionale legata al **portinnesto** utilizzato, fattori che vengono di seguito esposti ed elaborati.



*Figura 2: Deperimento delle piante di pero in un impianto ad alta densità*

Fonte: [www.agricoltura.regione.emilia-romagna.it](http://www.agricoltura.regione.emilia-romagna.it)

### *1.2.1 I cambiamenti climatici*

Per cambiamento climatico si intende, secondo la definizione data dalle Nazioni unite, qualsiasi alterazione dell'atmosfera globale che sia direttamente o indirettamente riconducibile all'azione umana, sinonimo di "riscaldamento globale". I parametri utilizzati per definire le caratteristiche climatiche di una regione sono la temperatura, le precipitazioni, e l'umidità dei quali si valutano i valori dei decenni di riferimento (Zucaro & Pontrandolfi, 2007) La causa principale delle variazioni climatiche dovute alle attività antropiche è l'aumento della concentrazione di gas clima-alteranti (GHG), i 6 più importanti sono l'anidride carbonica, il metano, l'esafluoruro di zolfo, il perfluorocarburo, il protossido di azoto e l'idrofluorocarburo, che con la rivoluzione industriale hanno cominciato ad essere immessi nell'atmosfera in quantità superiori alla norma o come nuovi componenti. Una volta nell'atmosfera questi trattengono parte delle radiazioni infrarosse originate dal sole e riflesse dalla superficie terrestre, dall'atmosfera e dalle nuvole. Più la concentrazione di questi agenti è elevata, più radiazioni e calore vengono trattenuti, causando così l'innalzamento delle temperature e il cosiddetto riscaldamento globale, responsabile di diversi fenomeni rischiosi per l'ambiente come lunghi periodi siccitosi, forti ondate di calore e l'aumento del livello medio dei mari (provocando nelle zone costiere l'Ingressione del cuneo salino). Ciò che preoccupa maggiormente, non è l'effetto serra "aggiuntivo" bensì la velocità con cui stanno avvenendo le modifiche del clima che potranno portare in un futuro prossimo ad ulteriori complicazioni, specialmente nel comparto agricolo. Fino a qualche decennio fa, il cambiamento climatico, è stato vissuto come una prospettiva lontana che non coinvolgeva direttamente le diverse tipicità, un fenomeno riguardante esclusivamente il legislatore. Con il tempo il contesto è cambiato, soprattutto conseguentemente alla sempre maggior frequenza con cui i fenomeni climatici estremi si sono verificati (ondate di calore, siccità, alluvioni, ecc.), eventi apparentemente non collegati tra loro ma in realtà riconducibili tutti al repentino cambiamento climatico in corso causato dalle attività antropiche, a partire dall'industrializzazione. A livello nazionale si è assistito a fenomeni naturali inusuali che hanno spesso generato ingenti danni economici a seguito dei danni causati come il caso dell'Emilia Romagna precedentemente citato dove inverni miti, gelate tardive, stagioni fortemente siccitose hanno compromesso le produzioni frutticole dell'annata 2020 (albicocche -90%, nettarine -80%, susine -70%, pesche -60%, mele -10%) e causato problematiche legate alla gestione irrigua degli impianti di pere, portando al declino della cultivar Abate Fétel. (Fanfani & Boccaletti, 2021). L'agricoltura, comunque, è responsabile dell'emissione annuale di circa il 14% dei GHG (principalmente CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ed N<sub>2</sub>O) derivanti principalmente dalle

operazioni di deforestazione (la conversione di un ecosistema stabile in agroecosistema porta alla) riduzione di input di carbonio verso il suolo; dalla decomposizione del carbonio organico per via delle lavorazioni e dall'uso di fertilizzanti chimici (emissioni di N<sub>2</sub>O), oltre a quelle derivanti dalla sempre più evoluta meccanizzazione. (Xiloyannis & Montanaro, 2017).

Se da un lato le attività agricole sono in parte responsabili dell'emissione di gas serra, dall'altro l'agricoltura stessa è minacciata dall'attuale cambiamento climatico dato che, come è noto, questa dipende fortemente dal clima.

« La valutazione dell'effetto dei cambiamenti climatici sui sistemi agricoli e sulle produzioni a livello regionale e mondiale è, dunque, un argomento di rilevante interesse; le maggiori preoccupazioni derivanti dai cambiamenti di temperatura e precipitazione, su scala regionale, riguardano (Zucaro & Pontrandolfi, 2007):

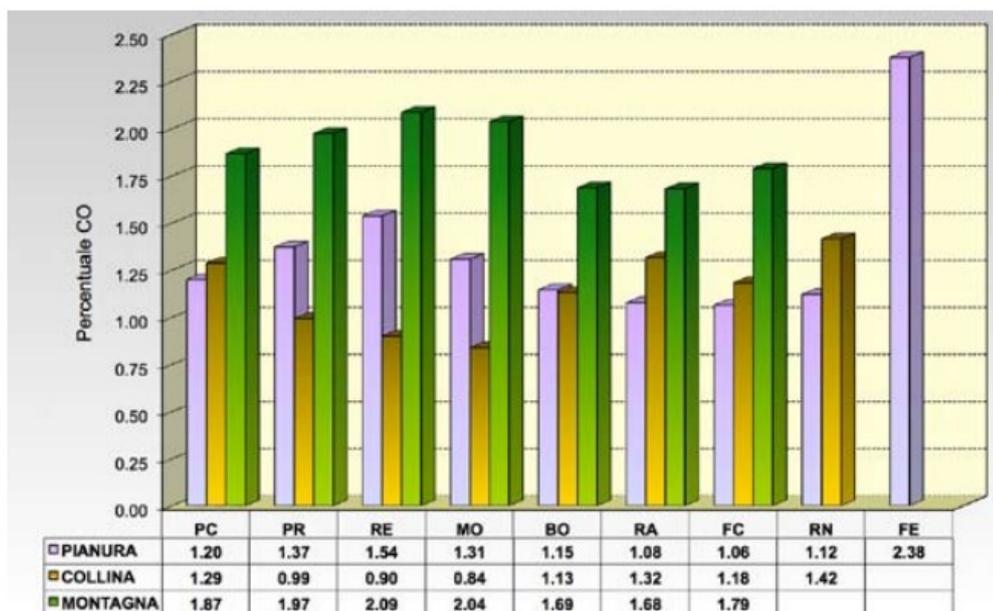
- i suoli: aumento dell'aridità e dei processi di degradazione e aumento dei fenomeni erosivi (desertificazione);
- le risorse idriche: diversa distribuzione delle precipitazioni in senso spaziale (aumento siccità nelle aree temperate) e temporale (maggiore concentrazione delle piogge in episodi brevi e intensi) e riduzione delle disponibilità effettive;
- la diminuzione della biodiversità (molte specie animali e vegetali rischiano l'estinzione a causa di condizioni climatiche in costante mutamento). »

Gli effetti di tali prospettive sull'agricoltura sono difficili da quantificare in quanto non si conosce la frequenza e l'intensità con le quali tali fenomeni si verificheranno e come si stabilizzeranno, né si può prevedere, di conseguenza, la reazione degli ecosistemi naturali e degli agroecosistemi al cambiamento (Zucaro & Pontrandolfi, 2007). Certamente però l'agricoltura può contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici, in primo luogo sfruttando la potenziale capacità di frutteti e vigneti di sequestrare il carbonio all'atmosfera immagazzinandolo nella biomassa aerea e radicale, nel suolo e nella lettiera; in particolare negli ultimi due, il sequestro è fortemente influenzato dal tipo di gestione agronomica adottata, infatti in una gestione sostenibile (apporti di materia organica, inerbimento, trinciatura dei sarmenti) l'accumulo di C è maggiore rispetto ad una gestione convenzionale con lavorazioni del suolo, concimazioni minerali e allontanamento dei residui di potatura (Xiloyannis & Montanaro, 2017). Negli ultimi decenni si è assistito al **declino dei suoli**, principalmente causato dallo scarso accumulo di carbonio organico, in conseguenza all'intensificazione delle coltivazioni e alla meccanizzazione insieme all'uso di fertilizzanti di sintesi. Oggi il livello medio di carbonio nei suoli è sceso fino ad arrivare intorno all'1% (tabella 4) e ciò ha causato la perdita di fertilità e di immagazzinamento di acqua innescando una "dipendenza" crescente dagli input esterni (Xiloyannis & Montanaro, 2017) in particolare della risorsa idrica. Quest'ultima va considerata con particolare attenzione, in quanto ha assunto un ruolo predominante per la sopravvivenza (in particolare nelle zone aride) e per la qualità delle

produzioni agricole ma, parallelamente, è oggetto di uno degli scenari di cambiamento più preoccupanti, vale a dire le conseguenze sul ciclo idrogeologico e quindi sulla disponibilità e sulla distribuzione spazio-temporale delle risorse idriche a fronte di una domanda d'acqua da parte di tutte le attività umane in costante aumento (Zucaro & Pontrandolfi, 2007). Partendo da tali considerazioni generali, risulta strategico per il futuro dell'agricoltura irrigua italiana analizzare, in modo integrato e approfondito, le caratteristiche strutturali, gli andamenti e gli scenari di cambiamento sull'uso dell'acqua in agricoltura (Zucaro & Pontrandolfi, 2007).

**Tabella 4: Valore medio percentuale del contenuto di carbonio organico nei suoli per provincia e principali ambienti (0-30 cm) in Emilia-Romagna.**

Fonte: Regione Emilia-Romagna



### 1.2.2 L'irrigazione nelle specie arboree da frutto

Nel mondo cresce la domanda di acqua per usi civili, industriali e irrigui. Il cambiamento climatico sta aumentando i problemi a causa dell'irregolarità delle precipitazioni in particolare nei climi aridi e semiaridi dove l'irrigazione è una tecnica essenziale per il raggiungimento di alti standard quali-quantitativi delle produzioni con una rapida entrata in produzione, frutti omogenei e di grandi dimensioni, e riduzione delle fluttuazioni annuali di produzione (Musacchi, et al., 2021). L'irrigazione delle specie arboree da frutto, dunque, è una pratica che risulta in forte espansione in particolare nelle zone dove prevalgono impianti intensivi come è il caso delle pianure irrigue Emiliano-Romagnole. Il repentino passaggio da una frutticoltura "tradizionale" a quella intensiva infatti ha determinato un incremento della dipendenza dall'irrigazione del comparto (Mannini, 2018):

« L'impiego di portinnesti poco vigorosi, assieme all'incremento delle densità delle piante e alla diffusione dell'inerbimento interfilare, hanno portato a un minore sviluppo ed efficienza degli apparati radicali e a un deciso incremento della superficie fogliare traspirante del frutteto, rendendo le piante meno capaci di sfruttare le riserve idriche naturali del terreno e quindi più dipendenti dagli apporti artificiali di acqua (Mannini, 2018). »

Nel corso degli anni, la sempre più grande necessità di ricorrere al risparmio idrico ( di grande attualità la siccità che ha colpito la regione Emilia-Romagna nella primavera ed estate 2022 a seguito della diminuzione drastica della portata di acqua del bacino del fiume Po) ha portato l'agricoltore ad indirizzare l'irrigazione verso un uso razionale ed efficiente dell'acqua distribuita e all'attuazione di tecniche agronomiche atte a limitare le perdite migliorando così l'efficienza irrigua. Per limitare il consumo di acqua è buona norma attuare una serie di strategie ben integrate fra di loro; tra le diverse modalità di risparmio idrico è opportuno menzionare (Mannini, 2018): il riuso delle acque reflue o di cattiva qualità; le pratiche di aridocoltura; stress idrico controllato ( Xiloyannis & Dichio, 2006); scelta idonea della specie, varietà e **portinnesto**; opportune strategie di gestione irrigua e scelta del sistema irriguo. La scelta di coltivare varietà precoci riduce i volumi irrigui necessari in maniera considerevole (Mannini, 2018); anche la resistenza alla siccità dei portinnesti e la loro capacità di esplorare gli strati più profondi e umidi del suolo riveste grande importanza per il contenimento delle necessità idriche della specie. Radici profonde ed efficienti conferiscono infatti una maggiore vigoria in presenza di acqua e una maggiore resistenza alla siccità nel momento in cui questa

scarseggia (Mannini, 2018). L'impiego di portinnesti vigorosi consente dunque di efficientare l'intercettazione di acqua da parte delle radici e limitare gli apporti idrici attraverso le irrigazioni.

Di rilevante importanza risulta, dunque, la strategia di gestione delle irrigazioni: la corretta determinazione del volume di adacquamento e del momento di intervento irriguo, risulta determinante nel raggiungimento della massima efficienza idrica. Nella maggior parte delle aziende agricole questi vengono stabiliti in modo empirico e si basano sull'osservazione di carenza idrica nelle piante o effetti visivi della siccità sul terreno (colore, ampiezza delle crepaccature) (Mannini, 2018), tecniche che portano dunque ad un'alta variabilità interpretativa e che non rendono oggettive le misurazioni. Le uniche metodiche che hanno permesso una corretta gestione irrigua dei frutteti sono basate sulla valutazione su base agroclimatica, del bilancio idrico del terreno ( Xiloyannis & Dichio, 2006) tecniche che richiedono però, ampie conoscenze difficilmente riscontrabili in una azienda agricola ordinaria. In aiuto agli agricoltori, il consorzio per il Canale Emiliano-Romagnolo ha disposto un servizio di assistenza alle irrigazioni denominato IRRINET che ha contribuito ad un miglioramento dell'uso dell'acqua e di conseguenza una razionalizzazione dell'uso della stessa (Mannini, 2018). A seguito dei fattori esposti si può affermare, dunque, che l'irrigazione è una tecnica raffinata (Mannini, 2018) che influisce fortemente sugli equilibri vegeto-produttivi delle colture e sui rapporti quali-quantitativi delle produzioni e che nel corso degli anni, la sempre maggiore attenzione nei confronti della risorsa idrica che scarseggia, ha portato all'attuazione di moderne tecniche come lo "stress idrico controllato" e a brevettare sistemi di bilancio idrico al fine di conseguire un uso oculato della preziosa risorsa.

### *1.2.3 Irrigate*

L'indagine sui sistemi irrigui a livello territoriale in risposta alla degenerazione degli impianti di pero (IRRIGATE) è un piano presentato dal gruppo operativo ATS IRRIGATE è coordinato da Crpv – Centro Ricerche Produzioni Vegetali di Cesena (FC) e realizzato da un team coposto dall'Organizzazione di produttori Apo Conerpo, dal CER – Canale Emiliano-Romagnolo, dall'Università Politecnica delle Marche, dal Consorzio Fitosanitario di Modena e da Astra Innovazione e Sviluppo. L'obiettivo generale del piano è quello di individuare in relazione agli **apporti irrigui** a livello territoriale, ai **sistemi di impianto** adottati (in primis portinnesti utilizzati) e ai **cambiamenti climatici** i fattori responsabili e come essi

interagiscono tra di loro nel determinare la degenerazione degli impianti di pero in Emilia Romagna; tutto ciò al fine di approfondire le conoscenze su questo grave e complesso fenomeno e fornire ai tecnici e agricoltori interessati, apposite linee guida intese sia come sistema d'impianto (portinnesto densità di impianto e forma di allevamento) che come tipo di irrigazione (attraverso il portale IRRINET) per contrastarne la diffusione a livello estensivo. Il ruolo di questa tesi è dunque quello di fornire dei parametri relativi al comportamento dei diversi portinnesti in contesti territoriali diversi, e contribuire all'individuazione di una linea guida da seguire sia per i frutteti in essere che per i nuovi impianti.

### 1.3 Il sistema radicale

Il sistema radicale, per le numerose funzioni a cui prende parte, è una unità di rilevante importanza per la pianta ma, situandosi prevalentemente nel suolo ne rimangono difficoltosi l'osservazione e lo studio, motivo per cui la ricerca agronomica studia molto più estesamente la porzione epigea, trascurando talvolta quella ipogea. La radice, infatti, è poco conosciuta specialmente quando se ne voglia definire il comportamento o i ruoli che svolge in rapporto al terreno e alle altre piante in una comunità vegetale (Zucconi, 1997); è certo, tuttavia, che questa è dotata di una notevole dinamicità nel suo comportamento e di elevata plasticità della sua formazione (Zucconi, 1997). L'assorbimento radicale determina infatti un rapido esaurimento degli elementi nutritivi disponibili nel suolo e questo costringe le radici ad abbandonare la nicchia in cui opera e a muoversi alla ricerca di un nuovo substrato e contemporaneamente rilasciare sostanze allelopatiche responsabili delle relazioni tra radici e capaci di influenzarne l'organizzazione territoriale e la ricerca dei substrati. La radice, inoltre, si confronta con condizioni di terreno sempre diverse, poiché quest'ultimo risente l'influenza di svariati fattori quali: substrato pedogenetico, clima, organismi, tempo, topografia e azione antropica (USDA). Ciò determina, pertanto, una variazione spaziale e temporale dei contenuti di umidità, elementi nutritivi, componenti organiche e minerali. Pertanto, ciò richiede una differenziazione continua delle caratteristiche e del funzionamento delle radici per assicurare a sua volta un funzionamento costante ed ottimale della pianta. La conseguenza di questo dinamismo implica, in ogni caso, vantaggi e svantaggi (Zucconi, 1997):

- Miglior capacità di sfruttamento del suolo;

- Competitività con altri organismi;
- Interazioni in cenosi;
- Alto “costo energetico” per la pianta;
- Il rinnovo radicale “invecchia il suolo”.

A seguito di queste considerazioni, si procede alla descrizione dell'apparato radicale soffermandosi sulle proprietà funzionali morfologiche e fisiologiche.

### 1.3.1 *Le funzioni*

L'apparato radicale, come quello aereo, risulta di fondamentale importanza per l'attività vegetativa e riproduttiva della pianta; la radice prende parte a due tipi di funzioni principali:

-Funzioni primarie: ricerca di acqua e nutrienti; acquisizione di risorse da suolo e conduzione (acqua e nutrienti); ancoraggio al suolo.

-Funzioni secondarie: accumulo di carboidrati e sostanze di riserva; sintesi di sostanze secondarie; sintesi di regolatori di crescita.

Tra i processi biologici coinvolti nelle radici rientrano, dunque, l'assorbimento di acqua e Sali minerali dal suolo indispensabili per la vita, e la conduzione di questi verso le altre porzioni della pianta; l'ancoraggio, poiché sostiene e mantiene la pianta ben salda al suolo; la funzione di riserva: grazie alla presenza del parenchima di riserva è il principale organo di accumulo delle sostanze prodotte dalla fotosintesi (Evert & Eichhorn, 2018); la produzione di ormoni (citochine e gibberelline) e sostanze allelopatiche che regolano l'organizzazione territoriale (Zucconi, 1997); azione consolidatrice, imbrigliando il terreno ed evitando smottamenti e frane ed infine un'azione ecologica poiché implicata in vari processi di simbiosi (es. noduli radicali, micorrize).

TIPI DI RADICI	FUNZIONE					
	sensibilità allelopatica	assorbimento minerale	assimilazione	trasporto	sintesi secondaria	supporto
ESPLORATRICI						
ASSORBENTI						
DI SUPPORTO						
SCHELETRICHE						

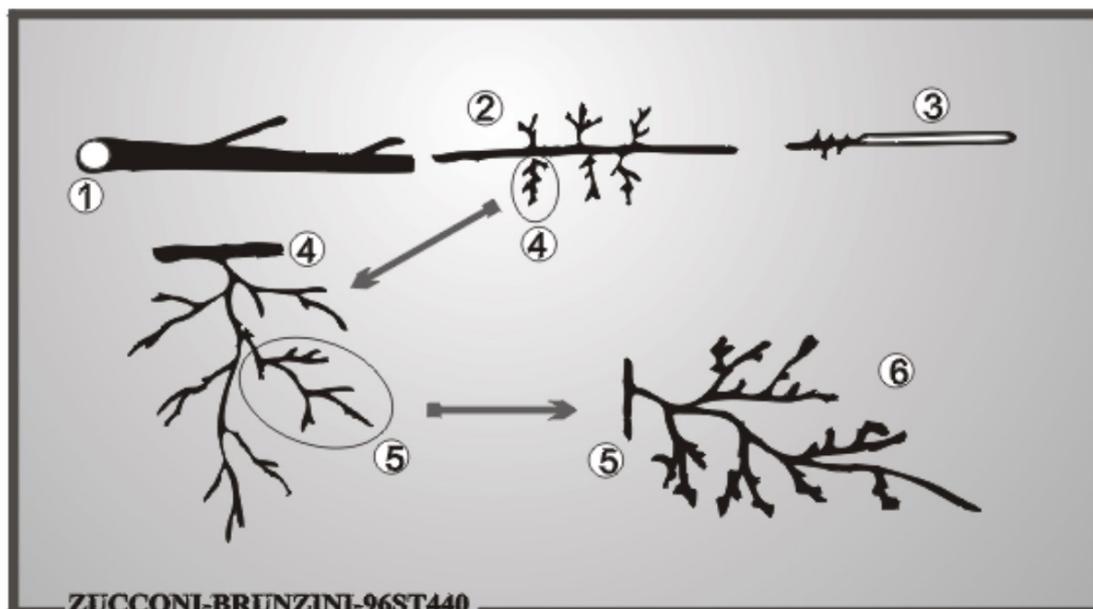
ZUCCONI-BRUNZINI-96ST640

*Figura 3: Funzioni esercitate dai diversi tipi di radici (Zucconi, 1997)*

(La sensibilità allelopatica, permette alle radici di cercare territori liberi in cui assorbire).

### 1.3.2 Tipi di radici

L'apparato radicale è una struttura molto complessa, presenta una differenziazione morfologica che riflette le sue diverse attività di assimilazione, trasporto e supporto (Zucconi, 1997). Le radici si possono distinguere, dunque, in base alla funzione che svolgono in (Figura 3) : assorbenti responsabili dell'assimilazione di acqua ed elementi nutritivi, esploratrici capaci di individuare nuove nicchie in cui assorbire e portanti (di supporto e scheletriche) che assicurano il sostegno meccanico della pianta.



**Figura 4: I diversi tipi di radici** (Zucconi, 1997)

(1-2) Portanti; (3) esploratrici; (4-5-6) assorbenti.

Le **radici assorbenti** sono bianche traslucide, fisiologicamente molto attive e presentano un diametro minore o uguale a 2mm. La superficie assorbente aumenta fino a 10 volte per la presenza dei peli radicali che hanno una membrana molto sottile ed un' ampia superficie specifica che assicura una elevata efficienza di assorbimento. Le radici assorbenti, soprattutto nel tratto sub-apicale, ricco di peli radicali, sono i siti preferenziali di assorbimento dell'acqua e dei nutrienti minerali (azoto, fosforo, potassio, calcio, ferro, magnesio) (Baldini, 1988). Il turn over (ricambio) delle radici assorbenti, è molto veloce, con una crescita determinata, non hanno accrescimento secondario e sono le prime ad essere colonizzate dalle micorrize. Presentano dunque un'alta efficienza poiché il dispendio energetico attuato dalla pianta per la loro formazione e il loro mantenimento, è inferiore al beneficio che la stessa ne ricava (alto rapporto benefici-costi) si deduce quindi, che radici caratterizzate da una vita più breve, possono avere tassi di assorbimento più alti (Eissenstat, 2007).

Le **radici esploratrici** sono brune, spesse circa 2mm, caratterizzate da un rapido accrescimento, anche di decimetri al giorno (Zucconi, 1997) e assicurano il collegamento tra le assorbenti e le portanti, responsabili inoltre della macro-migrazione radicale. Quando queste trovano una nicchia di terreno libero e favorevole, ramificano rapidamente, occupandola con radici via via più sottili dando origine così, ad un processo di assorbimento (Zucconi, 1997).

Le **radici portanti** presentano un diametro maggiore già alla nascita, un apice radicale più sviluppato e sono in grado di estendersi velocemente in modo indeterminato, raggiungendo in pochi giorni, una lunghezza di diversi centimetri. Vengono distinte in: Radici di supporto, responsabili di accordare le estremità assorbenti tra loro e radici scheletriche, responsabili di accordare le estremità assorbenti con la chioma.

### *1.3.3 Assorbimento minerale e territorio radicale*

I nutrienti sono presenti nel suolo in frazione solubile (legati alle particelle colloidali o dispersi nella soluzione circolante del suolo), incorporati nella sostanza organica (disponibili con la mineralizzazione) oppure in forma insolubile (indisponibili per la pianta) (Fini, 2007). Nella rizosfera la pianta rilascia ioni e composti che, modificando il pH incrementano la disponibilità degli elementi nutritivi e ne facilitano l'assorbimento (El Shatnawi & Makhadmeh, 2001). L'approccio dei nutrienti alle radici avviene, dunque, secondo tre meccanismi:

- Intercettazione e scambio ionico: le radici nella loro lenta ma incessante espansione (micro-migrazione radicale) rilasciano nella rizosfera ioni  $H^+$  e  $HCO_3^-$  derivanti dalla respirazione degli zuccheri; questi ioni vengono adsorbiti dai colloidali del suolo "scalzando" quelli già presenti ( $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ) che divengono così disponibili per la pianta;

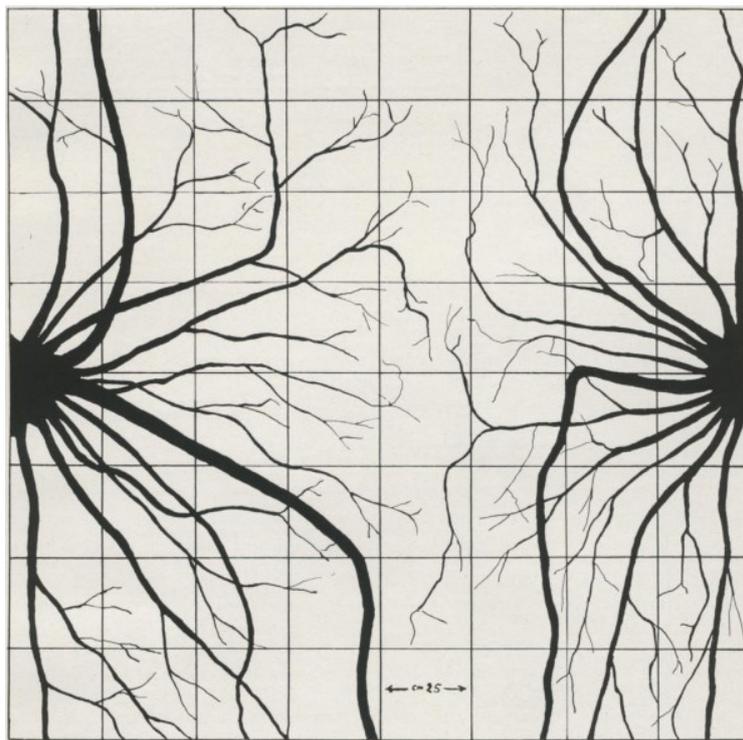
- Flusso ionico massale: gli ioni presenti nella soluzione circolante del suolo, si spostano verso le radici trasportati dal flusso idrico generato dalla traspirazione, dalla percolazione e dalla capillarità;

- Diffusione: i nutrienti si muovono a causa del gradiente di concentrazione, ovvero da punti in cui essi sono più concentrati verso punti a concentrazione minore. Si deduce che, a causa dell'assorbimento, vicino alla radice vi è, spesso, una bassa concentrazione di nutrienti.

Piante in uno stadio di giovanità, interessate da grande crescita e vigore vegetativo, assorbono prevalentemente per intercettazione; al contrario in piante fisiologicamente mature, prevalgono il flusso di massa e la diffusione a causa della concorrenza creata dai frutti per i carboidrati necessari al rinnovo e crescita radicale (Zucconi, 1997).

Le radici assorbenti occupano in maniera esclusiva il territorio e possono dividerlo con i microrganismi, ma non con radici di altre piante. Le sostanze chimiche usate per marcare il territorio e impedire l'assorbimento sono definiti fattori allelopatici primari (**FAP**), questi garantiscono una fase "territoriale" (Zucconi, 1993) caratterizzata dallo sfruttamento esclusivo di un proprio spazio (vaso allelopatico), garanzia di efficienza nell'uso di ciascuna parte del

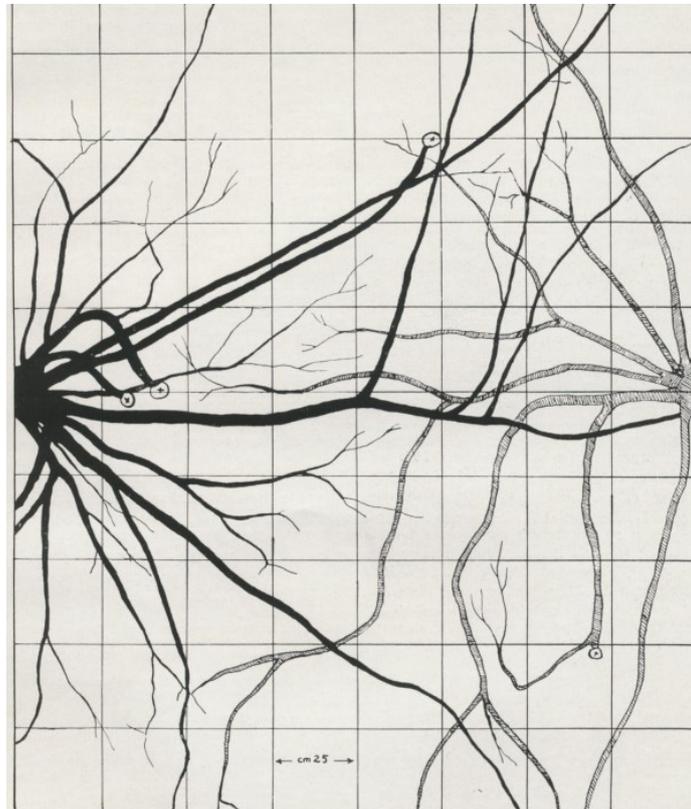
substrato evitando competizioni e generando ordine nell'assorbimento. I FAP garantiscono, di conseguenza, un uso ordinato del territorio e semplificano, inoltre, la ricerca di nuove nicchie da parte delle radici esploratrici, fornendo loro il "percorso più breve" per raggiungerle (Zucconi, 1997). L'assorbimento in ambiente solido richiede, dunque, l'escrezione di un complesso di prodotti che veicolano i nutrienti verso la radice e allo stesso tempo nutrono e selezionano la rizosfera contemporaneamente ciò comporta l'abbandono di strutture assorbenti divenute obsolete poiché situate in territori depauperati. I residui stessi assumono una funzione allelopatica indiretta attraverso i prodotti del loro metabolismo definiti fattori allelopatici secondari (FAS) che permettono una crescita radicale periferica al territorio già sfruttato, impedendo il ritorno delle radici assorbenti nello stesso territorio e contribuendo, così, al fenomeno della cavitazione. La divisione territoriale imposta dai FAP e FAS si risolve, dunque, in un geometrismo architettonico caratterizzato da una distribuzione lineare, radiale e monoplanare delle radici scheletriche (Zucconi, 1997).



**Figura 5: Distribuzione spaziale nel suolo delle radici di piante diverse di pesco. (Bini & Chisci, 1961)**

Le radici di ciascun albero, pertanto, non si intersecano con quelle dell'albero contiguo, né si sovrappongono (Figura 5), a differenza di quanto aveva rilevato, invece, Bargioni (1959-1960)

nel veronese per gli alberi di pero allevati nelle stesse condizioni di ambiente (Figura 6). Il comportamento dei sistemi radicali del pero, sotto questo riguardo, è quindi differente da quello rilevato per il pesco; non esiste cioè quell'isolamento dei sistemi radicali che è risultato, invece, caratteristico per il pesco (Bini & Chisci, 1961).



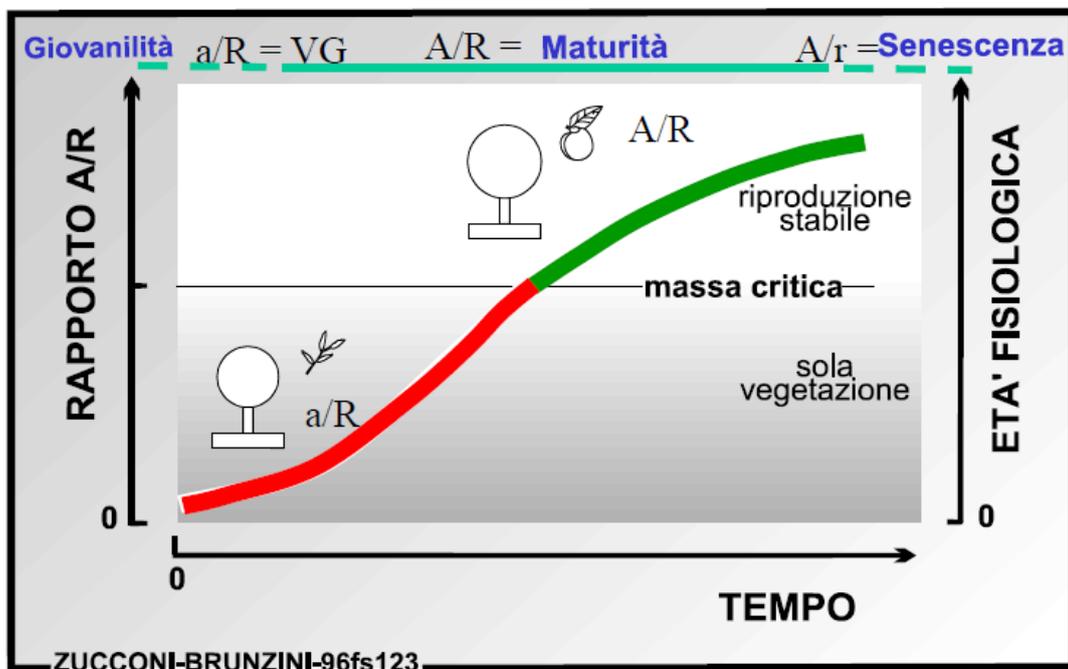
**Figura 6: - Planimetria dei sistemi radicali di due piante di pero contigue. (Bini & Chisci, 1961)**

#### 1.3.4 *Crescita della radice ed espansione radicale*

L'espansione radicale, nelle coltivazioni arboree, può essere molto dinamica e mostrare elevate fluttuazioni annuali che dipendono da diversi fattori tra cui (Eissenstat, 2007): la potatura (l'entità della potatura aerea è inversamente correlata con la crescita radicale); la disponibilità di acqua e nutrienti (correlata positivamente), la disponibilità e la richiesta di carboidrati da parte degli organi dell'albero (in condizioni di elevata radiazione luminosa e bassa richiesta da parte degli organi fortemente competitivi come germogli e frutti, la crescita viene stimolata dalla maggiore disponibilità di carboidrati) ed eventuali interazioni allelopatiche (Zucconi, 1997). L'entità della produzione di radici può aumentare, pertanto,

riducendo la potatura, abbassando il carico di frutti e gestendo correttamente risorsa idrica del suolo (Eissenstat, 2007).

Una pianta in crescita mantiene un certo equilibrio tra l'area della superficie utile fotosintetizzante e l'area della superficie utile per l'assorbimento di acqua e minerali (Evert & Eichhorn, 2018). Questo equilibrio funzionale, che riguarda essenzialmente l'area delle radici e quella delle foglie, può essere espresso in termini di rapporto aereo-radiale. Nello stadio di giovanità la superficie totale per l'assorbimento dell'acqua e dei minerali in genere supera di gran lunga la superficie fotosintetizzante e il rapporto risulta, dunque, basso ( $a/R$ ). Nello stadio di maturità, si raggiunge un rapporto ( $A/R$ ) tale da garantire l'omeostasi vegetativa della pianta (figura 7), tuttavia il rapporto aumenta gradualmente con l'età della pianta ( $A/r$ ).



*Figura 7: Evoluzione del rapporto aereo radiale*

In una pianta arborea, essendo dotata di plasticità fenotipica, se un qualunque danno al sistema radicale riduce seriamente la sua superficie assorbente, la crescita del germoglio viene rallentata dalla mancanza di acqua, sali minerali e ormoni prodotti dalla radice. A sua volta, la riduzione delle dimensioni del germoglio limita la crescita delle radici, venendo a diminuire per queste ultime la disponibilità di carboidrati e ormoni prodotti dal germoglio. Le due porzioni crescono, pertanto, in stretta correlazione vegetativa poiché i limiti imposti dall'ambiente esterno su un organo, si riflettono anche sulla crescita dell'altro. A seguito di

ciò, è possibile affermare che una chioma espansa e vigorosa può essere sottesa da un apparato radicale piccolo e ben ramificato se insediato in un suolo fertile e viceversa (Zucconi, 1997); ne deriva, dunque, un rapporto aereo radicale direttamente proporzionale alla fertilità. Le radici sono in grado di bilanciare la disponibilità delle risorse di un suolo, attraverso la crescita compensativa.

#### 1.4 Il pero

Il pero appartiene alla famiglia delle *rosaceae*, sottofamiglia delle *pomoideae*, genere *Pyrus*. Vavilov esclude l'Europa come centro d'origine primario, a cui invece prendono parte la Cina, il medio-oriente (Caucaso- Asia minore) e l'Asia centrale (India, Afganistan, Tagikistan, Uzbekistan). Sono circa 22 le principali specie del genere *Pyrus*, raggruppate in Asiatiche ed Europee a cui prende parte il *Pyrus communis* L. ossia il pero coltivato. L'albero è di dimensioni medio-elevate (fino a 20m), di forma piramidale, deciduo, a volte spinoso. Le gemme sono a legno e miste, portate da diversi rami: rami a legno (succhioni, polloni); a frutto (gemme miste) e rami misti (gemme miste e a legno). I principali rami a frutto nel pero sono, dunque: lamburde (vegetative, fruttifere, spinose), borse, brindilli e rami misti. Le foglie si presentano di forma ovale, glabre, cutinizzate, con margine intero, crenato o dentato, raramente lobate. I fiori sono riuniti in gruppi di 5-15 a formare una tipica infiorescenza a corimbo, provvista di una rosetta di foglie alla base e la fioritura è centrifuga rispetto al corimbo ed avviene tra fine marzo e la seconda decade di aprile. Il fiore è quello tipico delle rosacee con 5 petali bianchi (a volte rosei), 5 sepali persistenti (nelle specie europee), circa 20 stami e un ovario pluricarpellare con 5 stili, 5 stigmi e 5 logge carpellari. L'impollinazione è in genere entomofila poiché quasi tutte le varietà, presentano una autoincompatibilità gametofitica. Il frutto è un pomo (falso frutto) derivante dalla concrescita dell'ovario con il ricettacolo e può assumere diverse forme, dalla sferoidale fino ad oblunga. Il pero presenta dei modelli di fruttificazione come riassunti di seguito:

- Gruppo I William-Coscia: su piante giovani avviene su rami di un anno o misti, su piante mature anche su lamburde portate da legno vecchio;
- Gruppo II Decana del comizio-Abate: su lamburde portate dal legno di 2 o 3 anni;
- Gruppo III Conference: su lamburde portate da branche vecchie;
- Gruppo IV Kaiser: su lamburde portate da legno vecchio, le branche inoltre, possono restare per molto tempo e garantire un ottimo livello di produttività.

- Gruppo V: Passa Crassana: presenta una caratteristica formazione di rami a legno che al secondo anno producono un nuovo ramo a legno in posizione apicale e varie lamburde e brindilli laterali.

La raccolta va da giugno ad ottobre. Il momento opportuno per la raccolta varia a seconda del destino commerciale che subirà il frutto e, per l'individuazione, vengono considerati durezza, residuo secco rifrattometrico e test dello iodio. Tra le principali avversità vi sono danni di origine abiotica causati da eventi atmosferici ( grandine, vento, ecc.), carenze nutrizionali, fisiopatie post raccolta (es. riscaldamento), danni di origine biotica tra cui fitoplasmosi, batteriosi (OHF), cancri e ticchiolatura; e danni da insetti ( carpocapsa, rodilegno, tignola e afidi).

#### 1.4.1 *La varietà Abate*

La coltivazione del pero in Italia evidenzia un limitato assetto varietale, infatti soltanto 6 cultivar costituiscono quasi il 90% della produzione nazionale (Bellini & Nencetti, 2007). La maggior parte delle novità sono a maturazione estiva, poche sono invece le nuove cultivar a maturazione autunno-vernina dotate di caratteri agronomici e pomologici migliori delle cultivar attualmente coltivate. Tra queste c'è sicuramente *l'Abate Fetel*, scoperta in Francia dall'omonimo Abate Fetel intorno alla metà del 1800 e coltivata in Italia a partire dalla fine della Seconda guerra mondiale nelle pianure Emiliano Romagnole dove trova, nel territorio compreso tra le provincie di Ferrara, Modena e Bologna, un ambiente di coltivazione particolarmente adatto e tale da permettere il raggiungimento di livelli produttivi e qualitativi difficilmente ottenibili in altri areali di coltivazione. L'albero si presenta di vigoria media ed è caratterizzato da alta produttività, non è molto affine con il cotogno; è autocompatibile e impollinata da Kaiser, Coscia e Passa Crassana. Il frutto è di grande pezzatura, calebassiforme; la buccia è di colore verde-giallastro con zone rugginose; polpa bianca, fondente, molto succosa, zuccherina e aromatica, di ottimo sapore. Risulta la cultivar più apprezzata non solo in Italia ma anche in Europa per pezzatura, qualità organolettiche e conservabilità del frutto.

#### 1.4.2 *L'importanza del portinnesto*

Il portinnesto gioca un ruolo chiave nella determinazione delle principali proprietà di un albero da frutto; in una pericoltura sempre più specializzata, la scelta del portinnesto è un aspetto fondamentale per la realizzazione di un frutteto con buone caratteristiche in termini di resa, pezzatura e qualità dei frutti oltre al mantenimento di un equilibrio vegeto-produttivo ottimale. Si è quindi accresciuta sempre più l'importanza di utilizzo dei portinnesti ed ha assunto un peso sempre più rilevante l'operazione di scelta degli stessi; nella scelta è opportuno tenere sempre in considerazione alcuni parametri: le specifiche condizioni pedologiche e climatiche della zona in cui si opera, la tessitura e la reazione del terreno, eventuali condizioni di carenza e di ristagno idrico e il regime termico. Gran parte delle piante arboree da frutto attualmente coltivate nel mondo sono costituite da cultivar (nesto) innestate su portinnesti e pertanto sono sistemi biologici complessi. Il portinnesto può influenzare numerosi aspetti della biologia e fisiologia delle piante da frutto, tra i quali: adattabilità ai diversi tipi di terreno e ambienti; costanza produttiva e precoce messa a frutto; sistema di allevamento e densità di impianto; suscettibilità ad alcune avversità biotiche ed abiotiche; vigoria e sviluppo. Tra questi fattori, quella che maggiormente viene ricercata e sfruttata ai fini colturali è quella che riguarda la vigoria, infatti, l'introduzione di portinnesti nanizzanti, unito alle alte densità di impianto, ha reso possibile l'ottenimento di piante da frutto di dimensione contenuta, che, potendo essere più facilmente gestibili da terra senza l'impiego di scale, consentono una riduzione dei costi di manodopera necessari per la gestione degli impianti. È infatti ben noto che in frutticoltura gran parte dei costi annuali di produzione sono riconducibili alla manodopera necessaria per eseguire la potatura, il diradamento e la raccolta dei frutti (Brasile & DeJong, 2007). Alberi innestati su portinnesti deboli fruttificano, infatti, generalmente prima di quelli innestati su portinnesti vigorosi e quindi si verifica, in corrispondenza dell'avvento della capacità riproduttiva, l'inizio di un rallentamento dell'attività vegetativa: ne deriva quindi un maggior controllo sullo sviluppo degli alberi. Oltre alla vigoria e alla precocità della messa a frutto, il portinnesto può influenzare numerosi altri fattori quali ad esempio la data di fioritura della pianta (Loreti & Massai, 2002) quindi l'epoca di maturazione e la qualità dei frutti. La qualità dei frutti dipende, infatti, dal portinnesto attraverso la vigoria poiché, se bassa, questa comporta una chioma più aperta e permette ai frutti di essere esposti maggiormente alla radiazione solare migliorandone così la colorazione raggiunta dagli stessi, inoltre, comporta una maggiore percentuale di fotoassimilati all'interno dei frutti, rispetto a quelli riscontrabili nei frutti di piante più vigorose, dal momento che su

una pianta meno rigogliosa la competizione tra organi vegetativi e riproduttivi risulta essere a vantaggio di questi ultimi. Nel caso del pero, il cotogno usato come soggetto, porta ad una riduzione della manifestazione della stanchezza del terreno sulla pianta (Zucconi, 1997). Di contro, l'uso di portinnesti deboli, porta ad una minore capacità di intercettazione di acqua in profondità e alla necessità dunque, da parte dell'agricoltore, di ricorrere necessariamente ad interventi irrigui per garantire il normale sostentamento della coltura.

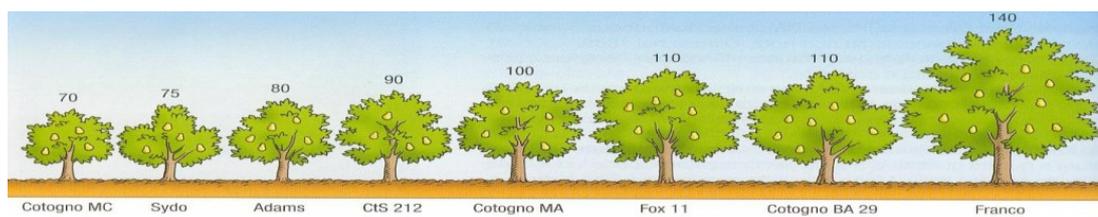
#### 1.4.3 *I portinnesti in esame*

Il portinnesto tradizionale per il pero è il franco (*Pyrus communis L.*) ma, nel cotogno (*Cydonia oblonga mill.*) la moderna pericoltura ha trovato il principale portinnesto che ha aperto strada agli impianti intensivi (maggior precocità e maggior qualità rispetto ai franchi). Nel pero, numerosi sono i vantaggi offerti dal franco da seme, primo fra tutti l'ottima affinità con tutte le cultivar, l'elevata e costante produttività e, soprattutto, l'elevata rusticità, ossia una maggiore adattabilità ai climi freddi e torridi, ai vari tipi di terreno (può resistere fino a valori di calcare attivo intorno al 10-12 %). Per quanto riguarda l'aspetto fitosanitario il franco da seme risulta suscettibile all'afide lanigero, al colpo di fuoco batterico e all'*Agrobacterium tumefaciens*. Le piante presentano inoltre un elevato grado di difformità, soprattutto per quanto riguarda il vigore ed il portamento motivo per cui è sempre meno utilizzato negli impianti specializzati (Bellini & Nencetti, 2007). La necessità di intensificare la densità di piantagione ha stimolato i ricercatori ad ottenere nuovi portinnesti che, oltre a garantire un'elevata omogeneità di impianto, riescano a contenere lo sviluppo della chioma inducendo precoce fruttificazione e buoni standard qualitativi e produttivi. Finora i portinnesti che hanno dato i migliori risultati e che peraltro sono i più utilizzati nel nostro paese sono quelli di cotogno. Rispetto ai franchi, i portinnesti derivati da selezioni di cotogno, inducono una minore vigoria e presentano un apparato radicale più superficiale, che non sempre garantisce un adeguato ancoraggio e conferisce loro una maggiore sensibilità agli stress idrici e termici. Non mancano altri inconvenienti, anche molto gravi, tra i quali una più o meno marcata disaffinità d'innesto con più cultivar (tra cui Abate Fétel), la scarsa adattabilità i terreni alcalini e la suscettibilità agli attacchi del colpo di fuoco batterico. La risoluzione di tali problemi non è certamente una cosa da poco, tuttavia, già da alcuni anni si è vista la possibilità di moltiplicare e autoradicare "in vitro" le varietà di pero. Sono attualmente in commercio piante autoradicate di William, Abate Fétel, Kaiser, Max Red Bartlett, Conference ed altre cultivar. Piante micropropagate sono molto più vigorose, ma rendono molto più sostenibile la coltivazione (Neri, et al., 1989).

Tuttavia, dopo un primo momento di entusiasmo, non ha trovato unanimi riscontri. (Bellini & Nencetti, 2007).

Tra i portinnesti analizzati in questo lavoro, prendono parte:

- Selezioni di cotogno: Cotogno **MA**, **MC**, **MH**; **Sydo**; **BA29**; **Adams**
- Autoradicati
- Franchi clonali: **OHxF40** (Farold 40)



**Figura 8: Vigoria indotta dai diversi portinnesti**

(Dalle slide del corso di frutticoltura del Prof. Capocasa F.)

**Cotogno MC**: è il cotogno più nanizzante presente in commercio, selezionato ad East Malling (UK). Di facile propagazione per margotta di ceppaia, teme il freddo più dell'MA, coltivato nel sud Europa, ma se il clima troppo caldo, soffre (blocco attività radicale). Interessante per la notevole riduzione della taglia degli alberi (risparmio manodopera), utilizzato per impianti super intensivi ma se non ben gestiti (fertirrigazioni, pratiche colturali ecc) si possono verificare cali di pezzatura. Impianti meno longevi (15 anni).

**Cotogno MH**: selezionato perché migliora la pezzatura rispetto a MC, di analoga origine, è di vigoria intermedia tra MC e MA. Più lento in entrata in produzione rispetto ad MC.

**Cotogno MA**: selezionato nell'ambito di una popolazione di cotogno di Angers (FR). Molto facile da propagare per margotta di ceppaia, è stato superato dal Sydo (simile per vigoria), poiché sensibile al freddo e al *Pear decline*.

**Sydo**: è il cotogno di Angers (FR) più diffuso in Europa. Di facile propagazione, suscettibile a colpo di fuoco batterico ma meno a fitoplasmii. Sembra superiore al cotogno MA e più tollerante a situazioni di stress rispetto al cotogno MC e adatto ad impianti ad alta densità (3-4000 piante/ha) (Bellini & Nencetti, 2007).

**BA29**: selezionato ad Angers (FR) si è molto diffuso già negli anni '60 poiché di facile propagazione e per la sua adattabilità a condizioni di terreno difficile (clorosi, terreni pesanti).

Per impianti in terreni fertili risulta è un po' troppo vigoroso ed è suscettibile a fitoplasmi e virus. Consigliato per gli impianti tradizionali.

**Adams**: selezionato in Olanda e molto diffuso in Belgio e Olanda, presenta una vigoria intermedia tra MC e MA, adatto a densità di impianto elevate. Efficienza produttiva superiore al cotogno MA.

**OHxF40 (Farold 40)**: Fa parte dei franchi clonali americani, selezionato in Oregon (USA), deriva dall'incrocio Old Home x Farindale; è semi-nanizzante di vigoria superiore a cotogno BA29, interessante per l'utilizzo in terreni clorosanti e in combinazione con varietà poco affini ai cotogni (es. Abate F.). Buona pezzatura dei frutti con impianti di media e alta densità, resistente a colpo di fuoco batterico.

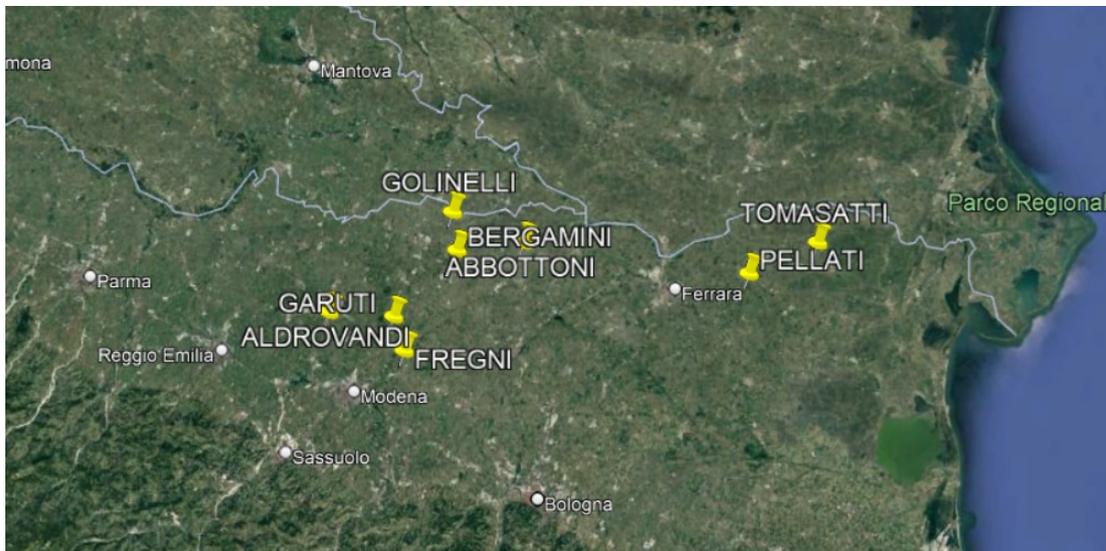
**Autoradicato**: derivante dalla moltiplicazione e auto-radicazione "in vitro" delle cultivar di pero; assicura l'assenza della disaffinità di innesto, notevole rusticità, buona tolleranza al calcare attivo ed elevata produttività nel tempo (Bellini & Nencetti, 2007); di contro pare che manifestino inizialmente problemi di ancoraggio, elevata vigoria ed un ritardo più o meno accentuato nell'entrata in fruttificazione riuscendo solo in particolari condizioni pedoclimatiche a raggiungere il loro standard produttivo (Bellini & Nencetti, 2007).

## 2. OBIETTIVI DELLA TESI

Il presente lavoro si pone come obiettivo quello di effettuare una valutazione attenta e approfondita dell'apparato radicale di piante di pero valutando la tipologia di radici presenti e la relativa densità di queste. Il fine è quello di fornire informazioni utili al contrasto della diffusa moria degli impianti di pero manifestatasi nella regione Emilia-Romagna in tempi odierni a seguito dei presunti fattori precedentemente analizzati. La tesi, dunque, vuole implementare le conoscenze sul tema, concentrando l'attenzione sull'influenza che il portinnesto ha nei confronti dello sviluppo dell'apparato radicale del pero e il suo comportamento in situazioni pedoclimatiche differenti all'interno della regione stessa.

### 3. MATERIALI E METODI

La prova ha coinvolto 8 aziende, situate nel territorio Emiliano-Romagnolo, specializzate nella pericoltura, in cui sono risultati frequenti casi di deperimento delle piante di pero in impianti intensivi.



*Figura 9: Inquadramento geografico degli impianti sotto osservazione*

- Aldrovandi Adriano, Carpi (MO): impianti del 2010/11 di Abate Fetel su cotogno C e A con intermedio Butirra, portinnesti MH e Sydo;
- Casi studio con falda freatica superficiale:**
- Garuti Roberto, Bomporto (MO): Abate autoradicata (impianto del 2020) e innestata su BA29;
  - Pellati Costantino, Copparo (FE): impianto di Abate su Adams del 2015;
- Casi studio con irrigazione a sprinkler:**
- Fregni Fabrizio, Nonantola (MO): Abate su BA29, impianto del 2017;
  - Abbottoni Paola, Finale Emilia (MO): Abate su Farold 40 e Sydo, impianto del 2004;

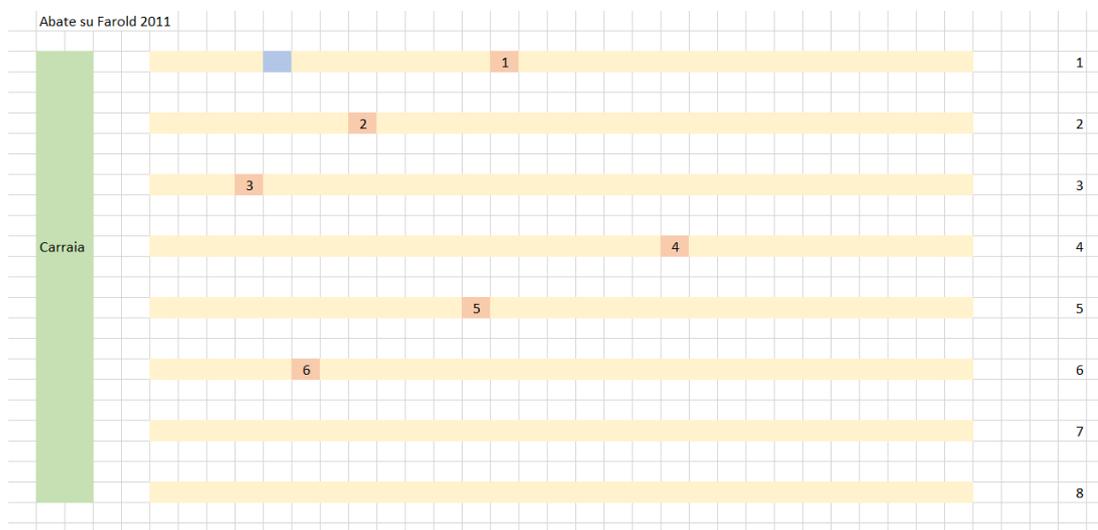
### Confronto tra due portinnesti, influenza della salinità sulla mortalità del pero

- Bergamini Tonino, San felice sul Panaro (MO): Abate su due portinnesti a confronto, Farold 40 e Sydo in un impianto del 2011;

### Casi studio con irrigazione a goccia:

- Golinelli Luigi, Mirandola (MO): impianto di Abate su BA29 del 2017;
- Tomasatti Giovanni, Copparo (FE): Abate su Sydo, impianto del 2007.

Per osservare l'influenza dei portinnesti sullo sviluppo dell'apparato radicale, sono stati prelevati 6 campioni di suolo per ogni azienda e singolo portinnesto in piante che non mostravano sintomi di deperimento, in filari con altre piante sintomatiche.



**Figura 10: Esempio del metodo di campionamento**

Dopo aver rimosso lo strato organico superiore, per ognuna delle sei piante, è stato prelevato il campione, costituito da tre trivellate effettuate lungo la fila a circa 20-30 cm dal gocciolatore e dal tronco e ad una profondità variabile dai 20 ai 40 cm. Queste successivamente sono state mescolate e poste in un sacchetto nominato, dando origine al singolo campione della pianta in oggetto.



*Figura 11: Prelievo del campione di suolo*

Prima di procedere alle analisi, i sacchetti contenenti i campioni sono stati aperti, posti in un contenitore di alluminio ed essiccati in forno a 60°C fino a peso costante per poi essere pesati al fine di determinare il peso secco dell'unità di terreno.



*Figura 12: Determinazione del peso del campione di terra*

Dopo la determinazione del peso dell'unità di suolo, il campione è stato immerso in acqua per circa 30 minuti, successivamente si è provveduto ad un lavaggio delicato sotto acqua corrente, utilizzando un setaccio da 0,21 mm per raccogliere la maggior parte dei frammenti di radice.



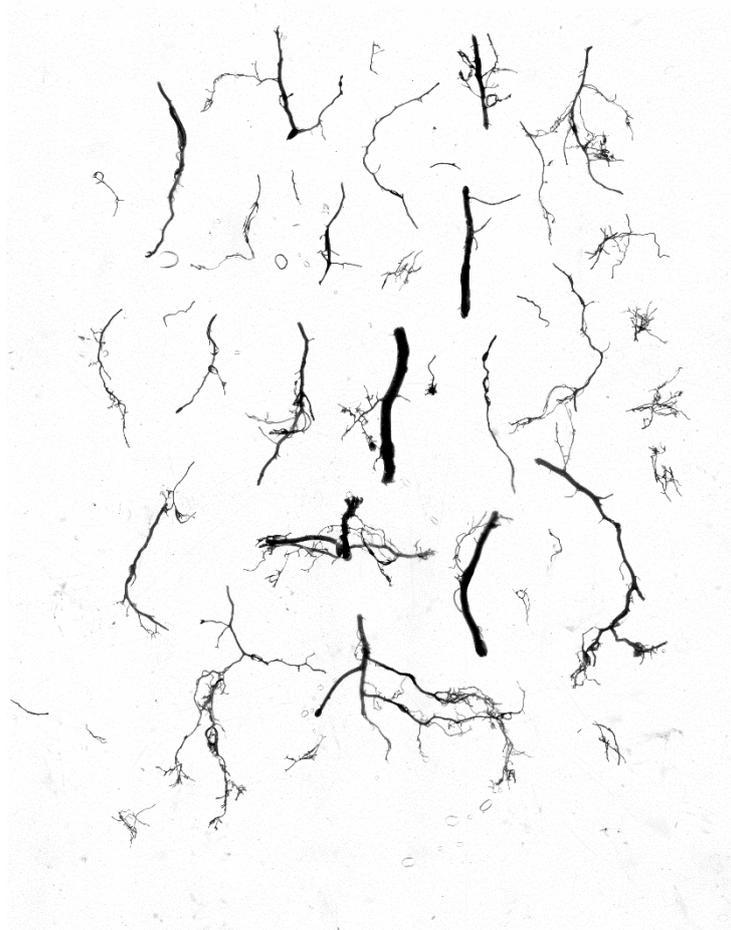
*Figura 13: Lavaggio delicato del suolo*

Le radici risultanti dal processo sono state raccolte con una pinzetta e pulite accuratamente, evitando che piccole particelle organiche o minerali potessero alterarne il peso, poi sono state asciugate con l'ausilio di carta assorbente.



*Figura 14: Pulizia e asciugatura delle radici*

Le radici sono state poi disposte in un foglio trasparente, attraverso l'ausilio di pinzette, in maniera ordinata evitando sovrapposizioni e analizzate, successivamente, con il software per l'analisi radicale WinRhizo ( Regent Instrument Inc., Canada, 2021). Le scansioni effettuate con questo software hanno permesso di determinare la lunghezza totale delle radici presenti nei campioni, il diametro medio e la densità radicale complessiva (cm/Kg di terreno).



*Figura 15: Esempio di scansione radici con WinRhizo*

A seguito della scansione, le radici hanno subito un processo di asciugatura in forno a 60°C fino a peso costante e, dopo aver effettuato la discriminazione tra radici assorbenti e radici pioniere, ne è stato determinato il peso secco utile per la definizione della densità radicale.

In conclusione, a seguito delle analisi svolte, sono stati elaborati i seguenti parametri:

- **Peso radici assorbenti;**
- **Peso radici pioniere;**
- **Lunghezza totale;**
- **Diametro medio.**

Da questi sono stati poi calcolati:

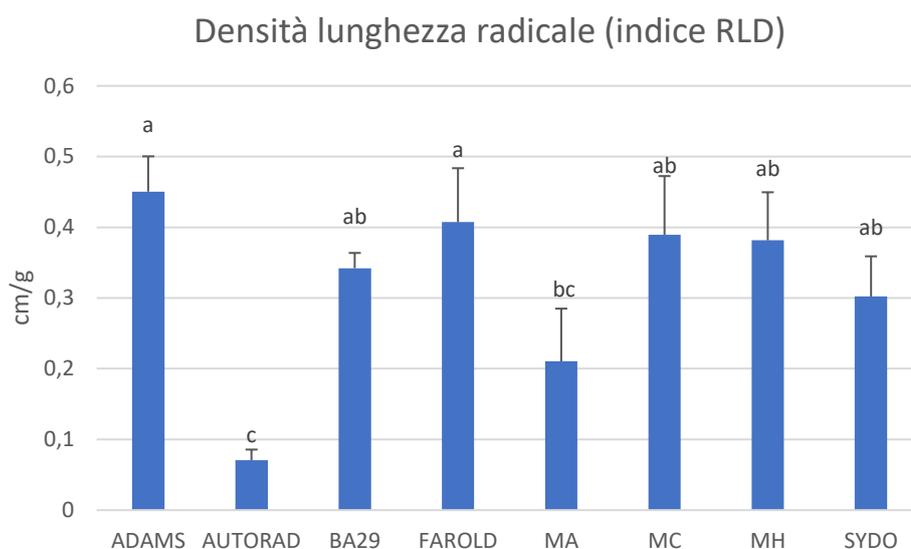
- **Densità radici assorbenti e pioniere** (peso radici/peso campione)
- **Densità lunghezza radicale** (lunghezza totale/peso campione)

## 4. RISULTATI

A seguito delle analisi effettuate sono stati accertati tutti i dati rilevanti ai fini della prova; di seguito vengono, pertanto, riportati graficamente i risultati ottenuti dalle prove svolte, a cui segue un commento relativo al parametro valutato. Nella prova vengono messi a confronto i diversi portinnesti valutando: densità lunghezza radicale, diametro medio delle radici e il rapporto tra radici assorbenti e radici pioniere sul peso totale delle radici.

### - **DENSITA' LUNGHEZZA RADICALE**

Osservando i valori medi dell'indice RLD (Root Length Density) riportati nel *grafico 1*, è possibile dedurre che: la densità radicale di Adams e Farold 40, si è dimostrata superiore rispetto alla maggior parte degli altri portinnesti in esame, con valori in cm/gr di suolo pari rispettivamente a 0,45 e 0,40; l'autoradicato rappresenta l'estremo inferiore (0,08 cm/gr) poiché è stato prelevato in un neo-impianto, e perché l'apparato radicale del pero autoradicato non risulta particolarmente denso; i cotogni MC (0,38) ed MH (0,37) presentano un comportamento quasi del tutto analogo, con un discostamento di densità ascrivibile al nullo e molto vicino ai valori massimi registrati in Adams e Farold 40; BA29 e Sydo si attestano, per i valori di densità radicale, rispettivamente a 0.35 e 0.30 mentre l' MA risulta il cotogno con la minor densità di lunghezza radicale poiché la risultante della media dei campioni è pari a 0,21 cm/g di suolo.

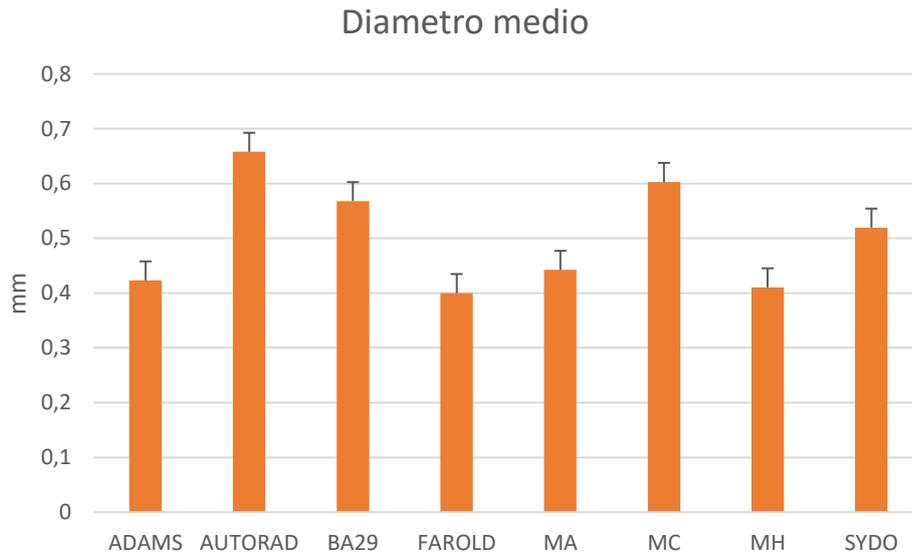


**Grafico 1: Densità lunghezza radicale (cm/gr) dei diversi portinnesti.**

Le barre di errore rappresentano la deviazione standard. Lettere diverse indicano differenze significative per il test HSD Turkey,  $p > 0.05$ .

#### - **DIAMETRO MEDIO**

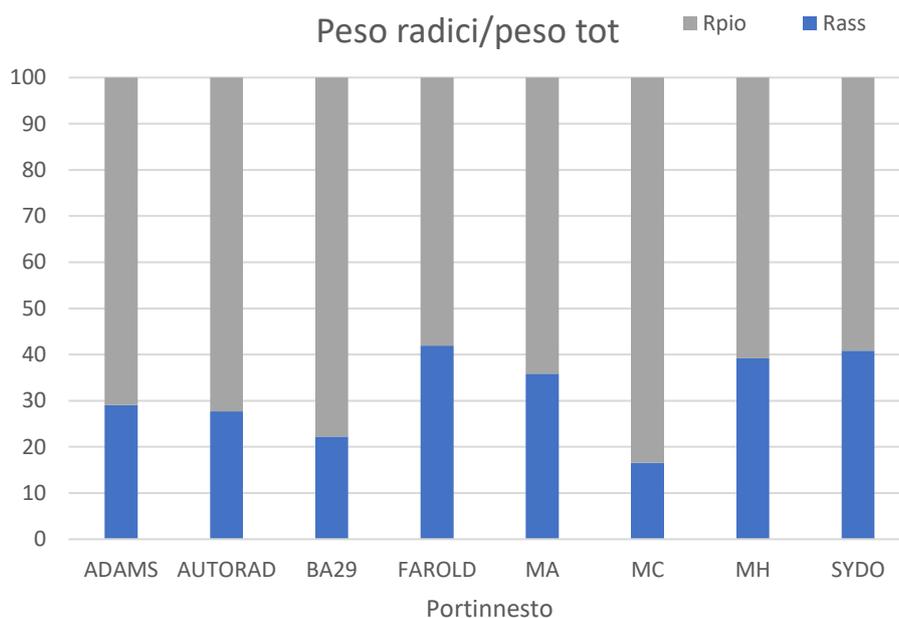
I valori riguardanti il diametro medio delle radici, vengono riportati nel *grafico 2*. Le differenze tra portinnesti non risultano significative, ma è comunque possibile osservare come, al contrario della densità di lunghezza radicale, l'autoradicato presenti il diametro medio più alto pari a 0,65 mm dettato, con molta probabilità, dall'alto vigore che determina l'auto-radicazione (De Paoli, 1987) e dalla forte espansione radicale che contraddistingue le giovani piante, messe a dimora nel 2020. Seguono in ordine, il cotogno MC (0.6mm) che rappresenta il valore più alto degli impianti nello stadio di *Maturità* (equilibrio vegeto-produttivo), BA29 con un diametro medio registrato, negli impianti di Fregni, Garuti e Golinelli, equivalente a 0,56 mm, Sydo (0,51 mm), Cotogno MA (0,45 mm), Adams e Cotogno MH (0.42 e 0.41 mm) ed infine il Farold (0.4mm) che espone un diametro medio inferiore ma assimilabile ai campioni precedenti poiché il discostamento è breve.



**Grafico 2: Confronto del diametro medio dei portinnesti espresso in mm**  
 Le barre di errore rappresentano la deviazione standard.

- **PESO RADICI / PESO RADICI TOTALE**

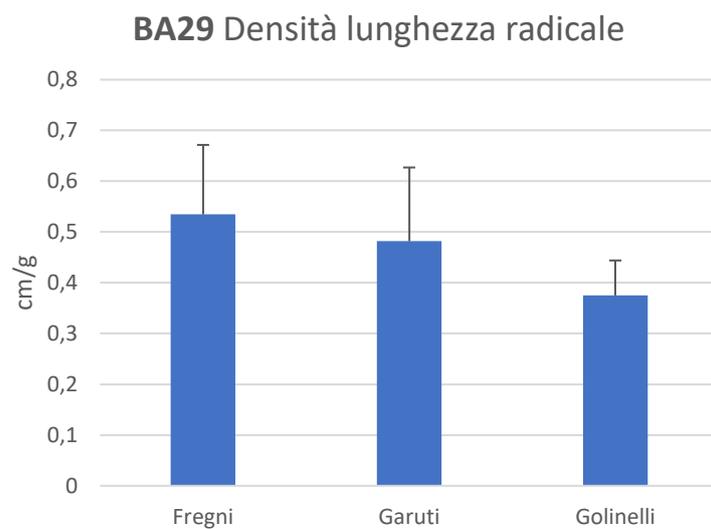
Nel *Grafico 3* sono espressi i dati attinenti al rapporto tra il peso delle radici assorbenti (con diametro <0.26 mm) e quello delle radici pioniere (con diametro >0.26 mm) rispetto al peso totale delle radici del campione. Da questo è possibile osservare come il Farold 40 presenti il 40% di radici assorbenti sul totale, ponendosi così all'apice rispetto agli altri portinnesti sotto questo aspetto. Mettendo in relazione i 3 grafici esposti si deduce come **Farold40 presenti la più alta densità radicale unita ad un'alta quantità di radici assorbenti, pertanto, un basso diametro medio dell'apparato radicale.** Sydo e MH presentano caratteristiche analoghe, si discosta leggermente il cotogno MA che presenta una quantità di assorbenti del 35%; Adams, BA29 e l'autoradicato si pongono tra il 20 e il 30% mentre il cotogno MC, che presentava il diametro medio tra i maggiori, chiude al 15%.



**Grafico 3: Peso radici assorbenti e pioniere / Peso totale radici**

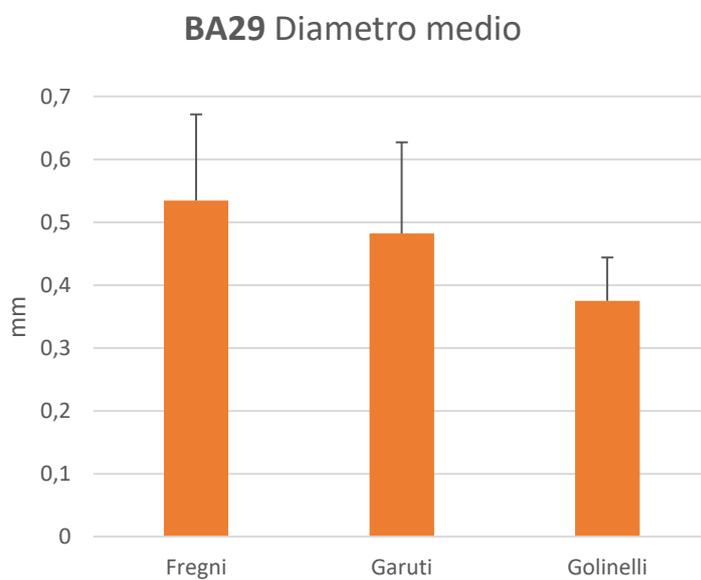
In conseguenza dei risultati ottenuti, è opportuno contestualizzare il discorso per ogni singolo portinnesto. Di seguito vengono analizzati il diametro medio e la densità di lunghezza radicale di tre portinnesti quali BA29, Farold40 e Sydo presenti singolarmente in più aziende in modo tale da sottolineare la variabilità nello sviluppo che questi presentano in relazione alle condizioni pedo-climatiche e alle differenti gestioni.

- **BA29:** Presente nelle aziende Fregni, Garuti e Golinelli, le tessiture del suolo risultano essere simili ovvero franco-limoso argilloso. Densità di lunghezza e diametro medio risultano avere un andamento analogo nelle tre aziende ( *grafici 4 e 5*). L'azienda Fregni presenta la maggiore densità di lunghezza radicale (0,52 cm/g) e il maggior diametro medio (0,53mm) delle radici; contemporaneamente Garuti mostra valori poco discostanti in negativo, mentre Golinelli, si posiziona in basso sia per quanto riguarda la densità di lunghezza radicale e sia per il diametro medio delle radici (<0.4). Le differenze risultano minime, con molta probabilità, in parte dettate dalla differente gestione idrica del frutteto (volumi e turni).



**Grafico 4: Densità lunghezza radicale BA29**

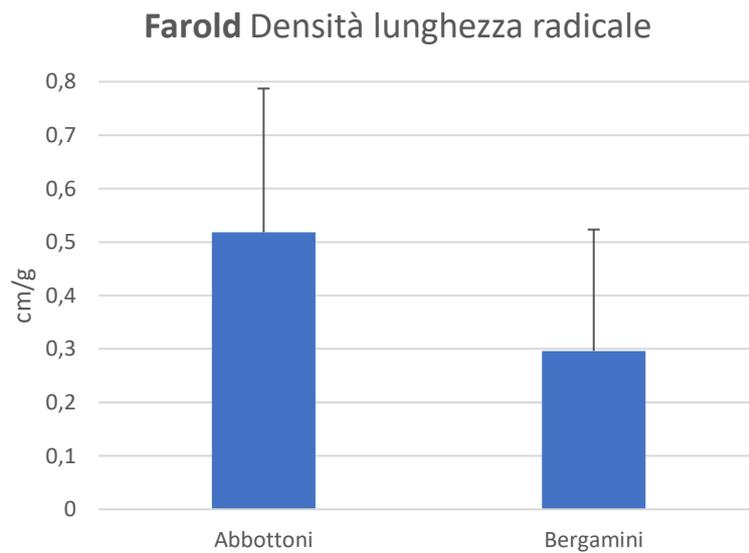
*Le barre di errore rappresentano la deviazione standard*



**Grafico 5: Diametro medio radici BA29**

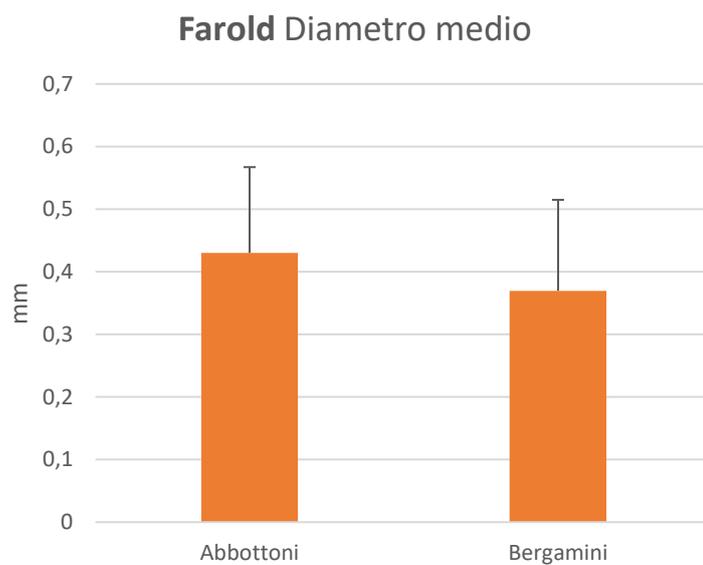
*Le barre di errore rappresentano la deviazione standard*

- **FAROLD 40:** Presente contemporaneamente nelle aziende Abbottoni e Bergamini, caratterizzate dalla medesima tessitura ossia franco-argilloso limoso ma con un differente sistema di irrigazione. Dai *grafici 6 e 7* si deduce come nell'azienda Abbottoni il Farold 40 presenti una maggiore densità radicale ma un diametro delle radici poco differente, rispetto all'azienda Bergamini.



***Grafico 6: Densità lunghezza radicale Farold40***

*Le barre di errore rappresentano la deviazione standard*



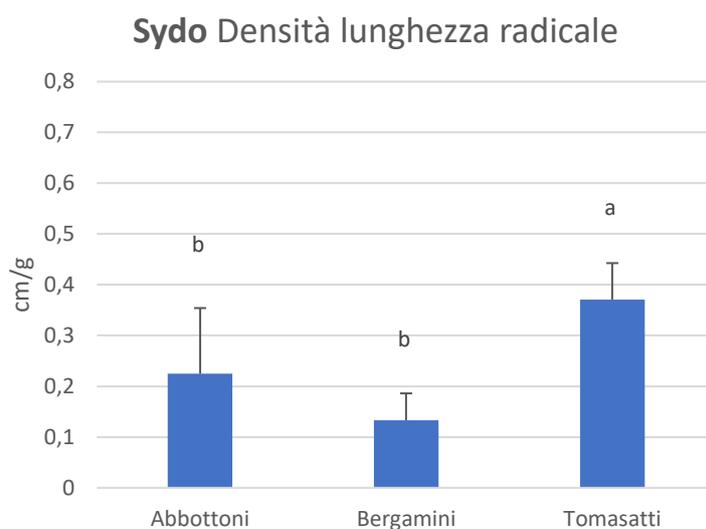
**Grafico 7: Diametro medio Farold40**

*Le barre di errore rappresentano la deviazione standard*

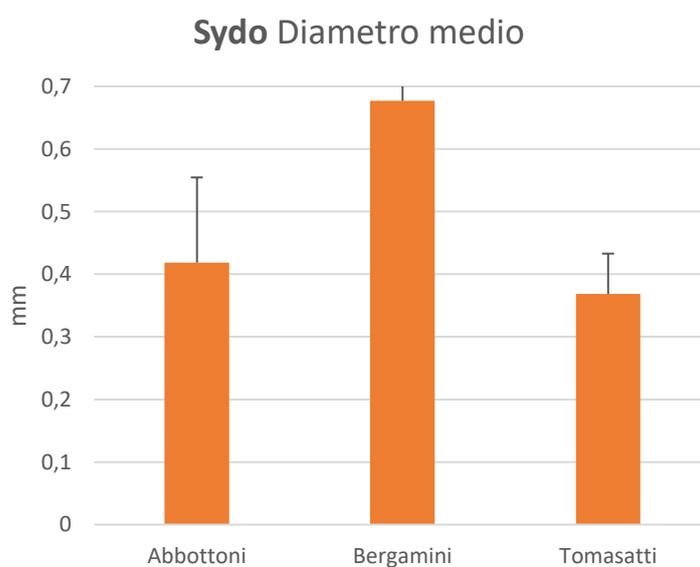
- **SYDO**: Presente contemporaneamente in 3 aziende: Abbottoni, Bergamini e Tomasatti. A differenza degli altri due portinnesti, dove l'andamento della densità rispecchiava quello del diametro medio, in Sydo i valori risultano discostanti (grafici 8 e 9). Da notare come Bergamini sia contraddistinto dalla caratteristica di possedere la minor densità di lunghezza radicale e contemporaneamente il maggior diametro medio delle radici (radici corte e spesse).



**Figura 16: Scannerizzazione Radici Sydo (Bergamini)**



**Grafico 8: densità lunghezza radicale Sydo** Le barre di errore rappresentano la deviazione standard. Lettere diverse indicano differenze significative per il test HSD Turkey,



**Grafico 9: Diametro medio radici Sydo**

Le barre di errore rappresentano la deviazione standard.

## 5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

Il tipo di portinnesto influenza notevolmente lo sviluppo dell'apparato radicale del pero. Il parametro utilizzato in questa tesi per l'analisi radicale è stato l'indice RLD (Root Length Density) espresso in centimetri di radice su grammi di suolo (cm/g); insieme a questo, è stato considerato anche il diametro medio espresso in mm e il peso di radici assorbenti e pioniere sul totale delle radici. Ancora incerti sono i fattori che hanno portato all'esteso deperimento delle coltivazioni di pero in Emilia-Romagna, ma tra questi di certo ha influenza il tipo di portinnesto utilizzato. Da quanto osservato nella presente tesi, è possibile trarre delle conclusioni generali sul comportamento dell'apparato radicale del pero e del diverso sviluppo che mostrano i diversi portinnesti. Il fine è sempre quello di contribuire alla risoluzione di un problema importante come quello del deperimento, fornendo dei dati relativi alla radice, utili per il contrasto dello stesso. Analizzando i portinnesti presenti nelle aziende coinvolte nel progetto, è risultato che:

-**Adams** presenta una dotazione media di radici assorbenti ma un diametro medio delle radici basso, inoltre dimostra una spiccata densità di lunghezza radicale (la più alta registrata nella prova) che permette, insieme agli altri parametri, di avere un portinnesto caratterizzato da un grande sviluppo radicale e alta capacità di esplorare il suolo.

-**BA29** presenta poche radici assorbenti e, conseguentemente, un diametro medio delle radici, alto (il terzo in ordine gerarchico) e una media densità radicale (intermedia tra MC ed MH), si dimostra dunque caratterizzato da radici corte e di alto spessore (0.57 mm).

-**Farold 40** risulta il portinnesto con la quantità maggiore di radici assorbenti (41%), e quello con il più basso diametro medio delle radici (0.4 mm) e con la più alta, dopo Adams, densità di lunghezza radicale, pertanto, si presenta con un elevato sviluppo radicale e radici con un'alta capacità di assorbire. Un apparato radicale caratterizzato, dunque, da elevata efficienza.

-**Cotogno MA** ha una buona dotazione di radici assorbenti (il quarto livello rispetto ai portinnesti analizzati), un diametro delle radici medio basso e la più bassa densità di lunghezza radicale (0.2 cm/gr) escludendo l'autoradicato (poiché, come riportato in precedenza, questo è stato impiantato nel 2020, dunque, è ancora in fase di forte espansione radicale).

-**Cotogno MC** presenta la più bassa quantità di radici assorbenti della popolazione (15%), alto diametro medio (il terzo in ordine dimensionale) e alta densità radicale.

- **Cotogno MH** si pone al secondo posto per quanto riguarda la dotazione di radici assorbenti dietro a Farold e Sydo, conseguentemente presenta un basso diametro medio delle radici e una media alta densità di lunghezza radicale (il quarto dopo Adams, Farold40 ed MC).

-**Sydo** ha la più alta quantità di radici assorbenti (40%), a pari merito con il Farold 40, un diametro radicale medio-alto e, di conseguenza, medio-bassa densità di lunghezza.

Dalle analisi svolte si deduce come all'aumentare del valore di densità radicale, diminuisce quello relativo al diametro medio delle radici. Ciò è valido per la maggior parte dei casi ad eccezione dei Cotogni MA ed MC. Quest'ultimo in particolare è il più nanizzante dei portinnesti in commercio e presenta una elevata suscettibilità agli estremi termici, ovvero alle basse e alte temperature. I campioni di suolo sono stati prelevati nei mesi di agosto- settembre 2021, quando le temperature erano molto alte e superiori alle attese di circa 1.5 °C considerando il clima 1961-1990 (fonte: bollettino ARPAE agosto 2021). Considerando ciò è possibile che tali condizioni abbiano ostacolato lo sviluppo radicale, pertanto il comportamento inusuale del diametro radicale rispetto alla densità potrebbe dipendere proprio da condizioni climatiche estreme. Quest'ultimo è un esempio chiaro di come lo sviluppo radicale sia condizionato da più fattori (precedentemente riportati), e di come l'aspetto ambientale possa incidere direttamente, talvolta amplificando problematiche già presenti come è il caso Emiliano-Romagnolo. In conclusione è importante sottolineare che i risultati ottenuti mirano ad entrare a far parte ad un lavoro intrapreso da alcuni anni da parte della regione Emilia Romagna, enti pubblici e privati tra cui l'Università Politecnica delle Marche; il fine è pertanto quello di contribuire, alla messa a punto di linee guida al fine di consentire ai produttori la realizzazione di nuovi impianti di pero e la gestione di quelli già esistenti nel totale rispetto dell'ambiente e della risorsa idrica limitando al massimo l'esteso deperimento delle coltivazioni di pero partendo da una scelta del portinnesto adeguato alla singola tipicità.

## BIBLIOGRAFIA

- Georgofili, 2014. *I sistemi arborei da frutto di domani*. s.l.:s.n.
- Xiloyannis, C. & Dichio, B., 2006. L'irrigazione sostenibile in frutticoltura. *Agronomia*, pp. 507-517.
- Baldini, E., 1988. *Arboricoltura generale*. Bologna: s.n.
- Bargioni, G., 1965. Stato attuale e prospettive delle coltura del melo e del pero. *Rivista di ortoflorofrutticoltura italiana*, 49(5), pp. 331-355.
- Bellini, E. & Nencetti, V., 2007. Evoluzione delle cultivar e dei portinnesti per una frutticoltura in linea con le moderne tecniche di coltivazione e le esigenze di mercato. *Università degli studi di Firenze*, pp. 355-386.
- Bini, G. & Chisci, P., 1961. Alcune osservazioni sul reciproco comportamento delle radici del pesco e del pero. *rivista di ortoflorofrutticoltura italiana*, 45(4), pp. 345-352.
- Brasile, B. & DeJong, T. M., 2007. La riduzione del vigore delle piante arboree da frutto mediante il portinnesto. *Italus Hortus*, pp. 58-69.
- Coltura e cultura, 2016. *Il Pero*. s.l.:HRE edizioni.
- De Paoli, G., 1987. Micropropagazione delle varietà di pero. *L'informatore agrario*, pp. 71-73.
- Eissenstat, D. M., 2007. Dinamica di crescita delle radici nelle colture da frutto. *Italus Hortus*, pp. 1-8.
- El Shatnawi, M. & Makhad-meh, I. M., 2001. Ecophysiology of the plant-rhizosphere system. *J. Agronomy & Crop Science*.
- Evert, R. F. & Eichhorn, S. E., 2018. *La biologia delle piante di Raven*. s.l.:Zanichelli.
- Fanfani, R. & Boccaletti, S., 2021. *Il sistema Agro-Alimentare dell'Emilia-Romagna*. s.l.:s.n.
- Fini, A., 2007. Le radici attività e fisiologia. *Le basi di ACER*, pp. 111-112.

- Loreti, F. & Massai, R., 2002. I portinnesti del pesco. *L'informatore agrario supplemento 58*, pp. 36-42.
- Mannini, P., 2018. Qualità e uso dell'acqua di irrigazione. *Consorzio di bonifica per il canale Emiliano-Romagnolo*.
- Mariani, L. & Cola, G., 2006. Agrometeorologia ed esigenze idriche delle colture.
- Massetani, F., Neri, D. & Colombo, R., 2019. Forme di allevamento e sistemi di impianto del meleto.
- Musacchi, S., 2007. Le scelte dell'agricoltore per l'impianto del pero. *L'informatore agrario*, Volume 43, pp. 37-40.
- Musacchi, S., Iglesias, I. & Neri, D., 2021. Training systems and sustainable orchard management for european pear in the mediterranean area: a review. *Agronomy*.
- Neri, D., Sansavini, S. & Capobianco, M., 1989. Performance of micropropagated and budded pear trees: interaction between scion and dwarf-quince clones. *Acta Hortic*, Issue 256, pp. 69-76.
- Poni, S., Tagliavini, M., Scudellari, D. & Toselli, M., 1992. Influence of root pruning and water stress on growth and physiological factors of potted apple, grape, peach and pear trees. *Scientia Horticulturae*, Volume 52, pp. 223-236.
- Ranalli, P., 2019. *L'agricoltura per il contrasto ai cambiamenti climatici*. s.l.:s.n.
- Sansavini, S., Ancarani, V. & Neri, D., 2008. Overview of Intensive Pear Culture: planting density, rootstocks, orchard management, Soil-Water relations and fruit quality. *Acta Horticulturae*, Issue 800, pp. 35-49.
- Sansavini, S., Neri, D. & Ancarani, V., 2008. Innovazioni tecniche per migliorare l'efficienza produttiva e la qualità dei frutti nelle coltivazioni intensive. *Fitticoltura*.
- Santilocchi, R., 1996. Variazioni del paesaggio agricolo italiano in relazione all'evoluzione delle tecniche agronomiche. *Giornale botanico italiano*, Volume 130, pp. 102-111.
- Xiloyannis, C. & Montanaro, G., 2017. Frutteti e cambiamenti climatici. *Laboratorio Ecosostenibile*, Numero XXI, pp. 2-3.
- Zucaro, R. & Pontrandolfi, A., 2007. *Agricoltura irrigua e scenari di cambiamento climatico*. s.l.:s.n.
- Zucconi, F., 1997. *declino del suolo e stanchezza del terreno*. s.l.:spazio verde.

## RINGRAZIAMENTI

Con la presente voglio ringraziare i miei genitori per il sacrificio quotidiano, mia madre Anna e mio padre Emidio che mi ha trasmesso la passione per l'agricoltura, tramandandomi preziose nozioni fondamentali nel percorso di crescita formativo personale. Grazie a tutta la mia famiglia, in particolar modo ai miei fratelli Nicola e Samuele per essermi sempre vicino e ai miei nonni per i saggi insegnamenti. Un ringraziamento doveroso va a Fabrizio, collega e amico, all'esserci trovati e ritrovati e al non esserci più lasciati. Al "comunque vada...insieme!" frase che racchiude perfettamente il legame che ci unisce, che ormai è come una promessa. A tutti i bei momenti passati insieme e a quelli che verranno. Grazie di cuore! Grazie ad Alessia, anima pura, e agli amici tutti. Porgo i miei più sentiti ringraziamenti, infine, al Prof. Davide Neri e alla dottoressa Veronica Giorgi, figura fondamentale, che mi ha assistito pazientemente nella stesura di tale elaborato.