



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro Forestali

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN: Territorio, Ambiente, Risorse e Salute

INDIRIZZO: Ecologia

CICLO XXIII

## **RELAZIONI IDRICHE IN NOCCIOLO (*Corylus avellana* L.)**

**Direttore della Scuola:** Ch.mo Prof. Mario Aristide Lenzi

**Coordinatore d'indirizzo:** Ch.mo Prof. Tommaso Anfodillo

**Supervisore:** Ch.mo Prof. Tommaso Anfodillo

**Dottorando:** Michele Pisetta



*A Kronos,  
Il più valido fra gli avversari*

# INDICE

RIASSUNTO .....	6
ABSTRACT .....	9
PARTE PRIMA: RELAZIONI IDRICHE.....	11
INTRODUZIONE.....	12
Il nocciolo come pianta spontanea.....	12
Il nocciolo in agricoltura.....	16
Gestione del corileto .....	22
L'utilizzo dell'acqua nel nocciolo e l'importanza colturale.....	25
MATERIALI E METODI.....	28
Descrizione della varietà utilizzata .....	28
I Siti di Studio.....	29
Aree permanenti.....	29
Cravanzana (Italia) .....	30
Baldissero d'Alba (Italia).....	33
Aree Temporanee .....	34
Chitatskari(Georgia).....	34
Camarico (Cile).....	35
Springvallei (Sudafrica) .....	36
STRUMENTAZIONE E CAMPIONAMENTI.....	37
Aree permanenti.....	37
Aree temporanee.....	39
OBIETTIVO .....	39
RISULTATI E DISCUSSIONI .....	40
Aree permanenti.....	40
Aree temporanee.....	70
CONCLUSIONI.....	75
PARTE SECONDA: STIMA DELLA QUANTITA' DI CARBONIO IMMAGAZZINATO IN UN IMPIANTO DI NOCCIOLO .....	78
INTRODUZIONE.....	79
L'importanza della stima del carbonio assorbito nel settore agroforestale .....	79
Stima dell'assorbimento di carbonio .....	82
OBIETTIVO .....	83
MATERIALI E METODI.....	84
Area di rilievo e varietà .....	84

Metodologia d'indagine .....	85
Misurazioni in campo .....	86
Analisi di laboratorio .....	86
Fusto .....	86
Ramaglia e foglie .....	90
Determinazione del peso totale delle branche prelevate .....	91
Determinazione dell'area fogliare specifica .....	92
RISULTATI .....	94
Selezione delle piante campione .....	94
Tavola allometrica .....	94
Densità basale .....	99
Stima del carbonio assorbito .....	99
Determinazione dell'area fogliare specifica .....	102
CONCLUSIONI .....	104
Tavola allometrica .....	104
Stima del carbonio assorbito .....	104
Area fogliare specifica .....	105
ALLEGATI .....	109
BIBLIOGRAFIA .....	113

## RIASSUNTO

Il nocciolo (*Corylus avellana* L.) è una specie forestale che nel tempo è stata adattata a coltura agricola senza però modificare sostanzialmente le caratteristiche della pianta attraverso processi di miglioramento genetico. Per questo motivo si può considerare una specie semi selvatica e come tale non vi è una gestione agricola unificata che permetta di condurre il corileto in maniera efficiente. Il basso livello di input necessari per ottenere un raccolto soddisfacente fa sì che si stia diffondendo sempre di più, anche nei paesi industrializzati (Italia, USA, Francia) la sua presenza come specie coltivata. Esso compete con l'agricoltura specializzata ricavandosi una nicchia nei contesti marginali o nelle aziende agricole dove non si intende diversificare l'investimento mantenendo basso il rischio, grazie a questa dinamica espansionistica si osserva anche nei paesi con economie in transizione (Georgia, Azerbaijan, Cina).

A livello di gestione il deficit maggiore lo si rileva nel monitoraggio dello stress ambientale e nella gestione della risorsa idrica che sono stati poco analizzati soprattutto in contesti, come quello italiano, dove non si ritiene ancora necessaria l'irrigazione programmata delle piante durante i periodi siccitosi. Questo studio si propone di stabilire nel dettaglio il tipo di strategia che la pianta adotta per resistere al deficit idrico e, contestualmente, individuare degli indicatori semplici da utilizzare ed efficaci per poter delineare le linee operative per la gestione diligente di un impianto a nocciolo.

A livello di gestione il deficit maggiore lo si rileva nel monitoraggio dello stress ambientale e nella gestione della risorsa idrica che sono stati poco analizzati soprattutto in contesti, come quello italiano, dove non si ritiene ancora necessaria l'irrigazione programmata delle piante durante i periodi siccitosi. Questo studio si propone di individuare degli indicatori semplici da utilizzare ed efficaci per poter delineare delle soglie di intervento generalizzate nella gestione diligente di un impianto a nocciolo.

Sono state analizzate più aree localizzate in contesti geografici differenti, due aree permanenti sono state istituite in Italia presso i paesi di Cravanzana e Baldissero d'Alba in provincia di Cuneo e in queste è stata installata una sensoristica comprensiva di monitoraggio climatico, del suolo (con l'utilizzo di sonde multistadio) e dei processi fisiologici della pianta per mezzo di sensori di flusso linfatico e dei dendrometri. In parallelo sono state eseguite delle misure puntuali di scambio di gas grazie all'utilizzo di un porometro e di potenziale idrico ottenuto con una camera a pressione. Le aree permanenti sono state affiancate nel corso dei tre anni di indagini (2009-2011) da tre stazioni temporanee situate in grandi piantagioni industriali di nocciolo in Georgia, Cile e Sudafrica. L'analisi delle serie di dati ha messo in evidenza un andamento

particolare per il contenuto idrico del suolo. Lo strato più superficiale, monitorato con un sensore a 16 cm di profondità, ha evidenziato delle situazioni di carenza già durante il mese di maggio con la curva di ritenzione idrica che ha raggiunto valori minimi più volte durante l'anno e almeno tre volte durante la stagione vegetativa. È stato osservato come, durante questi casi di deficit le radici dei livelli più profondi si attivano cominciando ad utilizzare l'acqua a maggiore profondità (86 e 116 cm). Comprendendo queste dinamiche è stato possibile determinare i livelli minimi di contenuto idrico per ogni strato del suolo e concentrarsi quindi sulle interazioni della pianta durante questi periodi. Il flusso idrico misurato per due polloni per nocciolo ha evidenziato la sua dipendenza dal VPD (*Vapor Pressure Deficit*) durante le fasi di buona disponibilità idrica mentre è emersa una differenziazione del flusso in base al diametro a petto d'uomo dei singoli polloni durante i momenti di scarsa disponibilità di acqua. Le misure di scambio gassoso e quindi di assimilazione fotosintetica così come quelle di WUE (*Water Use Efficiency*) hanno messo in mostra delle differenze nella risposta delle piante tra il periodo di deficit (maggio) e quello con buona disponibilità di acqua (luglio). La poca disponibilità di acqua durante maggio unita agli elevati valori di VPD misurati potrebbe aver compromesso il corretto sviluppo vegetativo dei rami dell'anno, le conseguenze di questa criticità si potranno stimare solamente nel prossimo anno in quando questi rami saranno i portatori delle nocciole. La buona disponibilità e le condizioni climatiche favorevoli riscontrate durante luglio sono garanzia di un buon riempimento della nucula del frutto che avviene durante questo periodo. È stata ulteriormente verificata una dipendenza della resa allo sgusciato dalla temperatura media del mese di maggio con le nocciole che raggiungono valori più elevati in corrispondenza di temperature medie più elevate. Allo stesso modo un rapporto negativo tra produzione ad ettaro e temperatura media del mese di agosto è risultato essere ben correlato con il nocciolo in esame. In questo caso diviene fondamentale applicare un'irrigazione di soccorso ogniqualvolta venga individuato uno stress ambientale relativo alla disponibilità idrica durante questo periodo e prima della raccolta delle nocciole.

Nella seconda parte dello studio si è individuato un nocciolo modello, piantato a TGL, nel comune di Diano d'Alba (CN) e lo si è analizzato per determinare l'assimilazione di carbonio ovvero l'incremento di biomassa accumulata all'ettaro. Lo svolgimento dei lavori ha previsto l'abbattimento di 15 alberi modello (26 branche) per poter verificare la corrispondenza tra diametri di ingresso (Dbh) differenti e il peso secco epigeo corrispondente; la seriazione diametrica analizzata comprende un intervallo da 1 cm a 18 cm. In laboratorio è stato calcolato il peso fresco, il volume e, dopo trattamento in stufa, il peso secco di ogni singolo individuo preventivamente diviso in 3 categorie, fusto, rami (rami superiori ad 1 cm di diametro) e ramaglia (rami inferiori ad 1 cm di diametro). Contestualmente è stata pesata la massa fogliare di ogni

nocciolo ed è stata misurata strumentalmente l'area di selezionati campioni di foglie rappresentativi per ogni individuo.

Applicando le equazioni allometriche utilizzate per casi analoghi è stato calcolato l'accumulo di biomassa totale e diviso nelle sue frazioni, per ogni diametro preso in esame ed è stata costruita la curva di assorbimento del carbonio per individuo e all'ettaro. Misurando gli anelli e contandoli è stato possibile riferire questo valore relativamente all'età di ogni singola pianta anche se la significatività diminuisce per via delle molteplici variabili che concorrono a determinare lo sviluppo del popolamento. Allo stesso tempo è stata determinata l'area fogliare specifica SLA (*Specific Leaf Area*) grazie al quale è stato possibile giungere all'area totale riferita al diametro a 1,30 m che permette di confrontare rapidamente il LAI (*Leaf Area Index*) di individui diversi. Il procedimento ha ulteriormente permesso di calcolare la densità del legno del nocciolo che è risultata corrispondente alla bibliografia. Si è giunti alla creazione di una tavola allometrica per il nocciolo, strumento che mette in relazione il diametro e la fitomassa totale per stimare la biomassa totale epigea. I risultati ottenuti con questo lavoro hanno permesso di definire dei valori di assorbimento di carbonio ad ettaro potenzialmente utilizzabili nella definizione di progetti afferenti ai meccanismi del protocollo di Kyoto.

## ABSTRACT

In the first part of this work we assessed water relations that contribute to determine the behavior of a hazelnut (*Corylus avellana* L.) orchard.

Hazelnut can still be considered a semi-wild forestal plant that was domesticated through the years without undergoing substantial changes from its wild habitus. In particular genetic improvement, a technique that has been successfully applied to almost all fruit crops, didn't really take off for hazelnut and, of the few cultivars released in time, no one has been adopted globally. The lack of standardized cultivar in terms of adaptation and reactions to environmental factors has led the management of the hazelnut orchard to be frequently performed unprofessionally with many different theories applied. It has also to be considered the strong expansionistic momentum that the crop is experiencing both in industrialized countries (Italy, USA, France) and in economies in transition (Georgia, Azerbaijan, China). In the formers is competing with cash crops taking marginal land and carving its own niche on the market thanks to its effect of diversifying agricultural investments and keeping the risks low. The main drawback this crop is subject to is the lack of a proper monitoring of environmental stresses, especially those related to water use and its implications in the functioning of the plant. Particularly the Italian scenario, where most of the orchards are thought not to be needing scheduled irrigation, suffers from recurrent water deficits that alter production and pose a threat to plants' health. The object of this work is to individuate simple key performance indicators that could be effectively used to determine risk thresholds for the need of a temporary irrigation in the productive orchard.

To do so the work was carried out in several different areas that highlighted dissimilar parameters, two permanent plots were set up in the villages of Cravanzana and Baldisserod'Alba in the Piedmont region. Different parameters were measured using a full set of sensors among which a weather station, multilevel soil moisture probes, Granier's probes for sap flow and a dendrometer for stem radial variations. At the same time field measurements with a gas analyzer and a pressure chamber were conducted both in the permanent plots and in the temporary ones; these comprise sites in Georgia, Chile and South Africa. Soil moisture data showed a peculiar trend for the year 2011, the 16 cm stratum gave evidence about water stress situations already in May and other 3 stress events were detected throughout the growing season. When the most superficial level of the soil was completely depleted, deeper roots were observed to activate and to absorb water from lower levels such as the ones at 86 cm and at 116 cm. The investigations of these dynamics allow to define the thresholds for water depletion at each soil level thus to understand when the water content was minimal and to focus on the plant's reactions during these

events. Sap flow was correlated with VPD (Vapor Pressure Deficit) when water was available in good quantities while it became more related to the diameter at breast height of each individual when the water supply started to be scarce. Through the identification of the stress period during May and of a relatively safe period in terms of water availability in July, it was possible to spot consistent differences in terms of net photosynthetic rate and WUE (Water Use Efficiency) in all the trees. In particular the low water supply during May along with exceptionally high values of VPD could have affected the correct development of new twigs, it will be possible to estimate the consequences only next year since it will be these branches to bear the crop. On the other hand the favorable conditions encountered during the month of July are a reliable indicator for the filling of the kernel that takes place during this time of the year. The kernel to shell ratio was found to be dependant from the average temperature during May with the highest values ranking always for the above average years. The same relations was expressed in the total production by hectare with the mean temperature of August that resulted to be detrimental in decreasing the yield when too high. The latter issue could be solved applying emergency irrigation when the water stress is detected during this period.

In the second part of the study a TGdL hazelnut orchard located near in the village of Diano d'Alba (Piedmont) was analyzed to determine carbon fixation by the plants also working out biomass accumulation per hectare. To do so 15 hazelnut trees (26 scaffolds) considered to be representative of a diameter range spanning from 1 to 18 cm where selected and cut at the collar. Once at the laboratory the samples where subdivided in 3 categories, stem, main branches (> 1 cm in diameter) and twigs (< 1 cm in diameter) and were measured for fresh weight, volume and, after being oven dried, dry weight. For each individual, leaves were weighted and leaf area was obtained by selecting representative samples of leaves. Biomass accumulation, for each fraction, was determined for each diameter of the range using already existing allometric relations, a carbon fixation curve was elaborated for each individual and by hectare. Ring count allowed to relate the results to the age of each plant but this value is not considered to be fully accurate because of the many parameters that concur in shaping the growth of the orchard through time. SLA (Specific Leaf Area) was determined as the LAI (Leaf Area Index) that derives from it. Wood density was measured in the process and it resulted in accordance with existing literature. The results of this work permit to rapidly retrieve the output, as total above ground biomass, using a simple input as breast height diameter, measured in the field. The resulting values are necessary in the development phase of any carbon related project within the Kyoto mechanisms framework.

## PARTE PRIMA: RELAZIONI IDRICHE

# INTRODUZIONE

## Il nocciolo come pianta spontanea

Nelle cenosi che caratterizzano l'ambiente nemorale il nocciolo riveste un ruolo di particolare importanza. Questa specie arbustiva, raramente rinvenibile nella forma di alberello, è una componente comune del piano dominato all'interno di boschi misti di latifoglie; occupa i diversi livelli altitudinali di presenza del bosco, dagli ambienti planiziali alla fascia subalpina (Del Favero, 2004).

Nello scenario forestale italiano il nocciolo è considerato uno dei più diffusi tra gli arbustie componente frequente del sottobosco e lungo i margini di boschi di conifere e latifoglie di tutte le regioni, dalla zona fitoclimatica del *Castanetum* a quella del *Picetum* (Gellini e Grossoni, 1997). Questa specie colonizza preferenzialmente i monti e i luoghi freschi ed ombrosi, resiste al morso e al calpestio del bestiame da pascolo fino a rivestire estese superfici in luoghi scoscesi e freschi dove serve a proteggere specie più nobili (Kirchlechner, 1900). Partecipa alla costituzione di boschi misti di latifoglie colonizzando con facilità suoli denudati o franosi, per questo motivo è sovente utilizzato per creare macchie su terre vergini o per consolidare scarpate e luoghi soggetti a dissesto idrogeologico (Zolla, 2005). Questa funzione la si apprezza nel bosco in particolare nel piano montano dove è diffuso come specie d'accompagnamento e assume il portamento a ceppaia con numerosi polloni ravvicinati di età e diametri diversi che svolgono un efficace ruolo di protezione nei confronti di massi di diametro inferiore ai 20 cm (Berretti *et al.*, 2006). La crescita in bosco è rapida, specialmente se può approfittare di sparse radure che si localizzano spesso nella micro topografia più svantaggiata del popolamento forestale; la riproduzione avviene in maniera agamica tramite ricaccio pollonifero da ceppaia o in maniera gamica con dispersione zoocora dei semi da parte della microfauna del bosco come roditori e avifauna (Yi e Zhang, 2007). Nelle nostre regioni lo si trova dalla pianura fino ai 1400 m con qualche individuo che può arrivare fino a 1600 m (Dalla Fior, 1985), oltre che sul territorio della penisola è segnalato sulle isole maggiori fino a Pantelleria purché la distribuzione delle piogge sia omogenea durante la stagione vegetativa (Trotter, 1951). Solitamente vive fino a 30-40 anni anche se si registrano spesso casi di individui più longevi la cui ceppaia rimane vitale fino a 100 anni (Pampanini, 1912).

A livello globale il genere *Corylus* ha probabilmente avuto origine in Cina differenziandosi poi nelle varietà conosciute oggi; la dinamica di diffusione principale si è però avuta successivamente alle ere glaciali (circa 8000 anni fa) quando il nocciolo ha ampliato il proprio areale partendo dai siti rifugio dove aveva trovato il clima che gli permettesse di sopravvivere ai ghiacci (Hummer, 2001; Boccacci e Botta, 2009). Alcuni autori (Andersson, 1902; Tallantire 1981) basandosi sui rinvenimenti di polline fossile, sostengono che l'andamento di diminuzione delle temperature tardo estive (agosto-settembre) verificatosi durante la fase Preboreale di circa 7000 anni fa avrebbe ridotto l'areale boreale del nocciolo di circa un terzo. Le successive dinamiche di distribuzione sono da attribuirsi all'intervento dell'uomo che verrà illustrato in seguito. Ai giorni nostri, il nocciolo allo stato naturale si presenta in molteplici specie differenziate tra loro da diversi caratteri morfologici e fisiologici. Questa diversità genetica è ascrivibile alla facilità di ibridazione interspecifica che ha portato a riconoscere e descrivere 25 specie distinte (Erdogan e Mehlenbacher, 2000). La panoramica generale delle più importanti specie spontanee ascrivibili al genere *Corylus* è la seguente:

- *Corylus avellana* L. – Nocciolo europeo
- *Corylus colurna* L. – Nocciolo arboreo turco
- *Corylus chinensis* Franchet – Nocciolo arboreo cinese
- *Corylus cornuta* Marshall – Nocciolo a becco
- *Corylus americana* Marshall – Nocciolo americano
- *Corylus heterophylla* Fisher – Nocciolo siberiano
- *Corylus ferox* Wall. – Nocciolo dell'Himalaya

Prendendo in esame i contesti territoriali più importanti per la diffusione del nocciolo si osserva la distribuzione a livello di Europa geografica (Fig. 1), qui le specie diffuse sono principalmente il *C. avellana* seguita da *C. colurna*, il nocciolo arboreo che può raggiungere i 25 m di altezza e che si incontra nei Balcani e nella parte più orientale della penisola anatolica.



Fig. 1, Distribuzione europea del nocciolo selvatico, Museo naturalistico di Mombasiglio.

Negli altri continenti il nocciolo trova una distribuzione meno omogenea rispetto a quello europeo ricavandosi delle isole di presenza che sono determinate principalmente dall'orografia dei grandi gruppi montuosi. In America del nord si riscontrano le specie *C. cornuta* e *C. americana*(Fig. 2); di dimensioni minori rispetto a quelle europee si dimostrano però più resistenti alle condizioni ambientali avverse come il deficit idrico e nel caso del *C. americana* la resistenza al freddo (Mehlenbacher, 1991) e alle patologie fungine. La pressione biologica di queste è sensibilmente maggiore sulla costa est del continente nordamericano dove fu originariamente introdotto *C. avellana* ma recentemente anche nella costa ovest dove si trova la quasi totalità della produzione statunitense di nocciole da esportazione e una discreta densità di nocciolo selvatico (Molnaret *al.*, 2005). Le due specie selvatiche nominate poc'anzi, danno origine ad una densa formazione arbustiva nelle foreste di pioppo della fascia settentrionale della regione dei Grandi Laghi dove costituisce la componente principale del piano dominato e rappresenta circa il 30% della fotosintesi lorda dell'intera foresta (Black *et al.*, 1996).

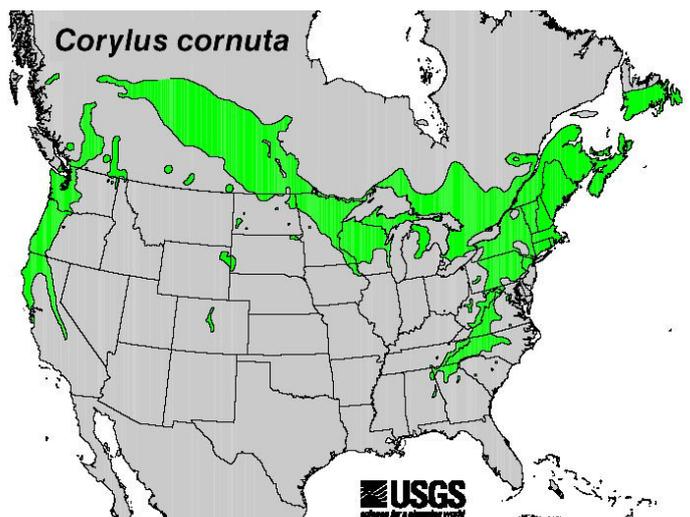


Fig. 2, Distribuzione di *C. cornuta*(USGS North American Distribution Map)

La diffusione del nocciolo in Asia è confinata in particolar modo in Cina, dove le specie *C.heterophylla*, *C.chinensis* e *C.ferox* si riscontrano in almeno 22 province del paese (Fig. 3) e dove costituiscono fonte di alimentazione per la popolazione locale (Wanget *al.*,2011).Qui il nocciolo si spinge fino a 800 m di quota e assume principalmente la forma di cespuglio in consorzio con la betulla, il pioppo e la quercia dove occupa il piano dominato raggiungendo altezze fino a 4 m (Long e Lu, 2005).

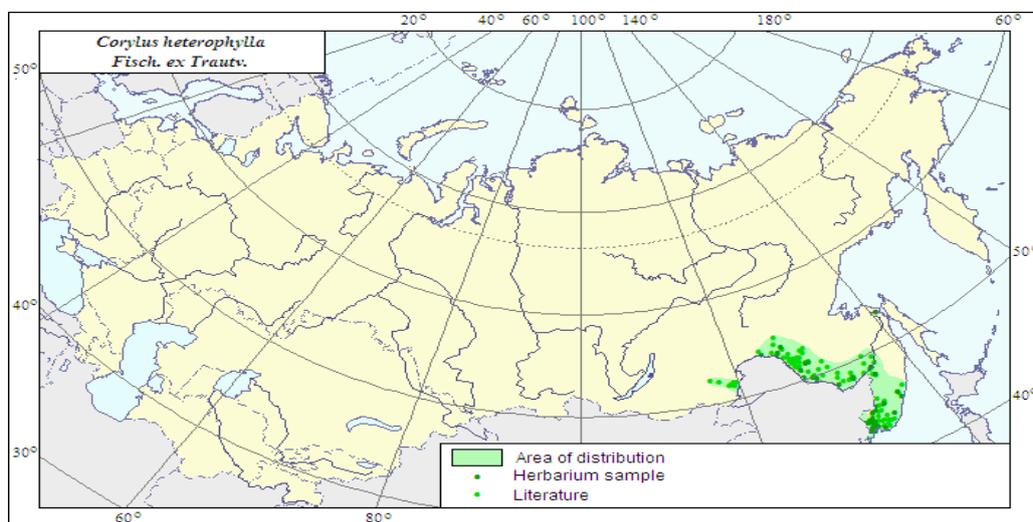


Fig. 3, Distribuzione di *C. heterophylla* nel continente asiatico, Smekalova e Ushakova.

## Il nocciolo in agricoltura

Il nocciolo ha accompagnato lo sviluppo umano con le sue molteplici funzioni; sovente si ritrovano nei testi popolari, così come nella storiografia (Trotter, 1951), riferimenti al suo utilizzo prevalentemente ubiquitario nei boschi ove trovadimora. I frutti, come fonte alimentare, il legno per produrre bastoni, utensili o semplicemente come legna da ardere, le foglie e i fiori in campo medico, sono parte della cultura popolare da centinaia di anni. Il primo contatto prolungato tra l'uomo e il nocciolo avviene probabilmente nel Mesolitico quando tribù nomadi ne facilitano la dispersione in maniera totalmente involontaria (Tallantire, 2002). Il più antico scrittore latino che menziona questa pianta è Catone (234-149 a.C.) che in *Liber de agricultura* consiglia la piantagione di noccioli nei poderi di campagna. Quasi due secoli dopo Plinio il Vecchio (23-79 d.C.) ricorda che la nocciola proviene da Ponto e dall'Asia Minore mentre Virgilio (70-19 a.C.) lo nomina nelle Georgiche (II, v. 394) come ottimo legno per arrostitire le carni. La convinzione più diffusa è quella che i Greci abbiano introdotto il nocciolo nel sud Italia e che poi i Romani ne abbiano diffuso la coltivazione, grazie alla loro capillare presenza nel Mediterraneo, in particolare con continui scambi di materiale vegetale con la Penisola Iberica. Sirago (1995) considera il secondo secolo dopo Cristo come il periodo di diffusione della coltura corilicola nel Lazio e nell'odierna Campania che divenne la base per l'esportazione del fruttifero in gran parte dell'impero. Successivamente la pianta si ritrova citata in documenti medievali italiani dall'800 fino al 1200 con il nome di "avellanieta", "abellanieta" e "nocilleta" (Trotter, 1951). La corilicoltura professionale prende però forma solamente alla fine del 1800 con la produzione che inizialmente si concentra nei paesi che si affacciano sul Mediterraneo come Turchia, Italia, Grecia e Spagna per poi specializzarsi anche al di fuori dell'areale naturale della pianta, con Georgia, Azerbaijan, Cile, Sudafrica, Australia che in misura diversa posseggono coltivazioni su larga scala (Creso, 2009). Ad oggi, la superficie mondiale piantata a nocciolo si attesta attorno ai 800.000 ha con una produzione variabile attorno alla media annuale (Fig. 4) di 1.000.000 di Mg (Me e Valentini, 2006, Pisetta comm. pers.).

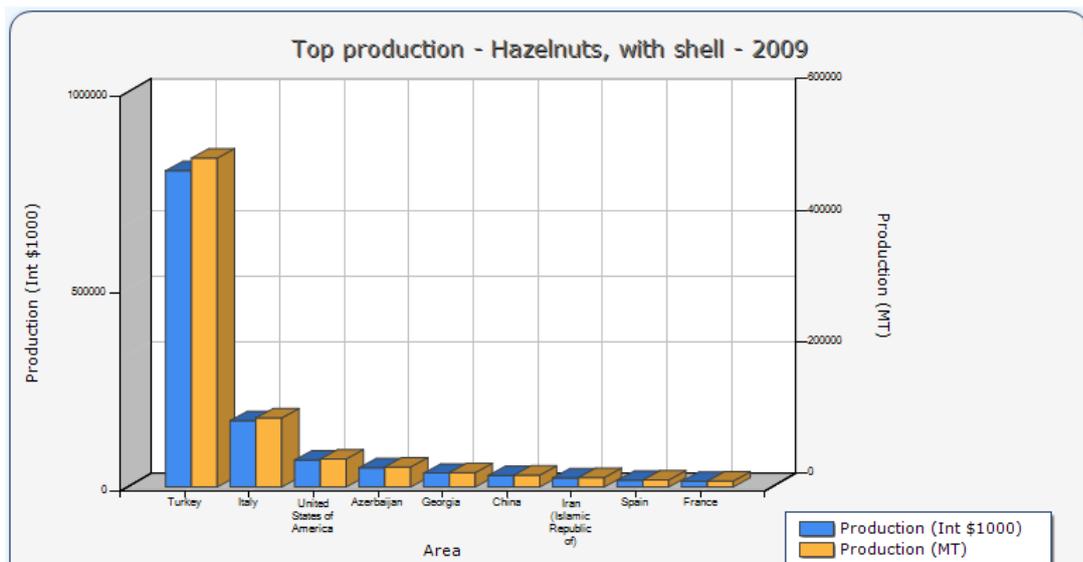


Fig. 4, Maggiori Paesi produttori di nocciole, produzione e valore commerciale (fonte: Faostat)

L'organizzazione mondiale per il cibo e l'agricoltura stima inoltre che negli ultimi dieci anni, a livello mondiale, le aree piantate a nocciolo siano cresciute del 13,9% mentre i paesi con una produzione corilicola significativa sono passati da 24 a 30. Le rese all'ettaro differiscono notevolmente da un paese produttore all'altro. La specie universalmente riconosciuta come la più adatta alla produzione di nocciole per l'industria dolciaria è *C. avellana* e delle oltre 500 varietà conosciute solamente una quindicina assumono importanza commerciale (Mehlenbacher, 2008). Allo stesso tempo l'attività di miglioramento genetico sul nocciolo è molto limitata e portata avanti quasi esclusivamente da un unico paese, gli USA, i cui ricercatori si concentrano principalmente sull'ottenimento di varietà resistenti alla malattia fungina dell'*Eastern filbert blight* (*Anisogramma anomala* (Peck) M.) e molto meno sulle caratteristiche vegetative e organolettiche di pianta e frutto (Mehlenbacher, 2005). Questa scarsa attenzione al miglioramento quantitativo della coltivazione ha determinato che i principali produttori risultino essere quei paesi dove la coltura è ancora gestita in maniera empirica e semiprofessionale. La Turchia, che contribuisce alla produzione con oltre il 75% delle nocciole mondiali, presenta una resa all'ettaro sensibilmente inferiore alla media mentre Italia e soprattutto USA fanno registrare delle produttività all'ettaro molto superiori alla media (Fig. 5). Si rilevano delle differenze sostanziali nei contesti produttivi dei principali paesi ma va segnalato come le rese di Cina e Iran non siano da considerarsi significative in quanto i due stati presentano superfici coltivate razionalmente di piccole dimensioni con gran parte del prodotto raccolto che proviene da piante selvatiche.

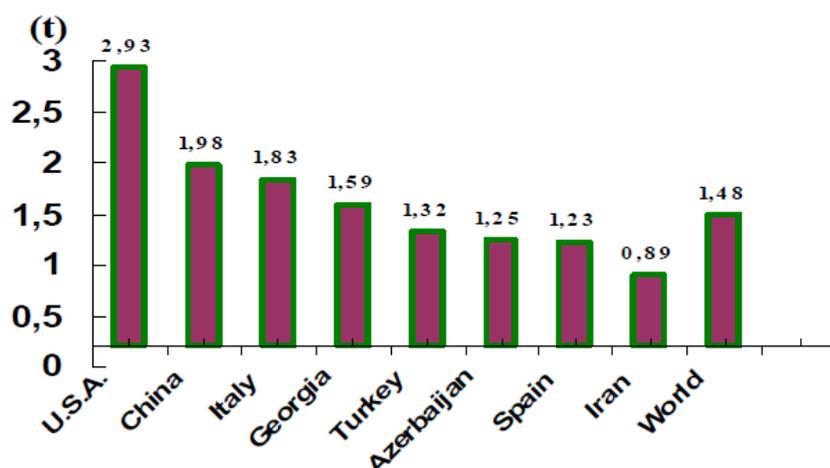


Fig. 5, Rese all'ettaro (in t ossia Mg) per i maggiori paesi produttori (Fidighelli e Salvador, 2009)

Come accennato in precedenza la Turchia è il maggior produttore mondiale di nocciole con un contributo rispetto al totale che, in alcuni anni, può arrivare all'80%. Il paese è caratterizzato da due zone di produzione ben delineate, quella storica situata sulla costa nord e denominata Mar Nero che costituisce più del 60% della produzione nazionale e quella di recente costituzione localizzata in Akcakoca (Fig. 6) che si contraddistingue per le coltivazioni più razionali e il discreto grado di meccanizzazione raggiunto.



Fig. 6, Aree principali per la coltivazione del nocciolo in Turchia (Fideghelli, De Salvador, 2009)

In Turchia la coltivazione del nocciolo è condotta a livello familiare con la superficie occupata dai singoli frutteti che raramente supera i 1,5 ha, l'irrigazione non è mai applicata e, all'alta densità di impianto (600-700 piante/ha), corrisponde una disposizione casuale dei noccioli che fanno assomigliare la piantagione ad un bosco (Me e Valentini, 2006). L'eccessiva pendenza e le

varietà locali che non lasciano cadere le nocciole al suolo a maturazione rendono difficile la meccanizzazione degli impianti che richiedono così un elevato uso di manodopera. L'insieme di questi fattori determina, come detto, una bassa resa all'ettaro che si attesta attorno agli 800-1200 kg (Koksalet *al.*, 2005). La nocciola turca, quando esente da difetti e ben conservata, presenta caratteristiche organolettiche molto apprezzate dall'industria dolciaria che la utilizza nella preparazione di innumerevoli prodotti grazie anche alla sua forma che, nella maggior parte dei casi, si presenta sferica.

L'Italia si fregia di una grande tradizione corilicola sia per quanto riguarda la coltivazione della specie che per quanto concerne l'utilizzo dei frutti soprattutto nella filiera dell'industria dolciaria di cui, per quanto riguarda la nocciola, è leader mondiale. Con una produzione superiore a 100.000 Mg annui (dati ISTAT) si posiziona seconda nello scacchiere mondiale con un peso del 15%. A livello nazionale si nota un andamento in diminuzione delle superfici coltivate a nocciolo negli ultimi anni. Ciò è determinato dall'abbandono della corilicoltura in Sicilia che rappresenta tuttora la terza area a livello nazionale (Alberghina, 2002) (Tab. 1).

Regione	Superficie (ha)	Variazione 2000-2004 (%)	Produzione (t)	Resa (t/ha)
Piemonte	8.510	+13,1	13.487	1,68
Lazio	18.971	+0,6	35.053	2,05
Campania	24.338	-7,9	45.047	1,93
Sicilia	15.409	-3,7	14.973	0,98
Altre	2.143	-	1.867	-
<b>Totale Italia</b>	<b>69.371</b>	<b>-2,2</b>	<b>110.428</b>	<b>1,69</b>

Tab. 1, Superfici investite a nocciolo, produzioni e rese ad ettaro (dati ISTAT).

La Campania con le provincie di Avellino, Napoli e Caserta è la principale regione produttiva con gli impianti che sono generalmente situati in posizioni collinari e senza una disposizione razionale delle piante all'interno del frutteto. Le densità sono elevate e molte volte si verifica una commistione di varietà all'interno dei singoli appezzamenti che porta a miscele di nocciole dalla forma rotonda e allungata che sono generalmente deprezzate al momento dell'acquisto. L'arretratezza del settore per quanto riguarda meccanizzazione delle operazioni colturali e post raccolta fa sì che, nonostante la posizione e i quantitativi prodotti, la Campania riesca a malapena a reggere la competizione della Turchia e delle altre regioni italiane (Piccirillo, 2002). Il panorama varietale rimane molto articolato con le varietà industriali Mortarella, S. Giovanni, Camponica, Giffoni, Tonda Bianca e Tonda Rossa che sono le più diffuse in tutte le provincie.

La produzione del Lazio si identifica con quella della provincia di Viterbo dove i terreni di origine vulcanica uniti alla pendenza dolce e regolare e alla disponibilità di acqua per l'irrigazione rendono le condizioni molto adatte alla coltivazione del nocciolo (Bignami, 2002). Grazie ai sesti razionali (400 piante/ha) e alla potatura regolare è stato possibile adottare una meccanizzazione spinta con la varietà utilizzata, Tonda Gentile Romana che si rivela molto produttiva. Questi fattori rendono il Lazio la regione italiana più efficiente nella coltivazione delle nocciole.

In Piemonte il nocciolo si trova nelle province di Cuneo e Asti dove, negli ultimi anni si è assistito ad un importante aumento della superficie coltivata (più 10% annuo dal 2005) (Creso, 2009). Le aziende, in genere sono di piccole dimensioni e non dispongono di alcun impianto di irrigazione. Il sesto di impianto è razionale con densità di 400-500 piante/ha ma le rese si mantengono basse per via dei pochi input colturali utilizzati (coltivazione semi-estensiva) e per la varietà utilizzata, la Tonda Gentile delle Langhe. Essa costituisce l'unica varietà disponibile in Piemonte ed è caratterizzata da una produttività sul lungo periodo molto altalenante e sicuramente inferiore rispetto alle corrispondenti varietà italiane ma tuttavia produce una nocciola di grandissimo pregio qualitativo (Valentini e Me, 2002).

Al terzo posto del panorama mondiale si trovano gli USA che con una produzione di oltre 30.000 Mg, concentrata nello stato dell'Oregon, vantano la resa all'ettaro più elevata (sovente oltre i 3 Mg/ha) a livello mondiale. Le varietà più utilizzate sono quelle che producono nocciole per il consumo da tavola e quindi Barcelona ed Ennis (Mehlenbacher e Olsen, 1996) che vengono allevate con struttura a monocaule in frutteti razionali (500 piante/ha) e fortemente meccanizzati. L'insorgenza del patogeno *Anisogramma anomala* (Peck) M. potenzialmente letale per tutte le varietà della specie *C. avellana* ha spinto fortemente verso lo sviluppo del programma di miglioramento genetico portato avanti negli stati dell'Oregon e del New Jersey ed ha permesso la creazione di nuovi cultivar ritenuti interessanti per la vigoria, la produttività e la tolleranza alle malattie (McCluskey et al., 2009).

In Spagna il nocciolo viene coltivato in diverse aree della Catalogna dove le cultivar Negret e Pauetet sono le più diffuse. Il sistema di allevamento più praticato è quello del cespuglio policaule dove la pianta è lasciata sviluppare secondo le proprie tendenze naturali. La superficie media della proprietà si attesta sui 5ha, il che dimostra come la filiera sia prettamente familiare. Tuttavia le condizioni climatiche di questa parte di penisola iberica non sono quelle considerate ottimali alla coltivazione di questa specie. Infatti i terreni calcarei e la scarsa

precipitazioni estive sono i maggiori fattori limitanti il suo sviluppo (Gispertet *al.*, 2005). Dal 1980 ad oggi la produzione spagnola ha fatto registrare un forte decremento causato da diversi fattori tra i quali lo stato fitosanitario, con una forte incidenza di virosi, la necessità di costanti e economicamente insostenibili irrigazioni e l'abbandono di zone non vocate (Me e Valentini, 2006).

La Francia, per contro, rappresenta un esempio concreto all'interno dell'Europa di come una filiera di dimensioni modeste possa condurre a risultati molto positivi in termini di produttività. Infatti i poco più che 3000 (2500 produttivi) ha situati nella regione dell'Aquitania garantiscono produzioni generalmente superiori ai 6000 Mg annui (INRA, 2004). Le varietà più utilizzate sono quelle che producono nocciole da tavola che rappresentano buona parte del commercio della cooperativa che gestisce tutta la superficie a nocciolo in Francia. Nonostante la prevalenza di Fertile de Coutard e Corabel, varietà relegate al ridotto mercato da tavola, la Francia, con l'aumento repentino della superficie coltivata, sta introducendo varietà da industria come l'italiana Tonda di Giffoni e la spagnola Pauetet.

Georgia e Azerbaijan costituiscono la totalità della produzione caucasica di nocciole ed insieme arrivano a circa 50.000 Mg di raccolto annuo. In entrambe le repubbliche si sta verificando una dinamica di rapido aumento delle superfici coltivate con le varietà locali che continuano ad essere largamente utilizzate nonostante le basse rese all'ettaro che garantiscono (1,2 Mg/ha in media) (Mirotadze, 2005). Le potenzialità di questi due paesi sono molto elevate sia in termini di biodiversità varietale sia di aumento della resa all'ettaro (Molnar e Pisetta, 2009) in quanto i risultati ottenuti ad oggi sono l'esito di una gestione irrazionale ed empirica con fertilizzazioni e trattamenti applicati sporadicamente a seconda della disponibilità economica del conduttore del frutteto. In Georgia domina la varietà Anakliuri che combina alle dimensioni ridotte e al debole vigore vegetativo la particolarità di mantenere almeno 30% delle nocciole sulla pianta a maturazione, di fatto sta impedendo una completa meccanizzazione dei nocciolati georgiani. La situazione si dimostra analoga in Azerbaijan dove la varietà principale, Ata Baba, fa cadere parte delle nocciole a terra solamente se vigorosamente scossa durante le fasi di completa maturazione del frutto.

Dalla seconda metà degli anni 2000 diversi paesi dell'emisfero australe tra cui Cile, Sudafrica e Australia stanno intraprendendo importanti passi verso la coltivazione del nocciolo su grandi estensioni. In particolare il Cile si dimostra produttivo e capace di influenzare alcuni mercati grazie alla contro stagionalità della produzione e alle elevate rese all'ettaro che si possono

ottenere per mezzo di irrigazione e fertilizzazione spinta. L'aumento elevato del consumo di nocciole che si sta registrando ultimamente nei paesi asiatici (al momento il consumo mondiale più elevato è di 2 kg pro capite in Svizzera) sta agendo da volano per la realizzazione di nuovi impianti soprattutto nel sud del mondo dove, complice l'abbandono di colture non più redditizie per colpa degli elevati input di coltivazione, il nocciolo sta acquisendo sempre più importanza (Cristoforetti *et al.*, 2008)

## **Gestione del corileto**

Il nocciolo coltivato si distingue dal suo progenitore selvatico per la forma di allevamento praticata e mantenuta con le potature, per i sestri di impianto razionali e per l'applicazione di fertilizzanti e fitofarmaci fino all'uso dell'irrigazione. Come ricordato da Cristofori (2005) "la qualità delle nocciole ha origine in campo" e può perfezionarsi o deteriorarsi nelle fasi del post raccolta ma l'impronta qualitativa è definita nel nocciolo in prima istanza. Risulta pertanto obiettivamente corretto definire la fase di "cura colturale" della pianta come quella più importante per influenzare le caratteristiche organolettiche e di utilizzazione industriale del frutto. Ecco che la vocazionalità dell'area di impianto acquisisce un'importanza strategica. Attualmente il nocciolo è relegato nei versanti esposti a nord dato che la più proficua coltura della vite occupa quelli più esposti al sole. La specie comunque, sfrutta la notevole capacità di acclimatazione vegetando e sviluppandosi in maniera consona anche in stazioni particolarmente fresche e svantaggiate rispetto alle zone pianiziali. Ciò si riverbera nella produttività che risentono dello svantaggio stagionale. Le uniche esigenze in fatto di substrato sono la permeabilità e la disponibilità di sali minerali che vengono utilizzati per la fruttificazione e il corretto sviluppo delle nucule. Il pH all'impianto non dovrebbe uscire dall'intervallo 5-8 (Zolla, 2005) ma sono riportati casi di noccioli in produzione su suoli con caratteristiche di acidità inferiore a questo limite (Piretta, comm.pers), il contenuto di calcare attivo non deve superare l'8% per non innescare fenomeni di clorosi. Le radici non vengono considerate profonde ma estese a raggiera per un'area di insidenza pari a quella della chioma (Fig. 7) e con una profondità media di 60-80 cm (Roversi 2001, Costa Leme e Assuncao, 2005).

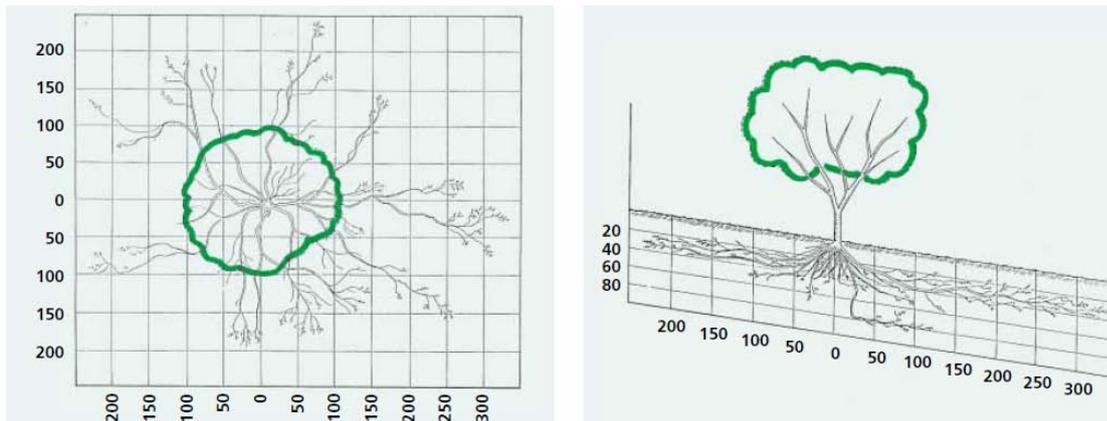


Fig. 7, Proiezione dell'apparato radicale e sezione trasversale di una pianta di Tonda Gentile delle Langhe (Eynard e Paglietta, 1962)

L'apparato radicale esteso superficialmente contribuisce a rendere più efficace l'assimilazione dell'acqua e dei nutrienti quanto questi sono disponibili in quantità sufficienti alla crescita e sviluppo della pianta che per la risorsa idrica si traduce in circa 800-1000 mm distribuiti equamente durante tutto l'anno per l'emisfero boreale. È stato dimostrato (Diaset *al.*, 2005, Gispertet *al.*, 2005) come un'irrigazione di supporto, erogata nei periodi di sviluppo del frutto e di massima crescita vegetativa, possa incrementare la qualità e la quantità della produzione fino ad arrivare ad incrementi del 20%. Nella costituzione di un nuovo frutteto le piante utilizzate sono generalmente propagate per pollone radicato o margotta di ceppaia (Bassilet *al.*, 1991) e quindi geneticamente uguali alla pianta madre progenitrice, questo garantisce uniformità di caratteristiche negli individui ma preclude spazi per miglioramento genetico che nel mondo della corilicoltura è pressoché inesistente. Nelle regioni corilicole italiane, nonostante la presenza di svariati vivai commerciali, numerosi impianti sono ancora eseguiti con materiale che proviene da polloni estirpati da corileti produttivi, sovente quindi il materiale non proviene da ceppaie certificate e controllate con i conseguenti rischi. La gestione colturale durante gli anni produttivi prevede una costante applicazione di azoto, in forma inorganica con composti ternari o in forma organica soprattutto nei paesi dove le condizioni economiche rendono attuabile solo questa seconda forma di concimazione. L'azoto, somministrato prima della crescita vegetativa e quindi nel mese di marzo, viene utilizzato solo in maniera parziale in quanto la pianta ricorre principalmente a quello immagazzinato negli organi di riserva (Olsen, 1997; Touse *al.*, 2005). Fosforo e potassio sono parimenti importanti per le fasi di fecondazione e sviluppo del frutto assieme ad un'importante azione di stimolazione radicale durante i primi anni di crescita. Il calcio detiene il compito di traslocare gli elementi nutritivi all'interno della pianta mentre in alcuni contesti territoriali, in particolare per gli impianti in Oregon, si ritiene importante una fertilizzazione fogliare a base di boro per migliorare le fasi dell'allegagione e la resa delle

nocciole (Painter e Hariman, 1957). Gli elementi sopra menzionati andrebbero dosati a seconda delle condizioni del suolo successivamente all'interpretazione delle analisi dello stesso, per convenzione si considerano dosi medie 120 kg/ha N, 50 kg/ha P e 90 kg/ha K.

La forma di allevamento è la caratteristica che differenzia gli impianti dei diversi contesti nazionali. Se la "filosofia turca" è quella di lasciar crescere e sviluppare le piante in maniera naturale e quindi con la forma a cespuglio multicaule, quella italiana è molto simile con alcune eccezioni costituite da allevamenti a vaso cespugliato in cui sono generalmente lasciate tre/quattro colonne o pertiche. In Francia e negli USA dove le piante sono irrigate e fertilizzate in maniera più incisiva viene preferita la forma a monocaule o alberello che tendenzialmente assicura una produzione maggiore a partire dal decimo anno di età della pianta (Me *et al.*, 2001) e facilita notevolmente la meccanizzazione delle operazioni colturali. Le densità di impianto variano dalle 200 piante/ettaro in piantagioni di vecchia concezione come quelle post sovietiche che si trovano nell'ovest dell'Azerbaijan fino ai sestri stretti che garantiscono 700 piante/ettaro nei frutteti che sono stati messi a dimora negli anni 2000 nell'emisfero australe (Baldwin *et al.*, 2007).

La potatura è consigliata su base annuale con un'attenzione particolare allo sfoltimento della parte interna della chioma per permettere alla luce di raggiungere tutti i getti in neoformazione stimolandoli per la differenziazione delle gemme e ottenere così un maggior numero di fiori femminili produttivi (Hampson *et al.*, 1996; Azarenko *et al.*, 1997). Recentemente si è assistito allo sviluppo della potatura meccanizzata attraverso trattatrici che azionano dischi rotanti, questa tecnica, seppur molto promettente e indispensabile sulle grandi superfici, richiede ancora dello sviluppo per poter ovviare a problemi di carattere fitosanitario creati da tagli e lacerazioni che inevitabilmente si verificano all'operare della macchina.

Le altre operazioni colturali quali il controllo delle malerbe, la spollonatura e la raccolta vengono effettuate, negli scenari più moderni, attraverso l'uso delle macchine e con prodotti chimici che garantiscono oltre ad un'esecuzione più veloce, un obiettivo risparmio monetario e un trattamento più omogeneo su tutta la superficie del corileto.

Un nocciolo commerciale viene considerato produttivo in un intervallo temporale di circa 30 anni anche se i 50 anni di produzione di nocciole sono facilmente raggiungibili in tutti i contesti e in Italia, in particolare nella zona di Viterbo, sono evidenziati appezzamenti con piante in buone condizioni che hanno superato gli 80 anni di età (Bucini, 2005)

## **L'utilizzo dell'acqua nel nocciolo e l'importanza culturale**

Considerando l'ampio territorio di distribuzione nel suo areale naturale pan europeo, il nocciolo dimostra di essere una specie con una buona capacità di acclimatazione ai diversi contesti stagionali. Nonostante questo, pur nella sua rustica veste di specie silvana diviene esigente sia per il clima che per alcune caratteristiche del suolo in cui deve crescere. Per gli impianti a nocciolo viene consigliata un'esposizione a nord fresca e su versanti poco ventosi (Trotter, 1951). Questa specie soffre infatti l'eccessiva aridità essendo sovente soggetta a stress idrico, specialmente durante i primi di anni di impianto (Natali *et al.*, 1988, Girona *et al.*, 1994). Le fitte ma fini radici sono estremamente superficiali (Tasias, 1975) determinando oltre alla sofferenza al deficit idrico una mal disposizione all'eccessiva umidità edafica quando questa si traduce in ristagno che velocemente le fa soccombere mettendo a rischio l'intera pianta (Bignami *et Natali*, 1997).

È stato dimostrato (Awada e Josiah, 2007) che il deficit idrico influisce significativamente sulla produttività, in particolar modo sul riempimento delle nocciole che si possono presentare raggrinzite o, nei casi più estremi, vuote qualora si verificano le condizioni di prolungate siccità durante la crescita del frutto (15 maggio – 15 giugno) e durante il suo riempimento (15 giugno – 1 agosto) (De Salvador e Monastera, 1997) (gli intervalli temporali indicati si riferiscono a stazioni situate nel territorio delle Langhe ma possono essere applicati a tutta la corilicoltura europea mentre vanno leggermente anticipati per quella turca e posticipati per quella americana e francese). I mesi di giugno, luglio e agosto quindi sono considerati quelli più critici per questa specie (Bignami, 1989). In particolare il frutto può soffrire lo stress idrico manifestando un'alta incidenza di vuoti e diminuzioni significative della resa allo sgusciato (Bostan e Gunay, 2009), allo stesso tempo è nota una correlazione positiva tra lunghezza dei rami di un anno ed attività produttiva per cui la riduzione della crescita vegetativa si riflette negativamente sulla produttività (Romisondo, 1963; Germain 1983).

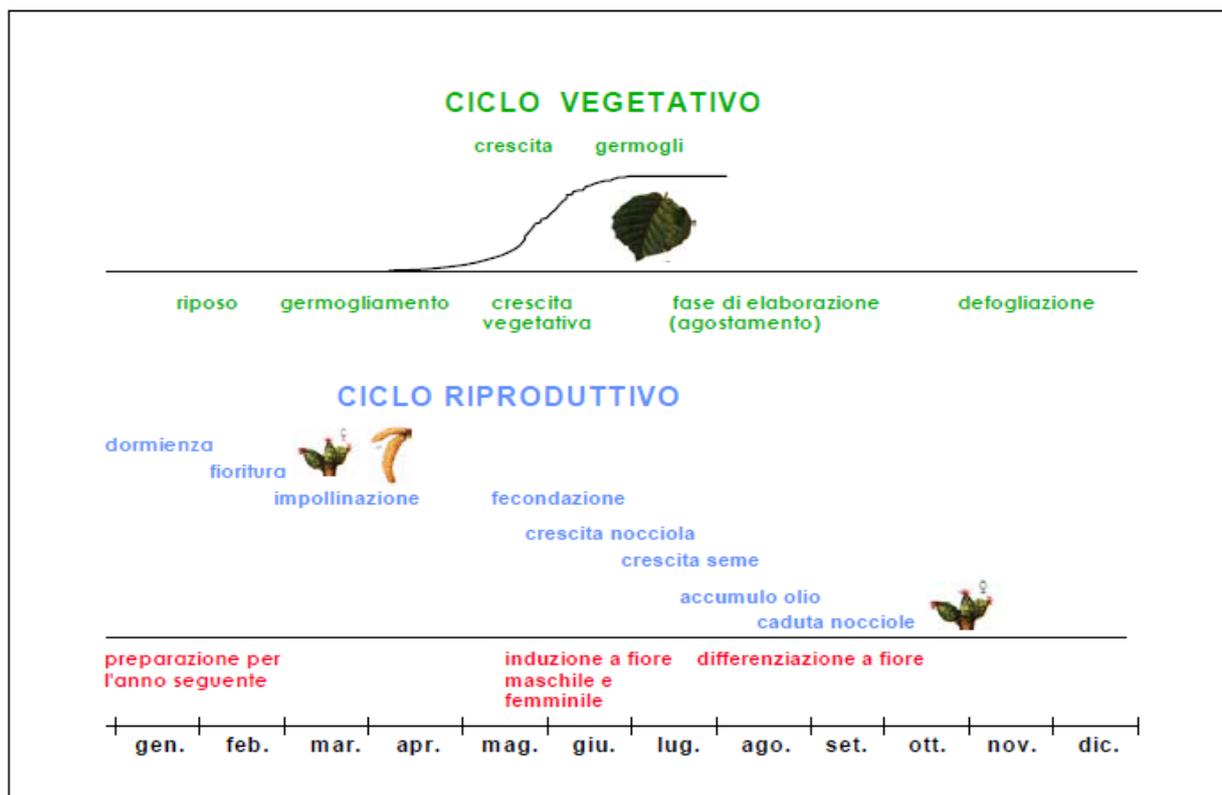


Fig. 8, Ciclo biologico annuale del nocciolo per le stazioni localizzate in Piemonte (Bignami *et al.*, 1999)

Per garantire un'elevata produzione ed una buona qualità della nocciola viene considerato favorevole un clima asciutto in inverno e durante l'inizio della primavera, con precipitazioni abbondanti in tarda primavera ed in estate per fornire il giusto apporto idrico alla crescita vegetativa e al riempimento del frutto nei mesi di luglio-agosto (Trotter, 1951). Delle quattro zone corilicole italiane solamente in Piemonte le precipitazioni vengono considerate sufficienti per soddisfare le esigenze della coltura mentre nel Lazio, Campania e Sicilia la mancanza di pioggia durante la stagione estiva causa fenomeni di deficit idrico che se non sono corretti con irrigazioni programmate portano a scompensi nel ciclo produttivo (Tasias eGirona, 1983). Gli apporti idrici vengono somministrati attraverso sistemi a goccia che garantiscono maggior efficienza d'uso dato che consentono un significativo risparmio. Il sistema più diffuso a livello mondiale è quello dell'ala gocciolante che porta due gocciolatori in prossimità (30-60 cm) del colletto della pianta.

Vi è quindi la consapevolezza che lo stato idrico giochi un ruolo fondamentale nella determinazione quali-quantitativa del prodotto. Tuttavia non sono ancora stati definiti, in modo razionale, quali siano i migliori regimi irrigui in quei contesti in cui l'acqua disponibile

naturalmente non è sufficiente a garantire il corretto sviluppo della pianta e del frutto. Ecco quindi l'importanza di studiare nel dettaglio le risposte della pianta alle diverse disponibilità idriche e di proporre metodi speditivi di monitoraggio che possano aiutare il gestore del corileto a massimizzare la produzione e a minimizzare l'uso dell'acqua.

Numerosi metodi sono stati applicati (Martino *et al.*, 1994; Baldwin *et al.*, 2007) per poter delineare una strategia per la corretta gestione dell'acqua, congruente alla gestione agricola semplificata, che è uno dei significativi vantaggi nell'uso di questa specie ma non vi è ancora un parere unanime su quale possa essere la migliore.

Il potenziale idrico misurato all'alba con la camera a pressione, come in altre colture arboree, pur essendo un metodo affidabile (Ameglio *et al.*, 1994) si dimostra troppo sensibile all'eterogeneità del suolo, troppo specialistico ed oneroso in termini di utilizzo di manodopera (Garnier et Berger, 1985; Ameglio, 1991), considerata l'impossibilità di automatizzare la misura per un monitoraggio in continuo.

È stato inoltre dimostrato (Schulze et Koppers, 1979; Farquhar *et al.*, 1980) come questa specie sia sensibile all'umidità atmosferica specialmente quando la carenza di questa è accompagnata da un forte vento secco. Tombesi (1992) ha provato come l'efficienza fotosintetica venga influenzata molto di più dagli eventi climatici di quanto non succeda per l'apertura stomatica della quale il nocciolo non sembra possa avere una grande capacità di controllo e regolazione durante i periodi di massimo stress. Questa mancanza è stata rilevata in numerosi studi di campo in particolare in recenti misurazioni sui noccioli francesi (Reigne, dati non pubblicati) che hanno evidenziato la tendenza della pianta ad un lento e irregolare recupero della conduttanza stomatica rispetto ai valori di stress che vengono raggiunti. L'impossibilità di chiudere gli stomi durante i periodi più caldi della giornata e quindi quando la traspirazione e la perdita d'acqua sono maggiori, determinano un consumo di acqua giornaliero molto elevato in alcuni casi. Tombesi (1994) in un esperimento di stima dell'acqua traspirata ha riscontrato valori in alcuni casi superiori a 3 litri  $m^{-2}gg^{-1}$  mentre la media si è attestata su 2 litri  $m^{-2}gg^{-1}$  considerando anche individui mantenuti artificialmente in condizioni di stress. Questo studio, assieme ad altri (De Salvador e Monastera, 1997) dimostra che, a differenza di altre colture da frutto, il nocciolo non reagisce in maniera positiva al deficit idrico regolato e quindi gestioni improntate sullo stress indotto si dimostrano penalizzanti sia per la fruttificazione che per la fioritura mentre la limitata crescita vegetativa va stimolata anziché penalizzata con deleterie strategie di stress idrico (Tombesi e Rosati, 1997)

## MATERIALI E METODI

### Descrizione della varietà utilizzata

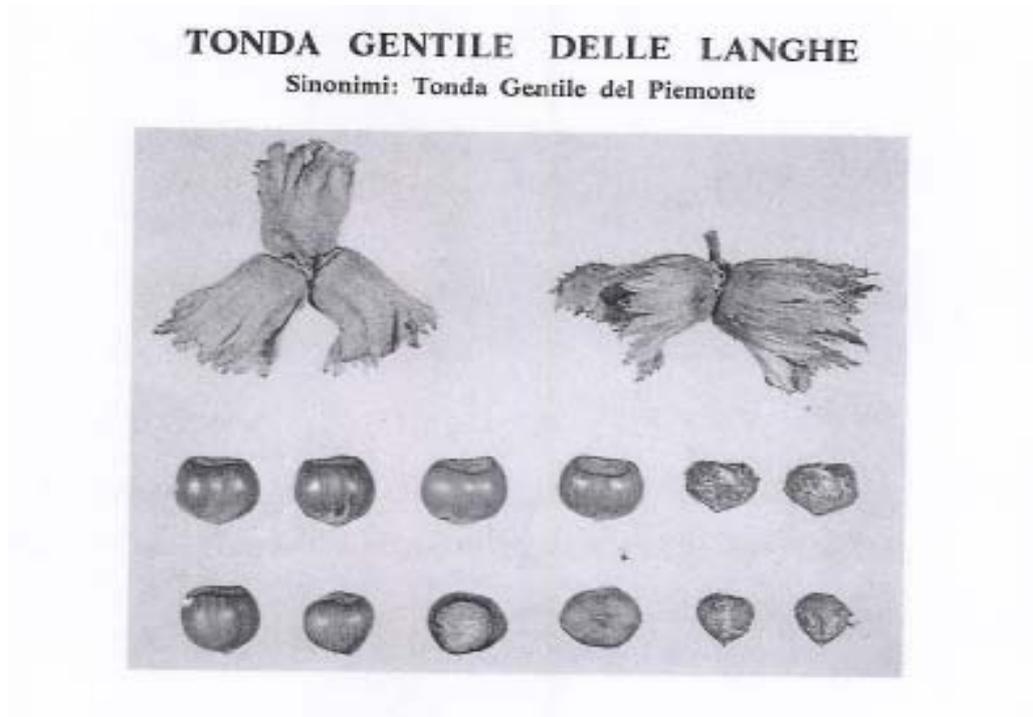


Fig 9., Monografia della varietà Tonda Gentile delle Langhe (Manzo, Tamponi, 1982)

La Tonda Gentile delle Langhe (abbreviazione TGL) è l'unica varietà di *C. avellana* produttiva che viene coltivata in maniera estensiva in Piemonte. Nel 1993 ha raggiunto lo status di IGP come "Nocciola Piemonte". In particolare è coltivata nella provincia di Cuneo dove ne sono presenti all'incirca 13.000 ha (Creso, 2009) ed è stimato un aumento delle superfici piantate pari al 5-10% annuo. Questa varietà è una delle meno definite a livello genetico nel panorama italiano in quanto è stata oggetto di selezione clonale ma i parentali non sono mai stati individuati in maniera precisa. Se lasciata crescere in natura TGL assume forma di cespuglio a causa della media vigoria e del portamento semi-espanso che spesso diviene oggetto di danni da neve se coperto da una pesante coltre. Il germogliamento è precoce e la pianta può raggiungere fino a 5 m di altezza con noccioli che sovente presentano individui dalle dimensioni diverse. Viene considerata molto precoce per la fioritura maschile mentre quella femminile è medio-tardiva. In Piemonte l'impollinazione viene delegata alle numerose piante selvatiche limitrofe ai frutteti ed è anche per questo motivo che le produzioni sono generalmente limitate attestandosi sui 1500-2000 kg ha<sup>-1</sup>.

La qualità organolettica del frutto sferoidale è molto elevata e viene ricercata sia dall'industria che per il consumo fresco-tostato per il suo gusto dolce. La resa allo sgusciato in media è del 47% con calibri medi della nocula attorno ai 13-15mm.

## I Siti di Studio

### *Aree permanenti*

I nocciolieti nei quali sono state installate le stazioni di rilevamento permanenti si trovano entrambi nella provincia di Cuneo (Fig. 10). In particolare l'area di Cravanzana (Alta Langa) è notoriamente vocata per la coltivazione del nocciolo mentre l'area di Baldissero d'Alba fa parte del Roero, regione geografica separata dalla precedente dal fiume Tanaro e contraddistinta da pendii più dolci unitamente ad una diversificazione dell'agricoltura maggiore.

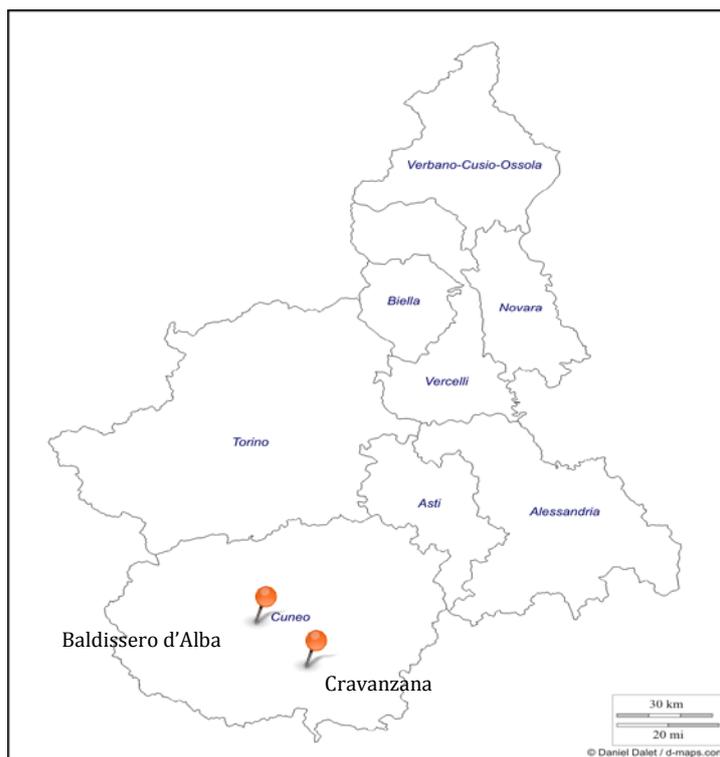


Fig. 10, Posizionamento delle due aree permanenti rispetto alla provincia di Cuneo in Piemonte.

## Cravanzana (Italia)

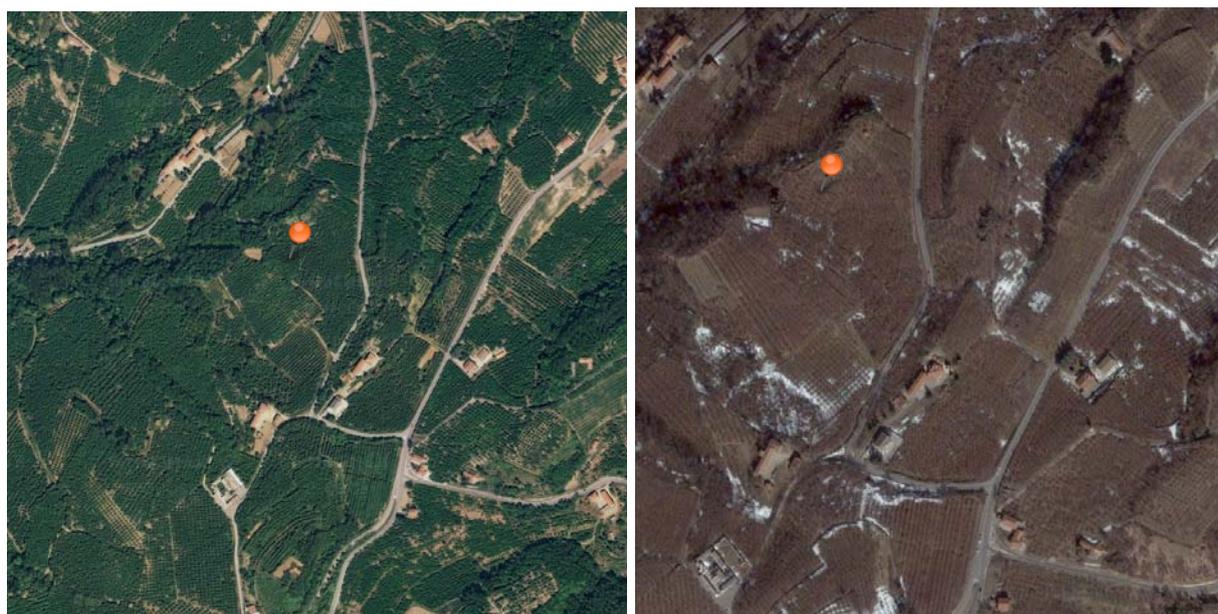


Fig. 11, Posizionamento dell'area di rilievo presso il nocciolo in località "Nvai" a Cravanzana, a confronto una foto area estiva con una invernale.

Cravanzana è un paese dell'Alta Langa piemontese famoso per essere il comune di Italia con il più alto rapporto tra superficie a nocciolo e area totale. L'area sperimentale permanente è stata installata presso la località "Nvai" a 523m s.l.m. alle coordinate 44° 34' 57" N e 8° 07' 50" E. Il clima di Cravanzana è caratterizzato da massimi di precipitazione durante le stagioni primaverile e autunnale mentre l'estate si rivela generalmente secca (regime pluviometrico sub-equinoziale autunnale). In estate le temperature massime sono nell'ordine dei 30°C (Fig. 12). La stazione è in funzione da agosto 2009 ed è posizionata all'interno di un impianto di nocciolo di Tonda Gentile delle Langhe di circa 25 anni di età. Le piante sono state messe a dimora con un sesto di 5x5m e vengono gestite con una forma di allevamento a vaso cespugliato che prevede un massimo di 5 branche per pianta e un portamento semi espanso. L'altezza raggiunta dalle piante, mantenuta negli anni grazie a potature periodiche con un tempo di intervento variabile da uno a due anni, è di circa 4m. In particolare la stazione è stata configurata e posizionata in maniera tale da poter misurare in continuo i processi fisiologici di tre piante limitrofe. La strumentazione comprende sensori per monitorare le variabili ambientali e quelle di carattere fisiologico legate al funzionamento della pianta. Temperatura e umidità sono rilevate ogni 15 minuti tramite un sensore Rotronic MP103A (Rotronic Ag., Svizzera) posto all'interno della *canopy* a circa 2 m di altezza all'interno di uno schermo solare. Sei sensori di flusso xilematico (Granier, 1985; Granier 1987; Lu *et al.*, 2004) distribuiti due per pianta, assicurano la misurazione del flusso di linfa grezza di almeno due branche per pianta, questi sono stati posizionati a circa 1,30 m di altezza e

orientati verso sud. L'umidità del suolo è misurata tramite una sonda multistadio Sentek(EnviroScan 4.1, SentekPty South. Australia.) interrata secondo le disposizioni della casa (EnviroScan, Sentek manual) tra le radici di una delle piante con i 4 sensori di umidità posizionati a 16-36-86-116 cm sotto il livello del suolo. Questi assieme ad un TDR (CS605, Campbell Scientific, UK), posizionato lungo i primi 30 cm di profondità del suolo, assicurano il rilevamento del contenuto idrico dei diversi orizzonti pedologici. Due dendrometri (Tecno Penta s.r.l., Teolo, Pd) sono collegati ad una singola pianta su due branche distinte per verificarne le variazioni diametriche giornaliere, dati che vengono incamerati con il consueto intervallo di 15 minuti da un datalogger professionale CR1000 (Campbell Instruments, UK). Tutta la strumentazione viene alimentata da un pannello solare fotovoltaico da 50 Watt posto a circa 20 m, dove la piantagione termina in una radura, permettendogli di essere colpito dalla radiazione solare per un maggior numero di ore durante il giorno, il pannello è orientato a sud-ovest.

La stazione rimane ininterrottamente accesa durante tutto l'anno trasmettendo i dati tramite sistema GSM al computer centrale del dipartimento TESAF a Padova ogni volta che viene chiamata. Durante il periodo invernale si è resa necessaria la disattivazione di due dei sei Granierin quanto il loro elevato consumo di energia avrebbe portato allo spegnimento del datalogger durante i freddi giorni nuvolosi in cui il pannello solare non viene alimentato a sufficienza. Durante il periodo di misurazioni (2009-2011) le 3 piante sono state gestite coerentemente con il resto del nocciolo ricevendo la stessa quantità di fertilizzante ed essendo oggetto di una potatura di rimonda che ha interessato la parte alta della chioma durante la stagione 2010. Non essendo disponibile un pluviometro i dati di piovosità sono stati acquisiti dalla vicina stazione meteo della rete agrometeorologica della Regione Piemonte ([http://www.regione.piemonte.it/agri/set\\_fitosanit/agrometeo/climatologia/ram.htm](http://www.regione.piemonte.it/agri/set_fitosanit/agrometeo/climatologia/ram.htm)) situata a meno di un chilometro di distanza capace di campionare i dati con frequenza oraria mentre la pubblicazione è in formato giornaliero. Durante il periodo vegetativo sono state effettuate in campo delle misure di potenziale idrico con una camera a pressione da 40 bar (3115PGV, Compact Plant Water Status Console, Soilmoisture, USA) e misure di conduttanza stomatica con un analizzatore di gas tipo LCi (ADC Bioscientific Ltd).

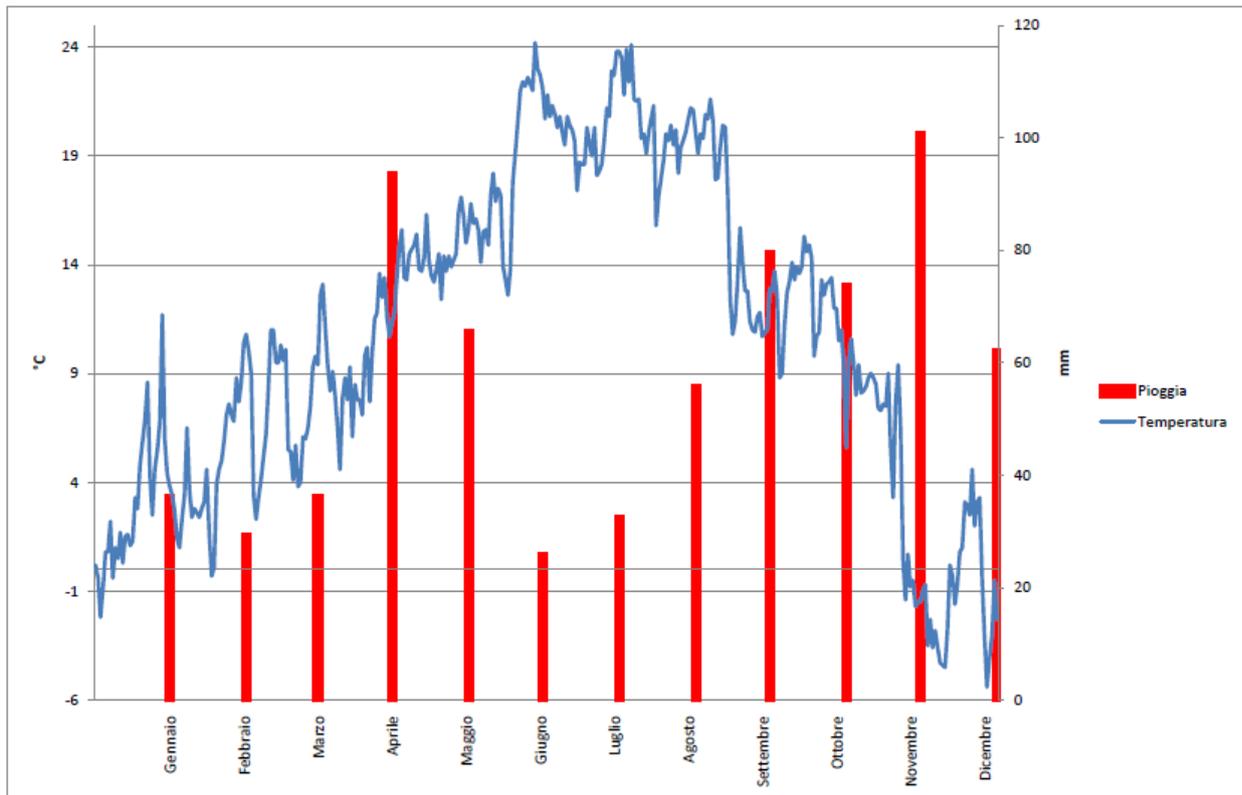


Fig. 12, Climogramma per la stazione di Cravanzana per il periodo 2000-2010 utilizzando dati medi giornalieri

*Baldissero d'Alba (Italia)*



Fig. 13, Veduta aerea del nocciolo di Baldissero, il segnaposto ad indicare la zona utilizzata per i rilievi.

Baldissero si trova nella zona del Roero a nord ovest della città di Alba in una zona collinare caratterizzata da boschi collinari di latifoglie in cui si distinguono l'acero campestre, la roverella e numerosi arbusti tra cui spicca il nocciolo. Il clima di Baldissero non differisce molto da quello di Cravanzana (Fig. 14) con l'inverno che si presenta generalmente più mite per effetto di un'altitudine minore. Il sito permanente di questo studio si trova presso l'azienda Voghera Vivai alle coordinate  $44^{\circ} 45' 52''$  N;  $7^{\circ} 54' 11''$  E, ad un altitudine di 361 m s.l.m. Qui vengono monitorate le variabili ambientali per mezzo di una stazione meteorologica automatica della rete agrometeorologica della Regione Piemonte. Questa stazione riporta i più comuni sensori ambientali tra cui: temperatura e umidità, irraggiamento, pressione, pioggia, velocità e direzione vento, bagnatura fogliare. Il tempo di campionamento è pari a un'ora e i dati vengono scaricati sul server della Regione Piemonte per essere poi liberamente consultabili sul sito della stessa. Durante le stagioni vegetative 2009-2010 e 2011 si è monitorato un nocciolo produttivo della varietà Tonda Gentile delle Langhe misurandone il potenziale idrico nei momenti più caratteristici della stagione estiva e della giornata. Il nocciolo in questione presenta un sesto

d'impianto di 5x5 m (400 piante/ettaro) su circa 2ha di impianto, viene allevato a vaso cespugliato e ed ha un'età di 6 anni. La gestione è quella ordinaria per indirizzare l'impianto alla produzione di nocciole destinate all'industria dolciaria locale, questo si traduce in una concimazione di produzione di 20 kg/ha di N, 10 kg/ha P2O5 e 14 kg/ha di K2O mentre le potature e la spollonatura sono eseguite annualmente, meccanicamente la prima e con l'ausilio di prodotti chimici dissecanti la seconda. L'impianto è a secco sebbene si rilevi un'evidente differenza di ritenzione idrica nel suolo tra la parte al culmine della collina e il piede della stessa dove il cotico erboso è più uniforme e lussureggiante(Fig. 13).

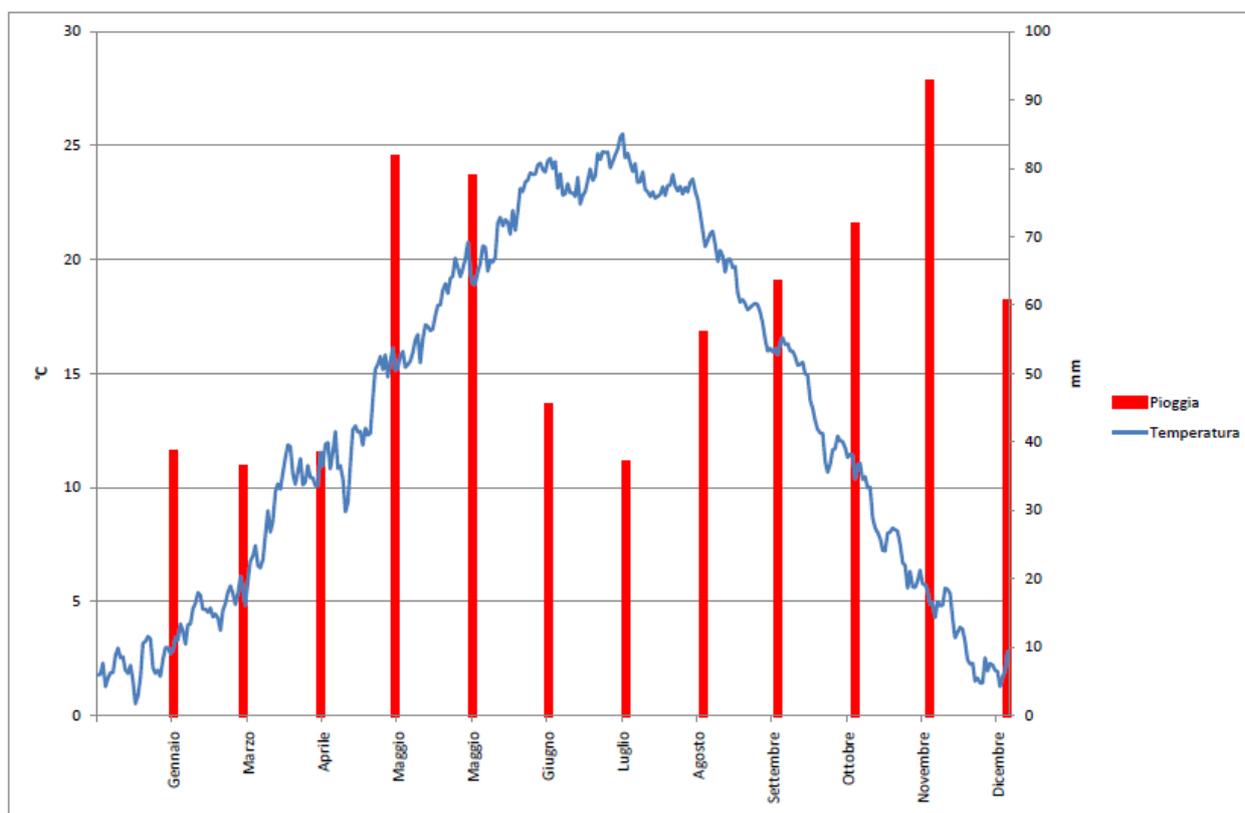


Fig. 14, Climogramma per la stazione di Baldissero d'Alba per il periodo 2000-2010 utilizzando dati medi giornalieri

## Aree Temporanee

### *Chitatskari(Georgia)*

Citatskari, sobborgo periferico della città di Zugdidi nella Georgia dell'ovest, è il vecchio nome di un'area di fattoria collettiva (*Kolkhoz* in russo) dove, ai tempi dell'Unione Sovietica, si coltivava il the. Su quest'area di qualche centinaio di ettari sorge oggi uno degli impianti a nocciolo che forniranno in futuro una parte del fabbisogno dell'azienda dolciaria Ferrero Spa. L'area oggetto dell'analisi ha preso in considerazione giovani piante di nocciolo mettendo a confronto varietà

italiane con quelle locali. Il sesto di impianto utilizzato è il 5x3 m (667 piante/ha) con le piante che al momento dei rilievi (2008) avevano 2 anni di età e venivano ancora trattate a forma di cespuglio. Il suolo si presenta marcatamente argilloso con frequenti ristagni idrici che si manifestano ogni qualvolta si verifici un evento piovoso. La piantagione viene sottoposta a totale meccanizzazione con 3 fresature e due erpicature dell'interfila all'anno mentre la fila viene pulita dalle malerbe manualmente. Le fertilizzazioni sono più spinte rispetto ad un'azienda italiana tradizionale a cui la proprietà si ispira parzialmente e oltre al consueto ternario NPK, vi è necessità di utilizzo di calce per combattere la forte acidità del suolo. Le coordinate dell'area di prova sono 42° 28' 11'' N e 41° 51' 20'' E mentre la quota è di 420 m asl. I dati meteo sono stati rilevati tramite la stazione della piantagione (Davis, Meteopoint S.A.S., Udine) con intervallo di campionamento pari a 15 minuti che è situata a 200 m dai noccioli in questione. In questo sito si sono effettuate misure di scambio di gas con l'analizzatore LCi utilizzato in Italia.

### ***Camarico (Cile)***

Camarico è un paese a forte vocazione frutticola nella settima regione del Cile a circa 300 Km a sud della capitale Santiago. Da circa 20 anni quest'area ospita la principale piantagione posseduta e gestita dall'azienda Ferrero Spa. I 1200 ha di nocciolo sono totalmente irrigati con diversi sistemi di distribuzione (micro aspersione, irrigazione a goccia superficiale e sotterranea) che permettono di economizzare sulla fertilizzazione attraverso la pratica della fertirrigazione. Le piante oggetto delle misurazioni sono noccioli di varietà italiane (principalmente Tonda Gentile delle Langhe e Giffoni) confrontati con la varietà spagnola Barcelona (sin. Fertile de Coutard). L'irrigazione considerata è quella a goccia con ala gocciolante singola e due aspersori per pianta. Il programma di irrigazione copre i mesi più caldi e quindi quelli che vanno da ottobre a marzo quando ad ogni singola pianta vengono forniti all'incirca 50 l di acqua al giorno. Le piante sono allevate a vaso cespugliato e hanno un'età di 10 anni. La fertilizzazione è simile a quella italiana e le lavorazioni meccaniche dell'interfila si riducono a due trinciature annue che, grazie alla copertura dei noccioli e alla siccità estiva mantengono la copertura erbosa sotto controllo. I dati meteo sono monitorati dalla stazione della piantagione (Davis, Meteopoint S.A.S, Udine) con campionamento ogni 15 minuti mentre le analisi di campo sono state eseguite, con la stessa camera a pressione e analizzatore di gas utilizzati per le aree permanenti, durante le stagioni vegetative (gennaio, marzo) 2009 e 2011.

### *Springvallei (Sudafrica)*

All'interno della regione del Kwazulu Natal, nella parte sud orientale del Sudafrica, Ferrero Spa ha iniziato nel 2010 a sviluppare una piccola piantagione di nocciolo di circa 80 ha nel sito che più si dimostrava adatto alla crescita di tale specie. Springvallei è la prima piantagione commerciale africana di nocciolo e come tale presenta diversi interrogativi che dovranno essere fugati nei prossimi anni dalla squadra gestionale degli agronomi dell'azienda. Uno di questi riguarda l'irrigazione e la sua eventuale necessità nel periodo invernale quando si possono verificare periodi di totale assenza di precipitazioni lunghi fino a 6 mesi. Le coordinate della piantagione sono 30° 21' 06 S, 29° 25' 11" E con un'altitudine di 1450 m a.s.l. che fa sì che questa sia la piantagione commerciale di una certa estensione più alta al mondo. Il nocciolo viene messo a dimora con un sesto di 5x3 m e le varietà principali sono la campana Giffoni e la spagnola Barcelona in quanto caratterizzate da un'esuberante vigoria vegetativa e quindi maggiore resistenza agli stress ambientali. La gestione della concimazione viene portata avanti in maniera analoga con le altre piantagioni aziendali analizzate in precedenza e le piante vengono allevate in forma di cespuglio, per quanto riguarda i primi anni di impianto, per difenderle dal freddo vento invernale che sovente causa il pericoloso fenomeno detto *blackfrost*, una forma persistente di galaverna. I dati meteo derivano dalla stazione di piantagione (Davis, 2010) con campionamento orario mentre le misure di campo sono state eseguite con camera a pressione e analizzatore di gas tipo LCI.

## STRUMENTAZIONE E CAMPIONAMENTI

### *Aree permanenti*

I dati raccolti provengono da misure in continuo e da misure puntuali eseguite con gli strumenti descritti in precedenza. La stazione di Cravanzana, pur rivelandosi affidabile, ha fatto registrare dei malfunzionamenti generalmente circoscritti nel tempo che hanno costretto a scartare i dati provenienti da alcuni sensori. In particolare uno deidendrometrisi è rotto dopo qualche mese di utilizzo, similmente al sensore T/UR della stazione che si è danneggiato durante l'inverno 2010/2011 consigliando di sostituire parte dei dati con quelli forniti dalla vicina stazione della Regione Piemonte. Le altre sonde così come la stazione di Baldissero non hanno mai causato alcun problema e i dati sono stati campionati e considerati significativi per tutti gli anni.

Il potenziale idrico fogliare è stato misurato grazie alla tecnica della camera a pressione (Scholander *et al.*, 1965) dove le misure sono state campionate utilizzando una consolle della portata di 40 bar e alimentata tramite una bombola portatile ad azoto di 5 l. In particolare i rilievi ai quali è stata data più importanza sono stati quelli del potenziale all'alba ( $\Psi_{pd}$  *predawn water potential*) e del potenziale minimo ( $\Psi_{md}$  *midday water potential*) che generalmente si rileva nelle ore più calde del giorno, la metodologia utilizzata è quella descritta da Scholander *et al.* (1965) applicando le raccomandazioni di Turner e Long (1980) per cui si considera il potenziale all'alba come rappresentativo del potenziale idrico dell'acqua nel suolo. Le misurazioni in campo sono state eseguite durante la stagione vegetativa nei mesi da maggio a settembre e i dati sono stati elaborati per il nocciolo secondo le prescrizioni della letteratura esistente (Natali *et al.*, 1988; Vilà, 1996). Il campionamento prevede la misura del potenziale ogni 15 minuti su tre foglie prelevate da piante limitrofe e alla stessa altezza. Quando le chiome erano illuminate dai raggi del sole si è cercato di campionare le foglie nelle stesse condizioni di esposizione alla luce e generalmente con lo stesso orientamento rispetto ai punti cardinali. Per Cravanzana ogni misura rispecchia la media riscontrata sulle tre piante campione etichettate per tutta la durata dello studio. Le misure a Baldissero, effettuate con la stessa cadenza temporale dell'altra area permanente, sono state ottenute mediando i dati delle piante distribuite sui due ettari della piantagione poiché non è stato ritenuto necessario misurare costantemente le stesse piante per poter privilegiare i risultati del popolamento rispetto a quelli dei singoli individui.

L'analizzatore di gas ha fornito le misure di conduttanza stomatica, PAR, evaporazione potenziale, efficienza fotosintetica, temperatura della lamina fogliare e assimilazione di CO<sub>2</sub> che

sono stati tenuti in considerazione nell'elaborazione dei dati prendendo spunto da studi precedenti (Marsalet *al.*, 1997; Brashaw 2005). I rilievi sono stati eseguiti nello stesso periodo di utilizzo della camera a pressione e con un protocollo di campionamento che prevede di procedere con la prima misura quando la lamina fogliare si presenta totalmente asciutta dalla rugiada mattutina che altrimenti ne comprometterebbe gli esiti di alcuni parametri misurati. L'analizzatore è sempre stato utilizzato durante giornate prive di nuvolosità, eccezion fatta per il mese di luglio 2011 a Baldissero quando un temporale estivo ha compromesso parte della giornata del 20 luglio, e su piante vicine tra loro. A Cravanzana sono state campionate le tre piante etichettate mentre a Baldissero si è preferito un campionamento andante rappresentativo dell'intera piantagione. Le misure sono state eseguite con una frequenza di 15 minuti e i dati di 3 piante considerati assieme in alcune elaborazioni per ottenere un valore significativo. In Italia le giornate totali di misura effettuate sono state 19 con una concentrazione maggiore nel 2011 che con 11 rilievi distribuiti nei mesi di maggio, giugno, luglio e agosto ha costituito l'anno con più dati a disposizione.

A Cravanzana, alla fine della stagione vegetativa 2011, sono stati misurati i diametri a petto d'uomo (1,30 m) cioè alla posizione in cui si trovano installati sensori di Granier e sono state misurate le altezze degli stessi. Sempre alla fine del 2011 è stata prelevata una branca di nocciolo da uno dei tre noccioli considerati per questo studio ed è stato misurato l'incremento diametrico annuo per il 2011 per poter aver un confronto con il dato misurato dal dendrometro. La misura incrementale è stata calcolata analizzando una sezione radiale di tessuto legnoso al microscopio. L'ultima misura anatomica considerata è stata quella del diametro idraulico ovvero il lume cellulare dei vasi xilematici. Il valore è stato calcolato utilizzando il legno della medesima branca che è servita per la precedente analisi. Presso il laboratorio Tesaf dell'Università di Padova il procedimento utilizzato è quello descritto da Pisetta (2007) con il diametro cellulare che è stimato utilizzando il software specialistico WinCell (Ragent Instruments Inc., Canada).

Per quest'area sono stati anche raccolti i dati di produzione degli ultimi 9 anni. Per fare questo sono stati considerati due indicatori; il primo, espresso in kg, è la produzione di nocciole ad ettaro intesa come massa di nocciole essiccate e pulite stoccate presso il magazzino aziendale. Il secondo indicatore è la resa percentuale, ovvero il peso della nocciola ponderato sul peso totale della nocciola, questo valore, espresso in termini percentuali, viene ricavato dall'analisi di 1.5 kg di nocciole in guscio che sono preventivamente mescolate per favorire l'omogeneità del campione e quindi sgusciate.

### *Aree temporanee*

Nelle aree temporanee dei due emisferi sono state eseguite misure di potenziale e scambio di gas in relazione alla disponibilità di giorni con assenza di nuvolosità in base alle possibilità di permanenza nel periodo scelto per le analisi. Questo si è dimostrato molto semplice in Cile dove l'andamento meteorologico stabile ha permesso di poter lavorare per più giorni mentre in Sudafrica e soprattutto in Georgia sono insorte difficoltà non risolvibili date dagli eventi frequenti e poco prevedibili che caratterizzano le estati di questi due paesi. I periodi di misura per l'emisfero sud hanno coperto i mesi da gennaio a marzo nel pieno dello sviluppo vegetativo della specie mentre per la Georgia si è potuto andare in campo con una certa costanza solamente nel mese di settembre del 2008. Il tipo di campionamento scelto è analogo a quello condotto nelle aree permanenti italiane con frequenza pari a 15 minuti e rappresentatività del popolamento garantita da 3 ripetizioni fra le piante in esame. In questo caso i giorni dedicati alle misure sono stati 15 divisi come segue, 4 in Georgia (periodo settembre-ottobre), 5 in Cile (febbraio-marzo) e 6 in Sudafrica concentrati nel periodo di gennaio 2011.

## **OBIETTIVO**

Lo studio si pone come obiettivo principale quello di comprendere e quantificare le risposte fisiologiche della pianta nelle diverse condizioni di disponibilità idrica. Come menzionato in precedenza questa coltura viene gestita nella maggior parte del suo areale agricolo in maniera semi professionale tralasciando il monitoraggio delle dinamiche di uso dell'acqua. Questo spesso provoca delle situazioni di deficit idrico per la coltura che, se non sono ovviate da opportune irrigazioni si riflettono poi sulla produttività e sul corretto sviluppo. Con questo studio si vorrebbe anche pervenire a indicazioni tecnico-pratiche (in relazione anche alle necessità dell'azienda per cui lavoro) in maniera tale da poter intervenire sulla gestione agricola e migliorare le attuali e tradizionali modalità di coltivazione e allevamento.

## RISULTATI E DISCUSSIONI

### Aree permanenti

Dei due anni di misurazioni (2010 e 2011) si è deciso di elaborare i dati dell'anno 2011 in quanto i più completi per il fatto che si sono installati anche i dendrometri e perché si sono eseguite un maggior numero di misurazioni di conduttanza stomatica e potenziale idrico. Le misurazioni effettuate nel 2010, il secondo anno di cui si hanno serie di dati pressoché complete, sono state considerate solamente per alcuni aspetti, in particolare per il contenuto di acqua nel suolo e per poter avere un confronto diretto con il 2011. I dati che la stazione ha registrato per l'anno 2009 (le misurazioni sono cominciate in agosto) sono serviti per calibrare i vari sensori e poter capire le problematiche nella gestione della sensoristica e quindi non sono stati inclusi in questo studio.

Il sito di studio Cravanzana ha fatto rilevare una temperatura media per l'anno 2011 di 11.44 °C con gli estremi termici dell'anno rispettivamente di 34°C (22 agosto) e -7.9 °C (23 gennaio), l'igrometro ha fatto registrare un'umidità media di 73.4%.

Per quanto riguarda le precipitazioni, il totale di pioggia durante l'anno è di 779.4 mm. Se considerata la stagione di attività vegetativa, che per l'anno in corso è iniziata con il giorno 90 con l'emissione delle prime foglioline come confermato da uno studio in stampa di Pisetta *et al.* (2011) ed è terminata con la chiusura della raccolta delle nocciole il giorno 258, i millimetri di pioggia caduta al suolo sono stati 216.4 distribuiti su 24 eventi singoli con media 9.01 mm. Due sono stati gli eventi di particolare importanza, il giorno 153 (33.6 mm) e il giorno 157 (45.2 mm); mentre i periodi con assenza di precipitazioni più lunghi durante la stagione vegetativa sono stati 2, entrambi di 26 giorni di lunghezza, i giorni 121-146 e 220-245. L'andamento del VPD medio sulla singola giornata per la stagione vegetativa 2011 (Fig. 15) ha fatto rilevare dei valori particolarmente alti durante il periodo 124-144 ovvero durante il periodo primaverile in cui il nocciolo concentra gli sforzi sulla crescita vegetativa e quindi sull'allungamento del getto dell'anno. Tali valori sono stati misurati nuovamente nei giorni più caldi e secchi dell'estate durante il periodo 220-244. La misura più elevata di VPD è stata di 33.5 kPa durante il giorno 239 come massimo assoluto dei 15 minuti.

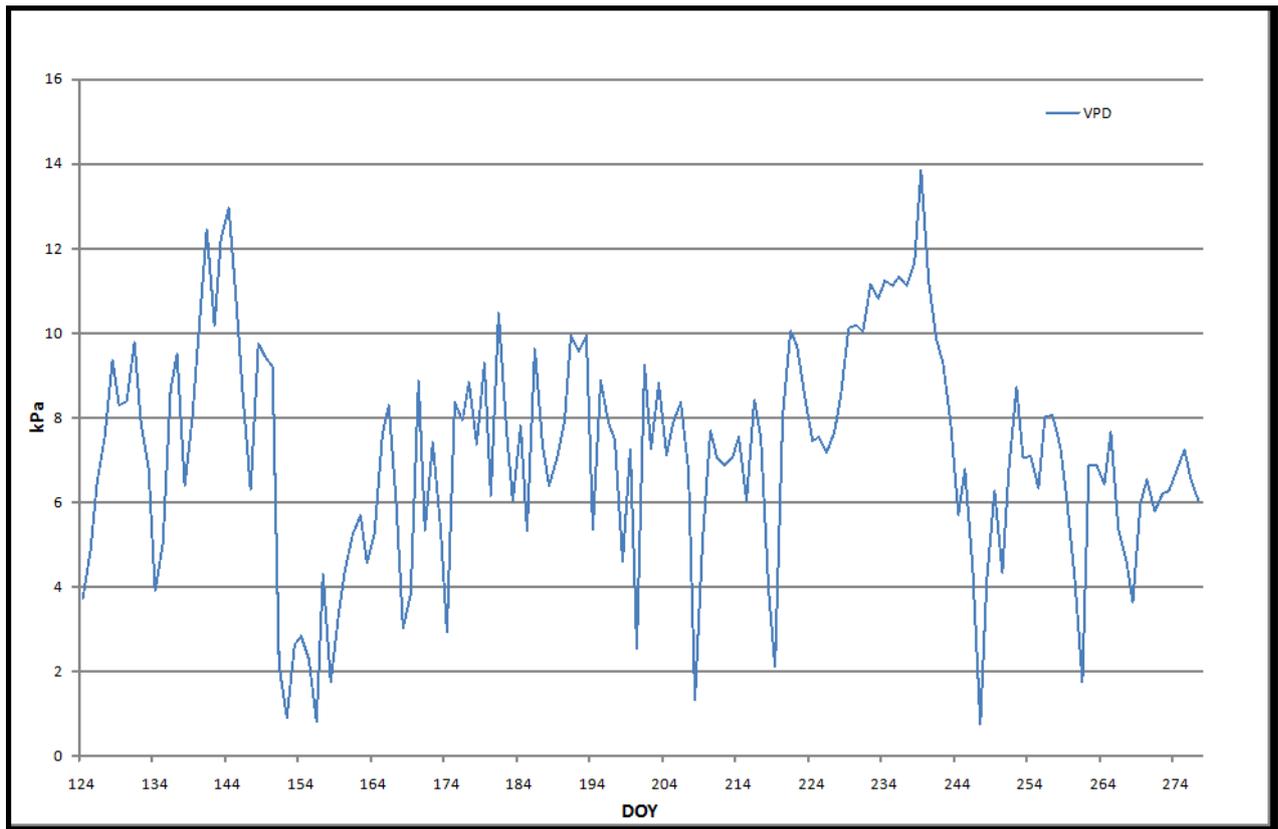


Fig. 15, Andamento medio del VPD giornaliero durante il periodo 124-278, 2011 per la stazione di Cravanzana.

Questo andamento è ovviamente correlato alla variazione delle temperature medie giornaliere che per l'anno in corso mostrano un rilevante aumento durante il periodo di maggio (dati non mostrati) che non è in accordo con il climogramma descrittivo dell'area riportato in precedenza a dimostrazione della particolarità meteorologica della primavera del 2011.

Il periodo di deficit idrico significativi può evincere anche dall'andamento del contenuto idrico nel suolo come misurato dai sensori della sonda multistadio (Fig. 16)

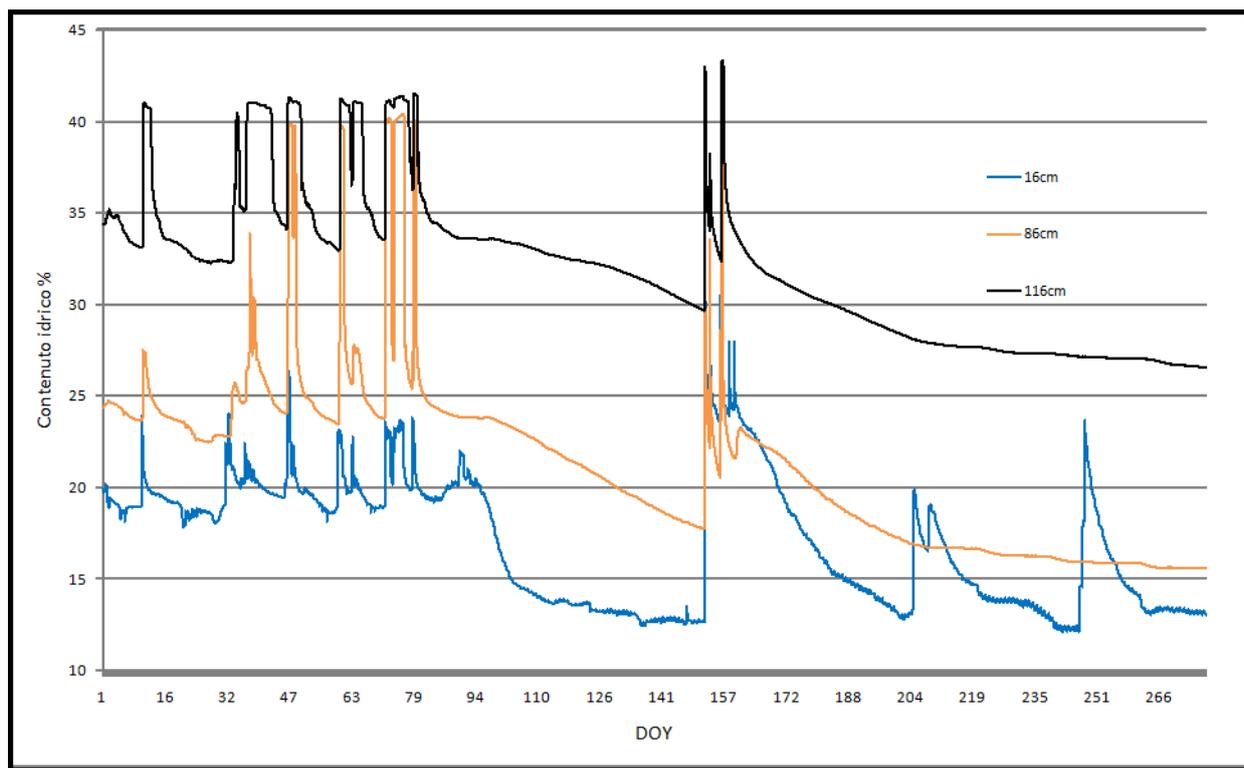


Fig. 16, Andamento del contenuto idrico attorno alle radici per le diverse profondità di suolo nell'anno 2011.

Dal grafico si osserva una marcata disidratazione dei singoli orizzonti con una diminuzione più marcata della sonda posizionata a 16 cm di profondità e che quindi testimonia come a questa profondità siano presenti molte radici che estraggono significativamente acqua dal suolo. Si nota l'inizio della perdita di acqua già a partire dal giorno 100 con la curva che raggiunge un "plateau" verso il giorno 124. In questo periodo di deficit idrico si potrebbe supporre che nella parte più superficiale del suolo si sia raggiunto il punto di massima capacità estrattiva delle radici, infatti per circa 20 giorni consecutivi (126-153) il contenuto idrico del suolo si attesta stabilmente attorno al 12-13%. Questa informazione ha grande valenza tecnico-applicativa perché testimonia il limite estrattivo della specie e quindi la soglia di umidità del suolo che non dovrebbe mai essere raggiunta se si vuole evitare l'insorgenza di gravi stress idrici alla pianta. I dati dell'anno precedente in qualche modo confermano questa ipotesi (anche se il livello minimo si attesta ad un valore leggermente più basso ossia al 10-11%). Le variazioni del contenuto idrico ai due livelli a profondità maggiori hanno un andamento differente; a 86 cm di profondità si può notare come l'acqua venga utilizzata in un momento successivo rispetto alle zone più superficiali e la pendenza della curva risulta essere minore con un calo del contenuto idrico più contenuto. In questo strato di suolo, in maggio, non si osserva un andamento con un "plateau" il che testimonia che nel suolo è presente una frazione d'acqua ancora facilmente estraibile dalla pianta. La medesima interpretazione può essere fornita per lo strato più profondo tra quelli misurati a 116

cm; qui la perdita d'acqua è più contenuta rispetto ai livelli precedenti attestandosi al 2% e si verifica in maniera più lenta come testimonia la pendenza della curva. I tre orizzonti vengono sensibilmente riforniti dalle precipitazioni registrate durante i giorni 153 e 157 per poi essere nuovamente desaturati in acqua con il procedere della stagione. In particolare la profondità dove si trova il maggior numero di radici, 16 cm, fa rilevare altre 3 situazioni di plateau e quindi di siccità fisiologica durante i periodi 200-204, 220-250, 260-278. Questi periodi sono inframmezzati da precipitazioni di piccola entità che arrivano a ricaricare solamente lo strato più superficiale mentre gli altri due continuano nel loro andamento di diminuzione con 86 cm che dimostra un plateau al 260° giorno quando le radici della pianta sono ancora considerate in attività (Gispertet *al.*, 2005).

Confrontando le curve di contenuto idrico rilevate nel 2011 con quelle del 2010 (Fig. 17), si notano delle differenze importanti sulle dinamiche di contenuto idrico in tutti gli orizzonti. In particolare si nota come la disidratazione inizi molto più tardi durante la stagione (giorno 145 rispetto a 100) e di come gli orizzonti perdano l'acqua disponibile in maniera costante fino ad arrivare a valori leggermente inferiori rispetto al 2011. Le precipitazioni estive hanno un'influenza visibile solamente sulla profondità 16 cm mentre gli altri due strati non vengono modificati dagli eventi piovosi. In particolare il livello più superficiale viene ricaricato già dal giorno 260 e pare non scendere più ai livelli minimi che aveva acquisito nei giorni precedenti. Gli stessi plateau raggiunti per ben 4 volte durante il 2011 a 16 cm sotto la superficie nel 2010 si verificano solamente 2 volte e per periodi più ridotti. Ne consegue che la pianta ha probabilmente avuto a disposizione un quantitativo di risorsa idrica maggiore durante la delicata fase di crescita vegetativa con la distensione del getto dell'anno e la formazione delle gemme per l'anno successivo che non dovrebbe essere stata condizionata. Durante la fase di riempimento del frutto sembra invece che la situazione più favorevole si sia verificata nel 2011 quando negli strati più profondi l'acqua è rimasta disponibile più a lungo in quanto le curve che descrivono il graduale scarico discendono in maniera più dolce e raggiungono il plateau corrispondente ad una situazione di criticità quando ormai la raccolta dei frutti è avvenuta.

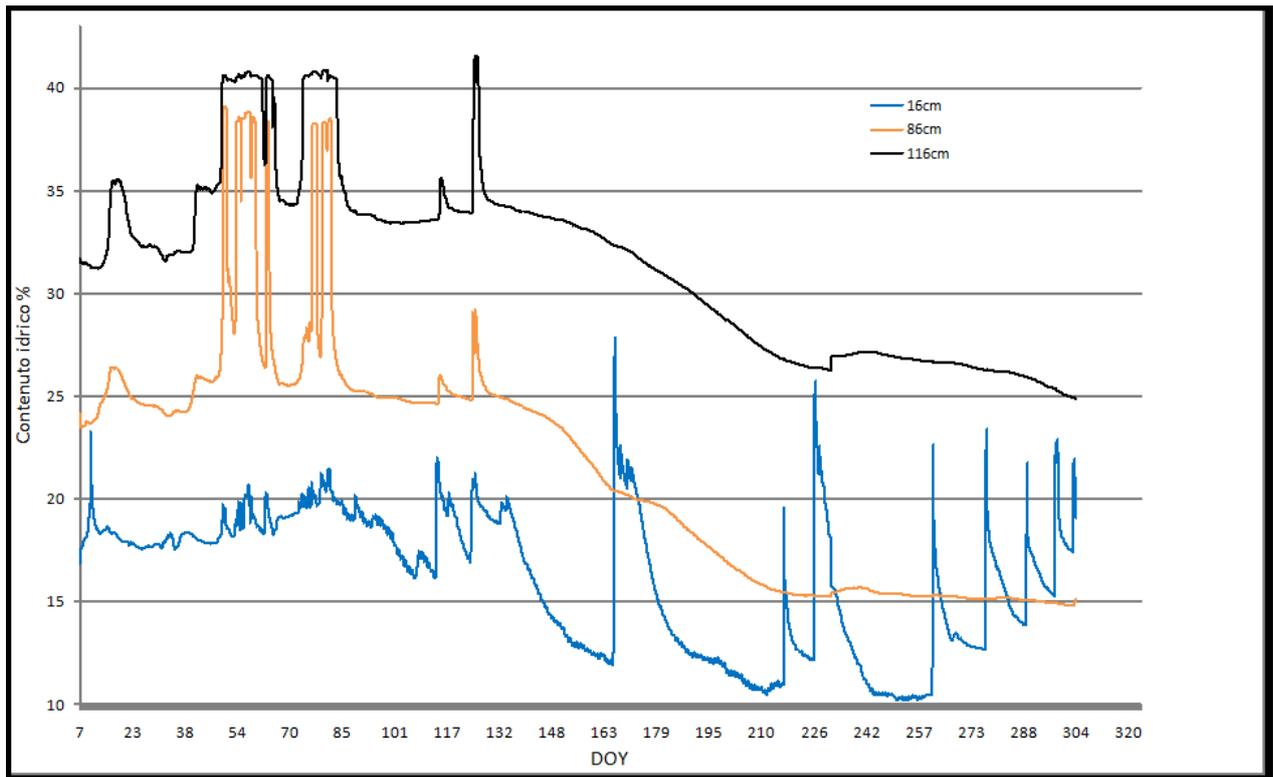


Fig. 17, Andamento del contenuto idrico attorno alle radici per le diverse profondità di suolo nell'anno 2011.

Il sensore che ha riportato le modificazioni della disponibilità idrica a 36 cm di profondità è stato analizzato a parte per le peculiari condizioni che si riscontrano a quella profondità. Si nota dai valori riportati (Fig. 18) come l'ordine di grandezza sia sensibilmente differente rispetto alle profondità descritte in precedenza. A tale riguardo è stato inserito nella Fig. 18 l'andamento riportato alla stessa scala utilizzata per le altre profondità, si nota da questo come il contenuto non vari e rimanga sempre su livelli molto inferiori, probabilmente non utilizzabili dalle radici della pianta.

A questo livello si trova uno strato di suolo sabbioso con una capacità di trattenere l'acqua molto minore rispetto agli altri. Si osserva come prima e dopo le piogge dei giorni 153 e 157 questo livello di suolo si svuota rapidamente e rimanga costantemente in uno stato di idratazione sotto il 3%.

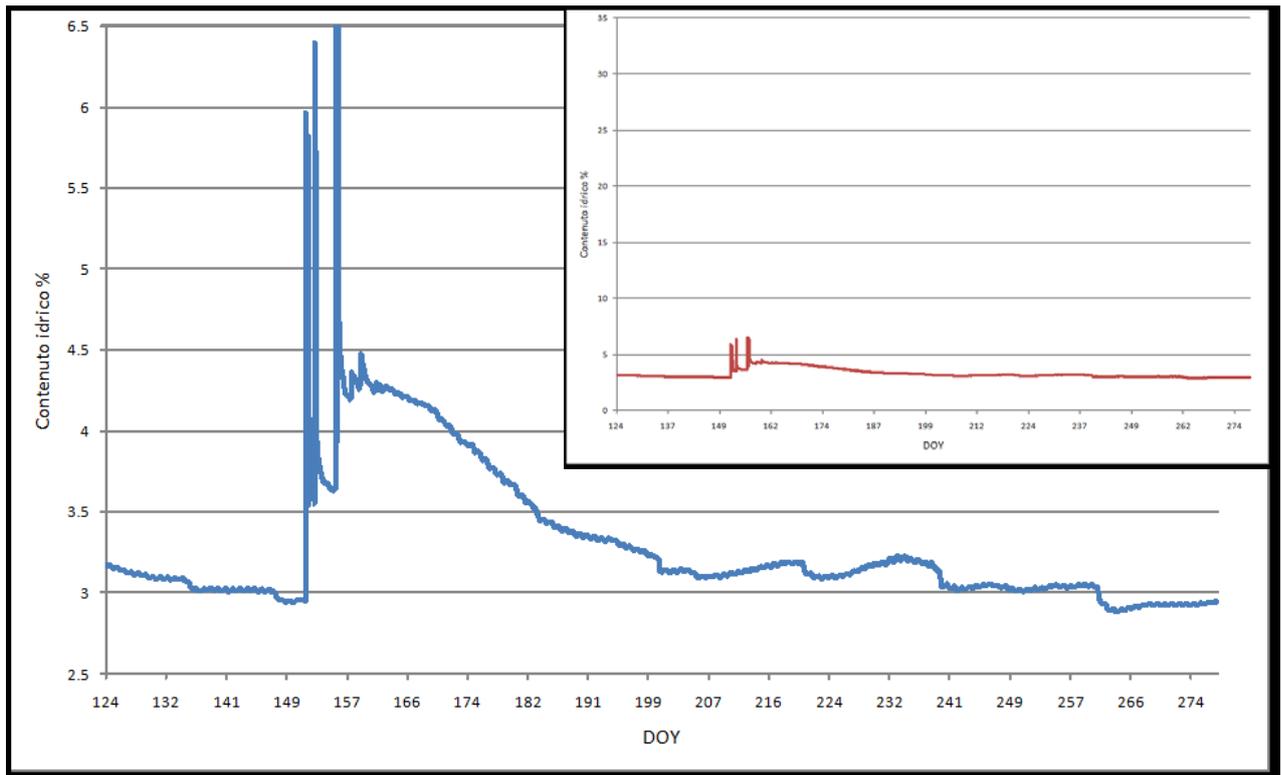


Fig. 18, Andamento giornaliero del contenuto idrico del suolo alla profondità di 36cm, nel riquadro l'andamento riportato con la stessa scala utilizzata per le altre zone.

Il dendrometro installato a 1.30 m sulla branca riportante il sensore di Granier n°1 della pianta 1, ha misurato delle fluttuazioni periodiche che vengono confrontate con lo stato di idratazione della sonda suolo più superficiale (Fig. 19).

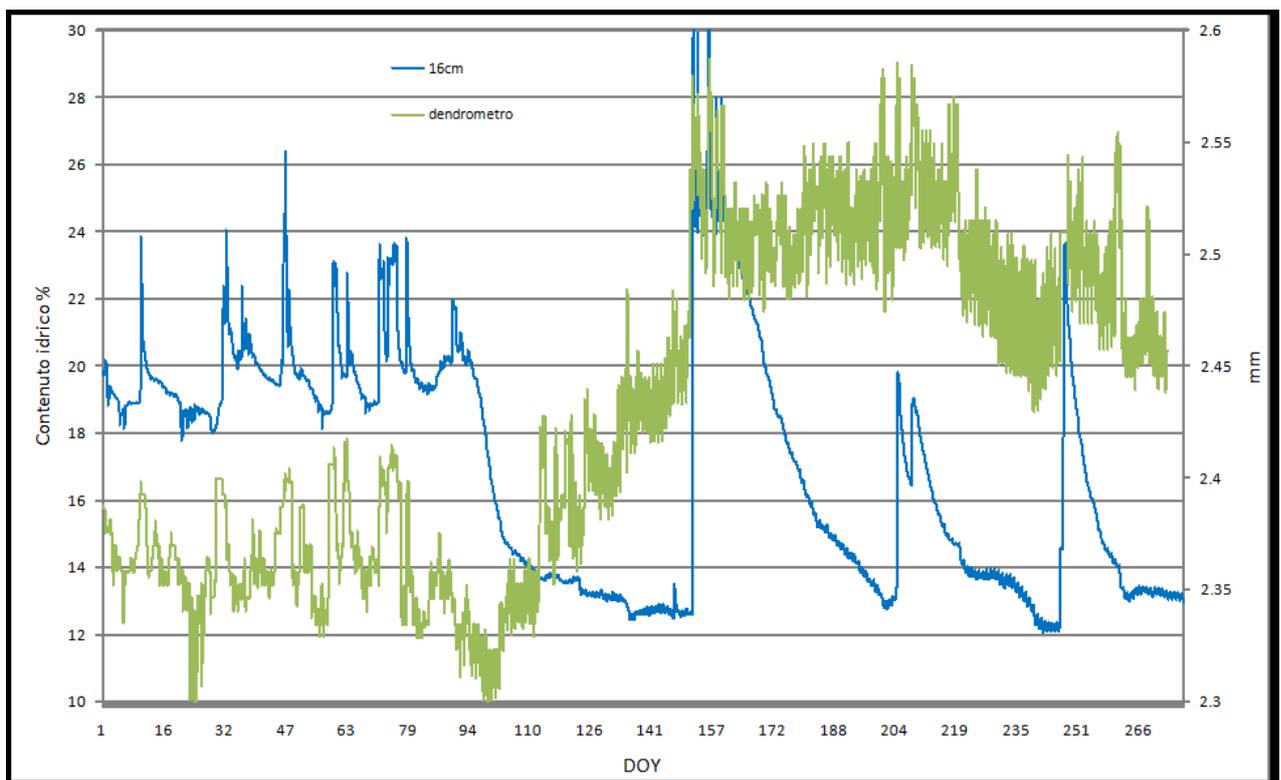


Fig. 19, Confronto tra i rilievi del dendrometro e l'andamento del contenuto idrico a 16 cm di profondità.

L'interpretazione delle dinamiche stagionali e giornaliere che si ottengono utilizzando questi tipi di sensori deve sempre tenere presente che la variazione di diametro del fusto è dipendente da due processi distinti ed, in qualche modo, indipendenti (Song et al, 2004; Turcott et al., 2011). Il primo processo è la variazione del numero di cellule con il progredire della stagione vegetativa (ossia con la divisione cambiale). In questo caso ci si attende che il diametro aumenti con un tasso che è proporzionale al tasso di crescita radiale. Il secondo processo è la variazione di idratazione del fusto ed in particolare dei tessuti vivi (cambio e floema). Le variazioni di dimensioni del fusto, in questo caso, sono quantitativamente più modeste delle prime ma possono avere anche segno negativo (ossia il diametro della pianta diminuisce). Le diminuzioni possono avere ritmo circadiano dovute al momento in cui vi è elevato flusso di linfa grezza (in genere, nel pomeriggio) oppure essere di lungo periodo (giorni o settimane) quando si verificano prolungati deficit idrici a testimoniare che la pianta non riesce a recuperare le perdite d'acqua durante la fase notturna di ricarica. Questi due processi possono avvenire contemporaneamente oppure no, determinando, quindi, un risultato di modificazione diametrica che può essere molto variabile e che necessita, come detto, di un'interpretazione accurata.

Il fusto della pianta comincia ad aumentare di dimensioni verso il giorno 100 dando quindi il via all'accrescimento diametrico annuale congruamente con quanto osservato da altri autori (Tombesi, 1985; De Salvador e Monastra, 1997) andamento che si osserva meglio osservando i dati medi giornalieri.(fig.20).

Allo stesso tempo il dendrometro ha permesso di analizzare le fasi di crescita della pianta e confrontarle con periodi della stagione vegetativa dove si verifica il riempimento dei frutti e dove l'acqua traslocata dalle radici eserve per la costituzione dell'endosperma delle nucule. Questi valori sono stati accoppiati con la misura del contenuto idrico del suolo misurato ogni ora grazie alle sonde multistadio, analizzate in precedenza, come già riscontrato in studi su altri fruttiferi (Filippi, 2006).

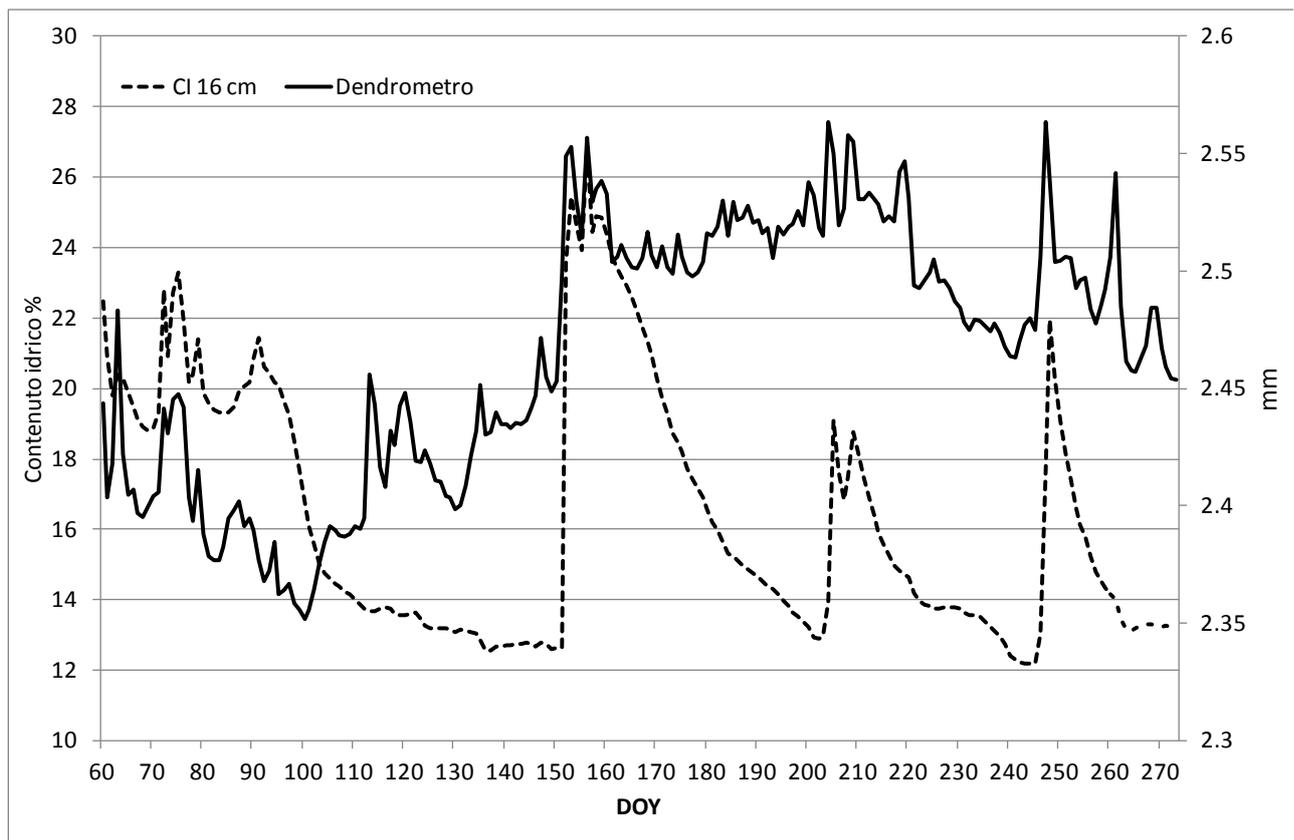


Fig. 20 Variazione del contenuto idrico del suolo a 16 cm (CI) e del raggio della pianta campione equipaggiata con un dendrometro nell'anno 2011.

La dinamica di accrescimento è fortemente condizionata dall'inusuale periodo di deficit idrico che si è verificato in primavera del 2011. Tra il giorno 100 e 150 la pianta ha dovuto mettere in atto i processi di divisione e distensione cellulare in una condizione critica dal punto di vista della disponibilità idrica ed anche del potere evaporante dell'atmosfera dato che, in questi giorni, sono stati registrati dei valori particolarmente alti di VPD medio giornaliero (oltre i 12 hPa, Fig. 15). Entrambe queste condizioni hanno determinato che la disidratazione del suolo fosse particolarmente rapida dimostrata da una diminuzione molto accentuata del contenuto idrico del suolo dopo il giorno 90.

Le fluttuazioni che si osservano in questo periodo (ad esempio quelle dei giorni 110-120) sono determinate da variazioni significative di VPD: in caso di basso VPD le piante, hanno ridotto la traspirazione, riuscendo, così, parzialmente a reidratarsi durante tutto il giorno.

La formazione del legno che compone l'anello dell'anno sembra poi terminare prima dell'evento piovoso menzionato in precedenza e attorno al giorno 150. In questo periodo la pianta recupera tutto i deficit cumulato le periodo e ciò si riverbera in un aumento improvviso di dimensione del fusto.

Lo strumento registra valori anche più elevati successivamente agli eventi piovosi descrivendo la dinamica di idratazione della pianta. Successivamente si osserva una leggera diminuzione del diametro che coincide sia con un altro periodo di scarsità idrica sia con il periodo di riempimento della nocciola e quindi con un'allocazione della risorsa idrica da parte della pianta diretta maggiormente verso il frutto che i tessuti del fusto.

Per discriminare la crescita diametrica del fusto dalle dinamiche di idratazione e disidratazione dei tessuti si è provveduto a calcolare l'incremento giornaliero per la fase di aumento del diametro del fusto, registrata dal dendrometro, sottraendola poi a quella che si è ritenuta essere la condizione in cui le cellule si trovavano in uno stato di turgore. Il risultato di tale relazione viene considerato essere l'incremento medio per l'anno in corso e nel caso della branca oggetto delle misure il valore trovato è di 0,2 mm circa. La correttezza di tale valore (che apparirebbe molto modesto a prima vista) è stata verificata prelevando una sezione di una branca limitrofa e misurandone lo spessore dell'ultimo anello (Fig. 21): anche da una analisi microscopica di desume un incremento radiale attorno agli 0.2-0.3 mm nell'anno 2011.

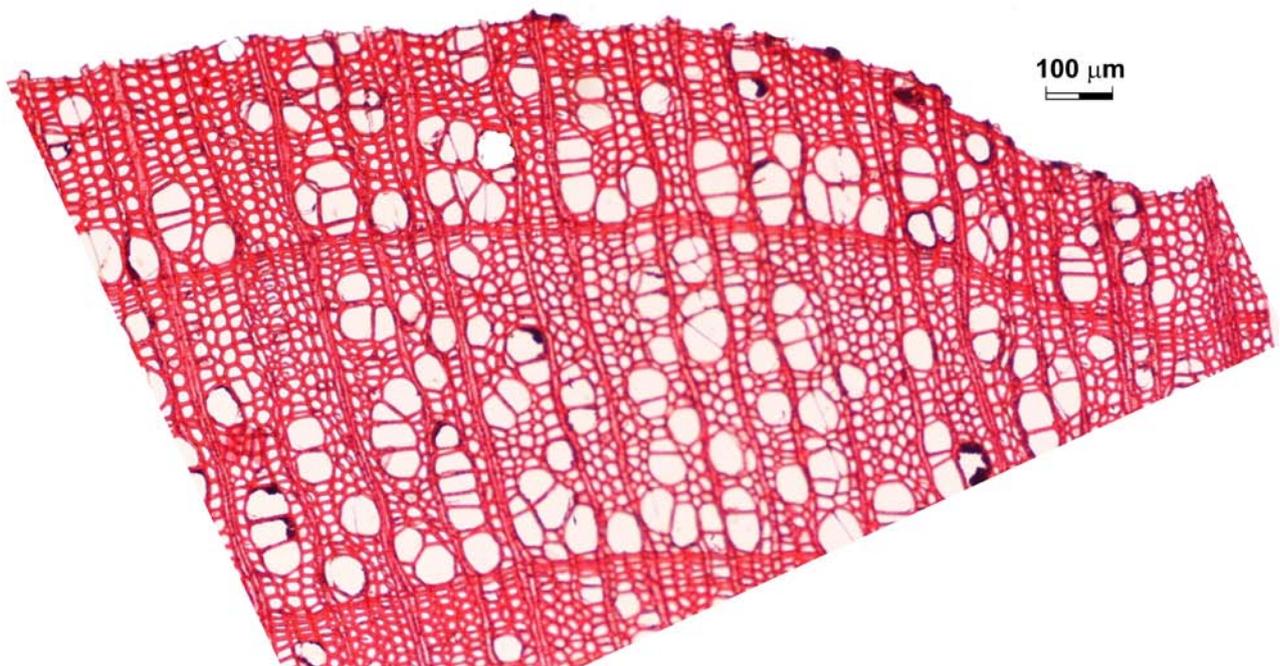


Fig. 21, Sezione radiale del legno di nocciolo in cui si possono vedere gli anelli degli ultimi due anni, 2010 e 2011 (il più esterno e sottile).

La ridotta crescita annuale è perfettamente in linea con l'età delle piante in esame. Il nocciolo piantato con sesti simili a quelli dell'area in esame (5x5 m) raggiunge infatti l'apice della crescita diametrica attorno ai 20-25 anni (Trotter, 1951) producendosi poi in incrementi ridotti negli anni successivi quando ormai ha raggiunto le dimensioni ottimali dettate dalla biologia della specie e dai fattori di competizione all'interno del corileto. Confrontando però l'anello del 2011 con

quello che la pianta ha costituito durante il 2010 si nota una differenza notevole stimabile in un'ampiezza dell'anno 2010 doppia rispetto all'anno successivo. Questa discrepanza nella crescita deriva dal differente apporto idrico che la pianta ha potuto utilizzare nei due anni, come visto in precedenza, durante maggio-giugno del 2010 il contenuto idrico del suolo è rimasto superiore rispetto al 2011 quando la pianta ha probabilmente ridotto lo sviluppo dei tessuti vegetali per via del deficit idrico che non le ha permesso un adeguato rifornimento di acqua ai tessuti fotosintetizzanti (Fig. 22)

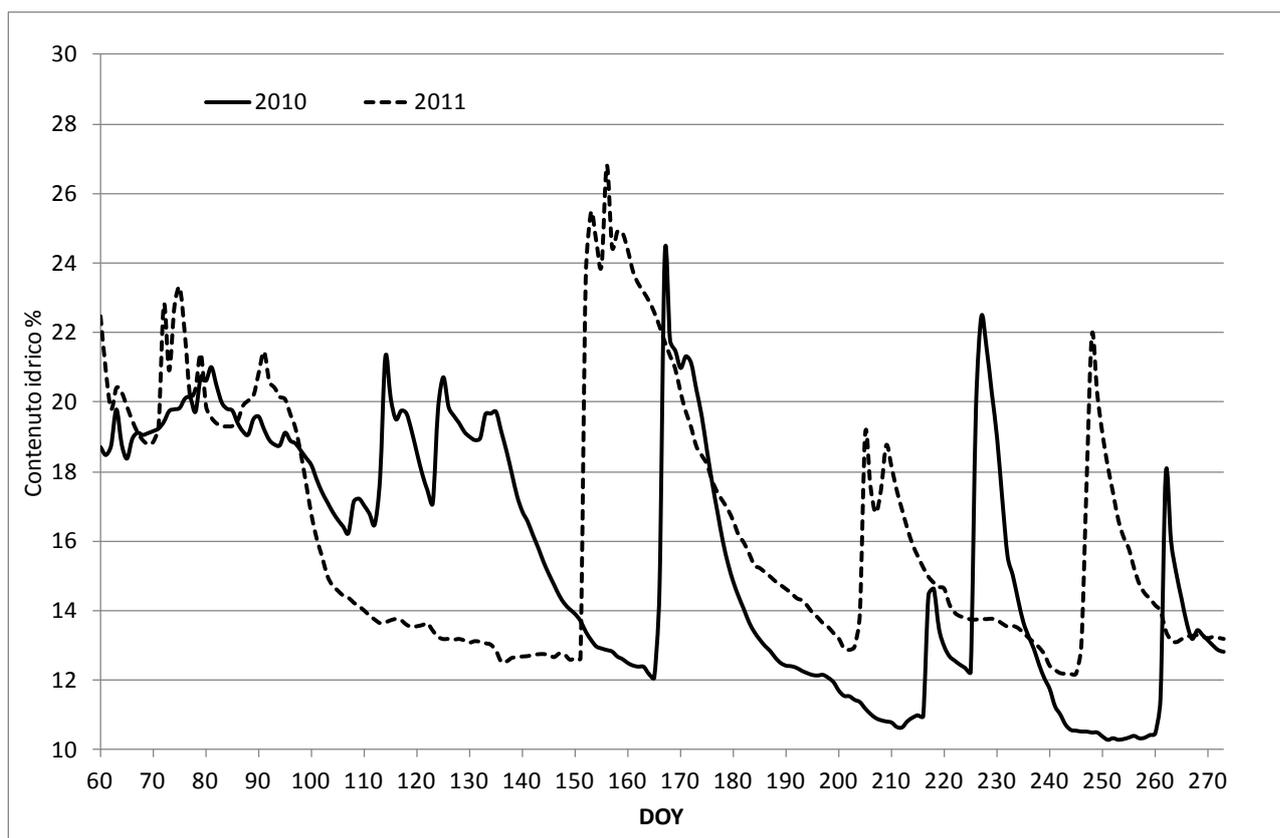


Fig. 22 Variazione del contenuto idrico del suolo a 16 cm di profondità nell'anno 2010 e 2011. Durante il 2010 non si sono verificate condizioni di deficit durante la formazione dell'anello (giorni 100-150)

Nel complesso, l'andamento teorico dell'accrescimento potrebbe essere desunto collegando tutti i punti della curva ottenuta dal dendrometro quando si verificano periodi di massima idratazione (Fig.23)

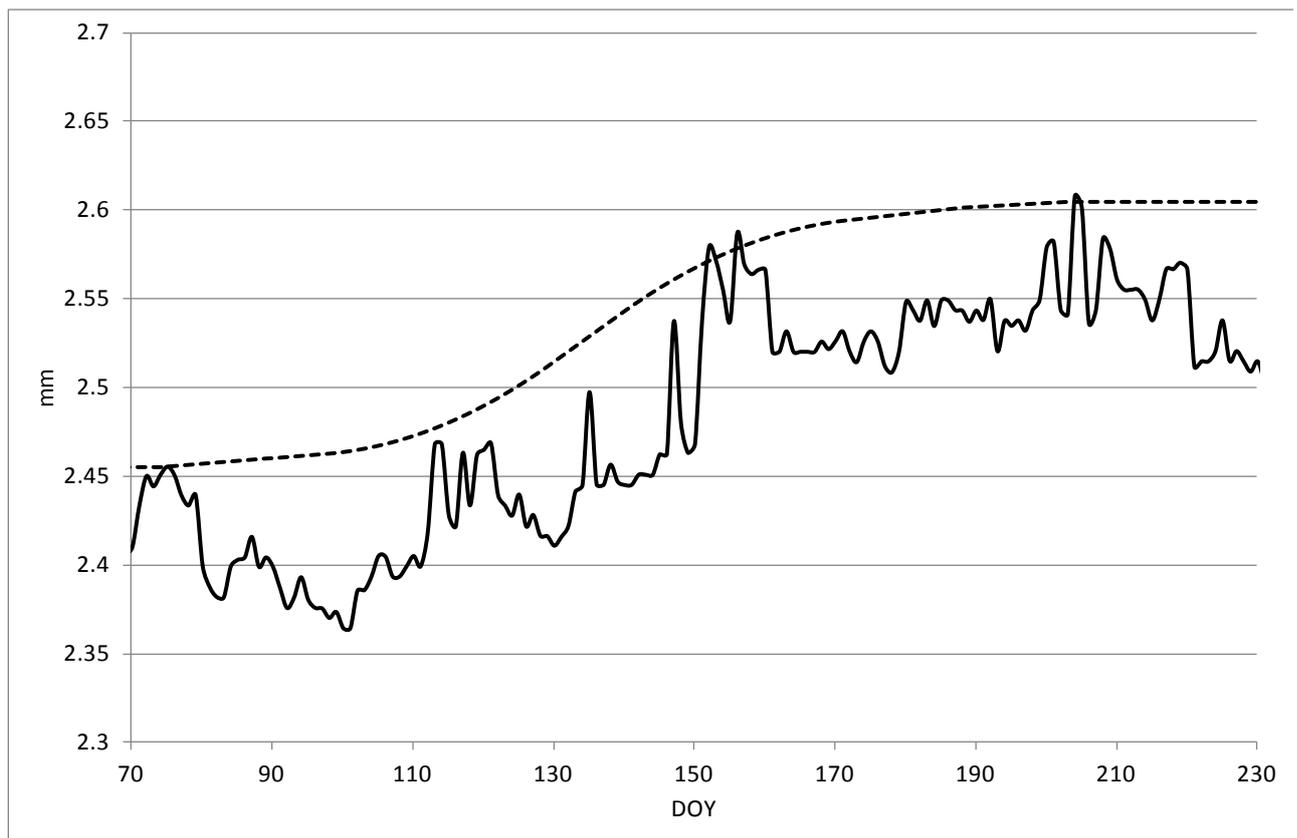


Fig. 23 .Andamento teorico dell'accrescimento radiale (curva tratteggiata) durante l'anno 2011 in condizioni

Considerando le condizioni particolari di maggio 2011 in cui i parametri climatici hanno portato la temperatura dell'aria e VPD a livelli superiori alla media periodica si può affermare che la pianta non ha risposto allo stress ambientale che ha subito durante la tarda primavera e quindi la ridotta crescita diametrica può essere considerata un indicatore di questo stress.

Informazioni interessanti possono essere desunte anche dall'analisi più fine delle variazioni diametriche.

Ad esempio in Fig.24 sono rappresentati alcuni giorni della fine del periodo di attività xilogenetica.

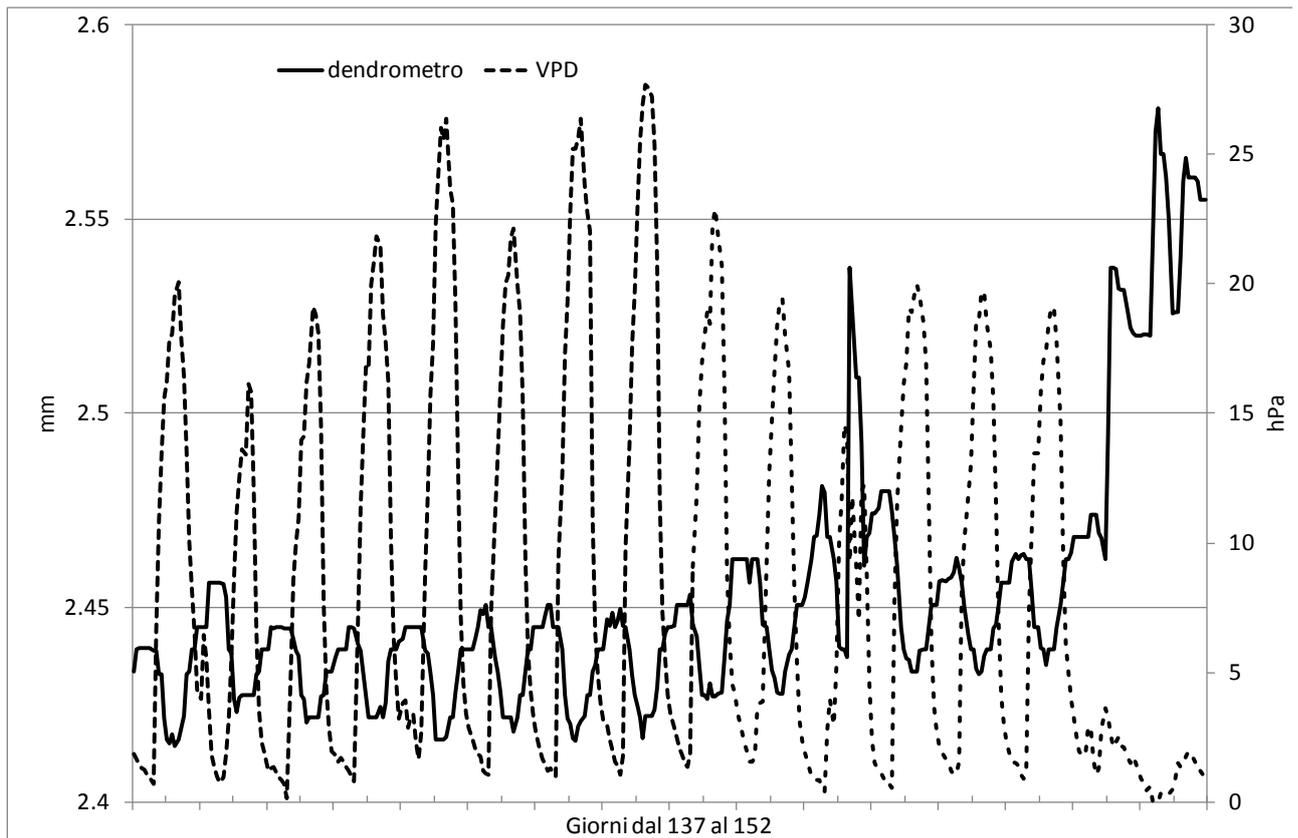


Fig. 24. Variazione radiale misurata con il dendrometro ed andamento del VPD per gli stessi giorni.

L'andamento della variazione radiale è speculare rispetto a quello del VPD con punti di minimo in corrispondenza del massimo valore giornaliero di VPD (ossia nella condizione di elevata traspirazione). Le variazioni circadiane cessano di essere regolari quando vi sono condizioni di basso VPD momento in cui la pianta può reidratarsi significativamente anche se non in corrispondenza di eventi piovosi.

Durante il periodo di deficit idrico, invece, i valori di massimo giornaliero tendono sistematicamente a diminuire (Fig. 25)

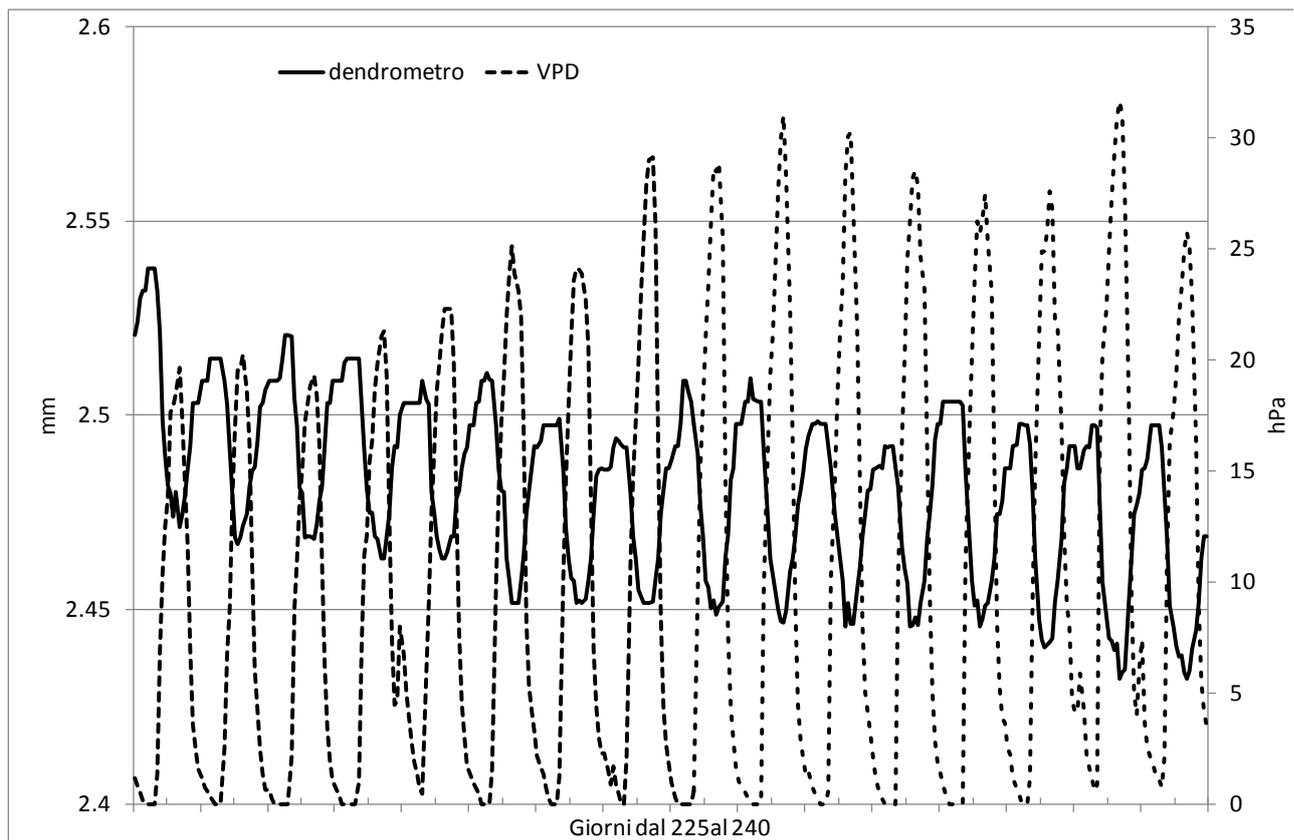


Fig. 25 Variazione della dimensione del fusto durante una condizione di deficit idrico nel 2010. Si nota la progressiva e costante diminuzione sia del valore minimo giornaliero sia del valore massimo giornaliero.

Il confronto tra i flussi misurati grazie all'utilizzo delle sonde di Granier ha consentito di confrontare le risposte nell'ambito dei singoli individui tra le misurazioni delle due branche in esame (Fig. 28, 29, 30). I grafici mostrano il flusso cumulato giornaliero per ogni sensore e i confronti sono riportati per individuo. Si notano delle evidenti differenze nella quantità di flusso a parità di periodo e quindi di condizioni stazionali. Naturalmente sono difficili le comparazioni dei dati in senso assoluto, dato che il sensore di Granier misura la densità di flusso in un particolare punto del fusto e, vista la normale variazione di funzionalità xilematica lungo la circonferenza, non è dato sapere quali siano i flussi nei diversi punti della pianta non campionati. Nondimeno è interessante comparare le variazioni relative di flusso che indicano, invece, in modo preciso, l'effetto di una determinata condizione ambientale sulla funzionalità di quel particolare individuo.

In particolare la pianta 1 evidenzia una dominanza quantitativa del flusso del sensore 1 (sulla branca 1) rispetto al 2 (sulla branca 2) che, soprattutto nei periodi di mancanza di precipitazioni segnalati in precedenza si dimostra più accentuata. Durante il periodo 160-220 ovvero subito dopo le precipitazioni abbondanti (78.8 mm) che hanno avuto termine nel giorno 157

l'evoluzione dei due flussi diventa molto simile con valori quasi sovrapponibili e comunque con una differenza molto più ridotta.(Fig. 28).

La relazione tra flusso massimo giornaliero e VPD dello stesso istante in due condizioni di disponibilità idrica diverse (Contenuto Idrico del suolo a 16 cm > del 15% e < del 15%) può mettere in evidenza una differente risposta dei polloni alla disidratazione (fig. 27)

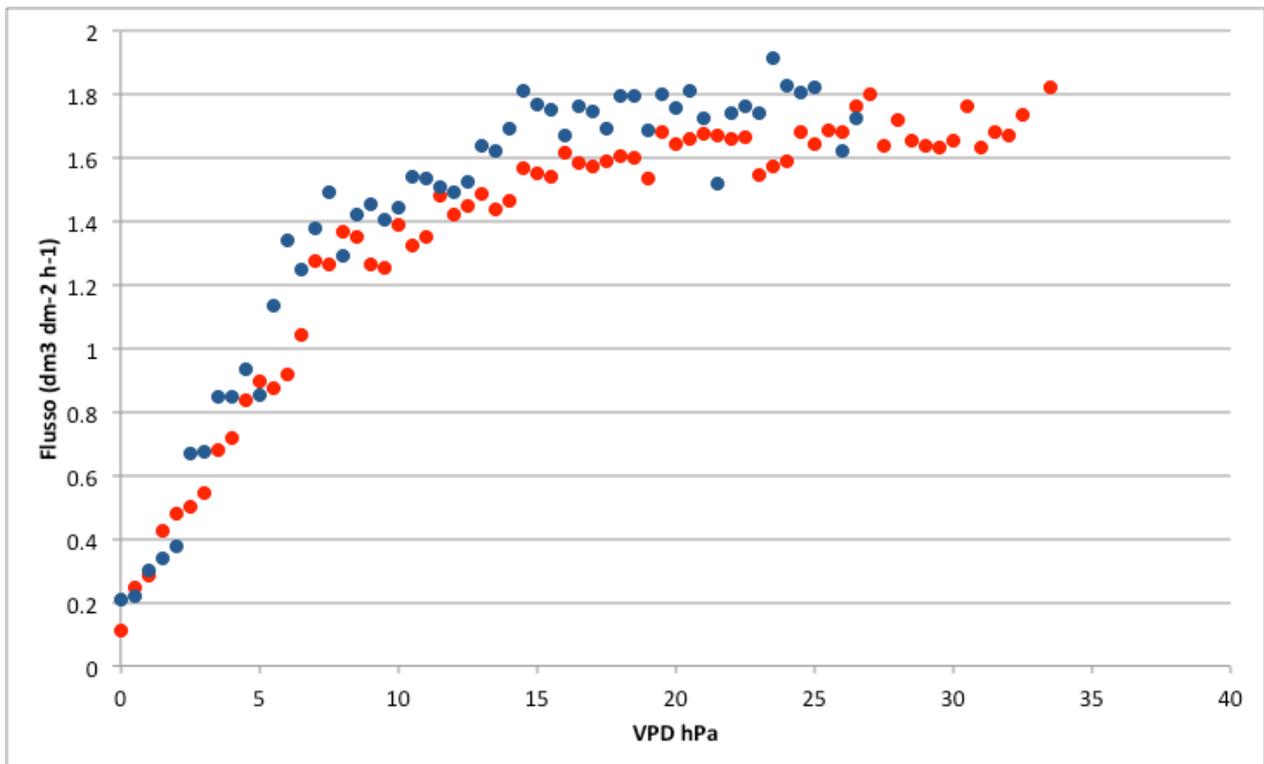


Fig. 26 relazione tra densità di flusso e VPD nel pollone 1 della pianta 1 in condizioni di CI del suolo > del 15% (punti blu) e con CI < 15% (punti rossi)

Nel caso della branca 1 essa riesce ad utilizzare in modo più esteso l'acqua disponibile nel suolo rispetto alla branca 2 (Fig. 28) e mantiene livelli di flusso elevato risentendo meno dell'influenza delle condizioni stazionali e dell'idratazione dello strato superficiale del suolo. Nella branca 2, invece, la disidratazione del suolo nella parte superficiale è estremamente importante nel determinare una riduzione decisa del flusso rispetto alle condizioni di buona disponibilità. Già a bassi VPD la differenza è significativa ed arriva anche ad oltre il 30% ad alti valori di VPD.

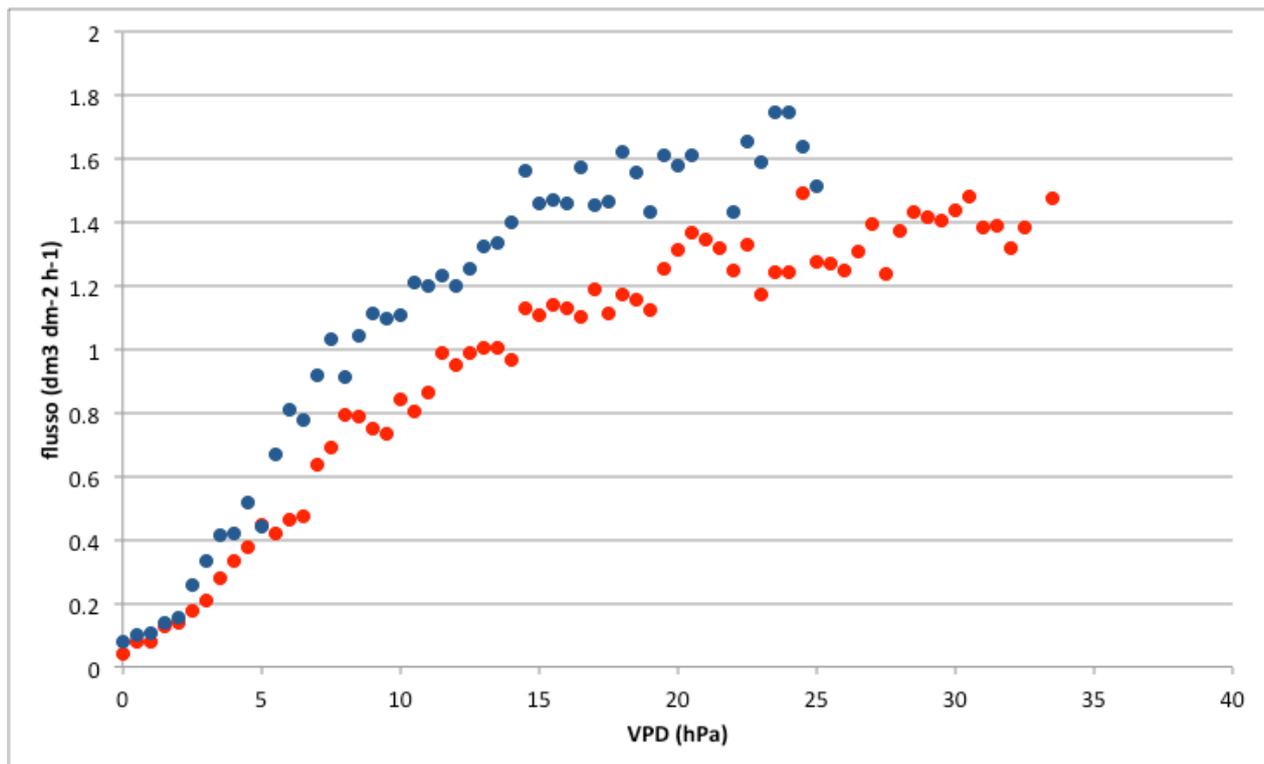


Fig.27, Relazione tra densità di flusso e VPD nel pollone 2 della pianta 1 in condizioni di CI del suolo > del 15% (punti blu) e con CI < 15% (punti rossi)

Il motivo di una disposta così differente tra pollone 1 e pollone 2 della stessa pianta potrebbe essere ricercato in una diversa dimensione del pollone. Infatti, andando a confrontare le misure di diametro dei polloni e le loro altezze (Tab. 2) si osserva che il pollone 1 risulta 23% più grande in diametro e 11% più alto del suo omologo. Questo significa anche che il pollone più grande dovrebbe aver sviluppato maggiormente l'apparato radicale approfondendo le radici in strati di terreno che risultano più idratati (Costa Leme e Assuncao, 2005). In questo modo potrebbe avere accesso a riserve idriche non accessibili al pollone di minore dimensione

La maggiore densità di flusso misurata potrebbe essere correlata alla maggiore area fogliare che un pollone di dimensioni diametriche più elevate si trova ad avere. In particolare l'area fogliare scala, in genere, isometricamente con l'area basimetrica (nel caso in esame  $LA \propto AB^{1.1}$  vedi Tab.6) quindi una differenza di 2 cm circa in diametro (9,8 vs 7,6 cm) significherebbe una differenza di oltre 10 m<sup>2</sup> di superficie fogliare in più, con il conseguente aumento di richiesta traspirativa da parte della pianta (Cristofori *et al.*, 2007) che si traduce in un'accresciuta necessità di rifornimento idrico da parte delle radici. Precedentemente è stato affermato che le radici del nocciolo si spingono fino a 60-80 cm di profondità (Roversi, 2001), va comunque detto che in ambienti particolarmente xerici non è raro trovare piante con profondità media delle radici compresa tra gli 80 e 100 cm. Nel caso della stazione di Cravanzana sembra che le radici si

possano approfondire fino ad oltre 1 m viste le modalità con cui il suolo si disidrata a tale profondità (si veda la dinamica della sonda multistadio in Fig. 16).

La situazione descritta per la pianta 1 si ripresenta con le stesse modalità anche nelle piante 2 e 3. In particolare nella 2 ad un 4% di vantaggio diametrico della branca 2 corrisponde anche una maggiore differenza in altezza pari al 17%. La maggiore differenza rilevata nei flussi durante il periodo in cui la pianta ha la possibilità di sfruttare efficacemente la risorsa idrica potrebbe essere determinata dalla diversa altezza dei polloni (che è importante anch'essa nel determinare la variazione di superficie fogliare). La pianta tre riporta dei diametri molto simili tra le due colonne con una differenza del 2% a vantaggio della branca 5 ma con la branca 6 che si dimostra il 13% più alta della sua omologa e fa registrare dei valori di flusso considerevolmente più alti. Interessante è anche notare come la pianta 3 riportando diametri e altezze superiori alle altre due piante (Tab. 2) non dimostri delle differenze significative di flusso tra il periodo di deficit (maggio) ed il periodo di buona disponibilità idrica.

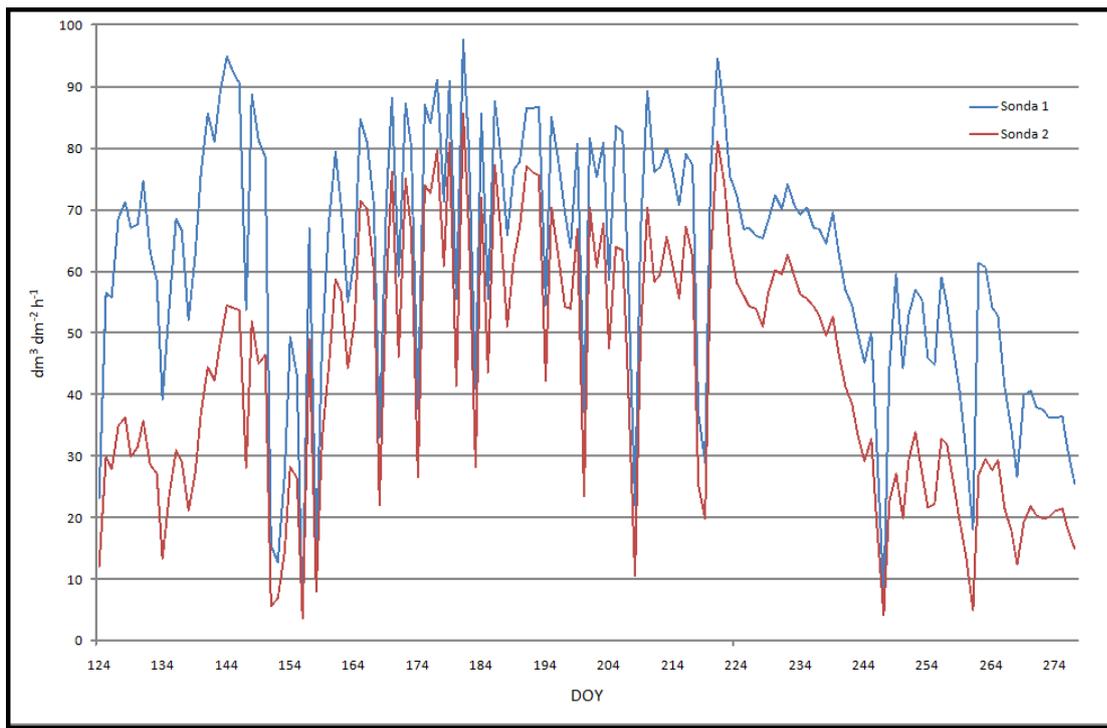


Fig. 28, Flussi xilematici cumulati per DOY dei due polloni a confronto della pianta 1.

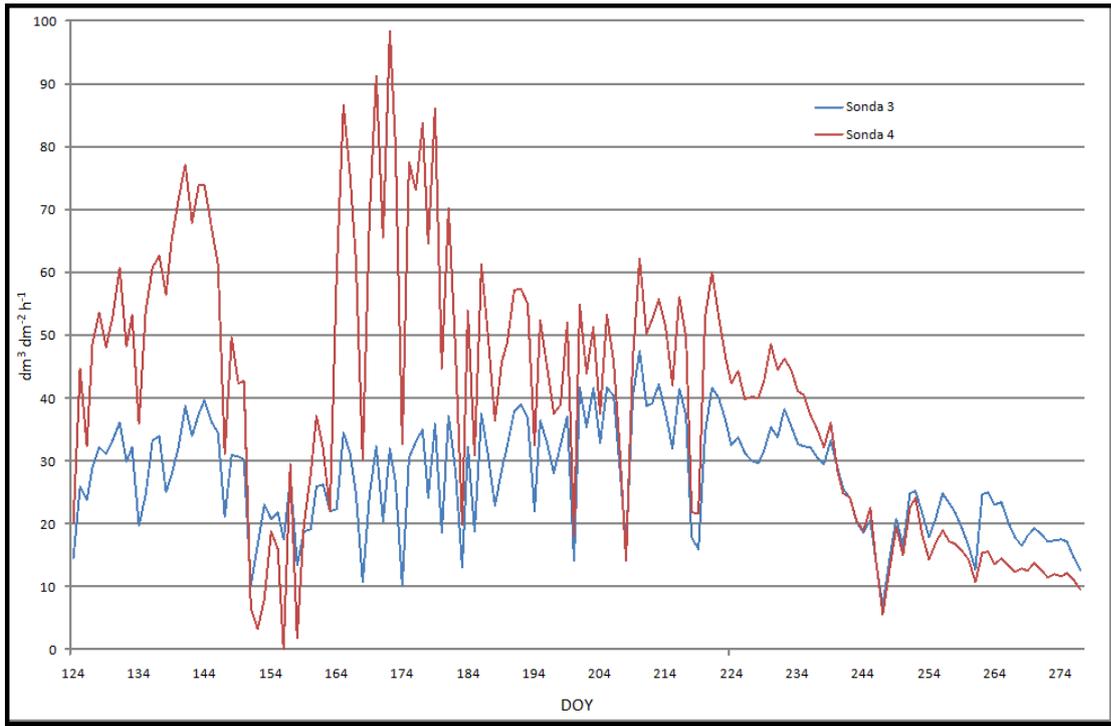


Fig. 29, Flussi xilematici cumulati per DOY dei due polloni a confronto della pianta 2.

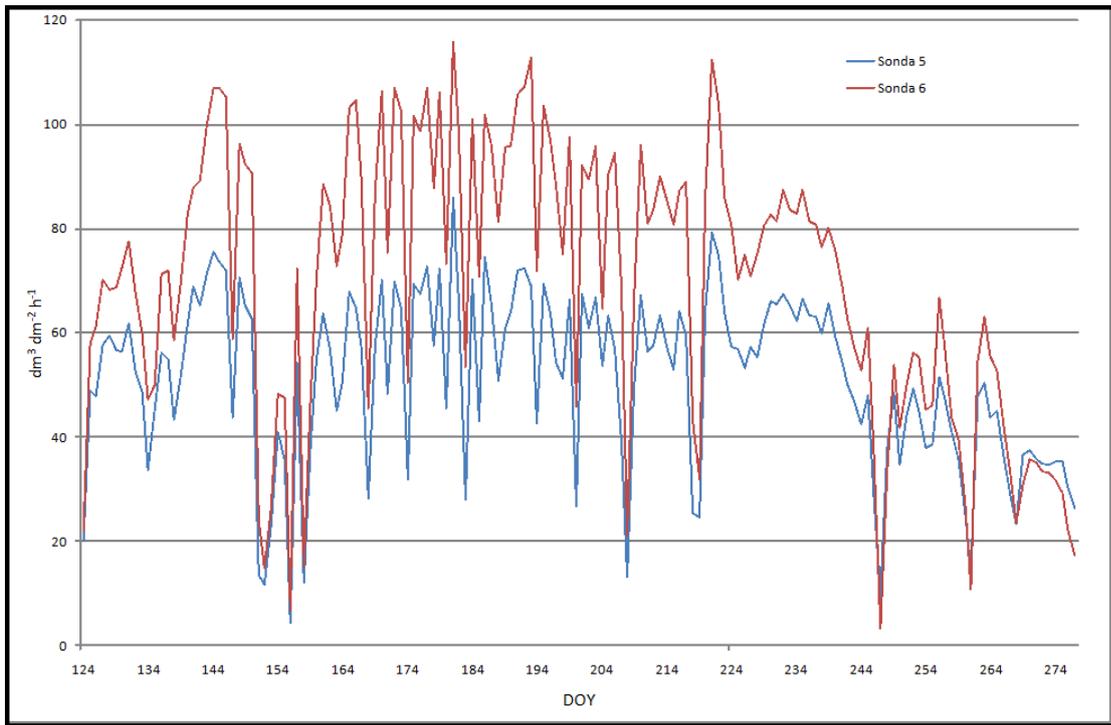


Fig. 30, Flussi xilematici cumulati per DOY dei due polloni a confronto della pianta 3.

Pollone	Diametro (cm)	Altezza (m)
1	9.87	4.5
2	7.64	4
3	7.48	3
4	7.17	2.5
5	10.51	4.5
6	10.35	5.2

Tab. 2, Diametri misurati e altezze per le sei branche (3 piante) dove sono stati installati i sensori di Granier.

Informazioni accessorie circa l'ecologia della pianta e le modalità di uso dell'acqua posso derivare anche dall'analisi del sistema conduttore ossia dall'architettura idraulica.

La struttura del tessuto conduttore dei noccioli in esame è stato verificato interpretando i risultati della misurazione del lume cellulare a diversi intervalli di distanza dall'apice della pianta e confrontando i valori ottenuti con quanto affermato da West *et al.*, (1999) e da Enquist (2002). La conferma più importante a questa teoria è stata però esposta da Anfodillo *et al.* (2006) affermando che la rastremazione minima dei condotti xilematici per garantire una sufficiente compensazione dell'aumento dovrebbe essere con un coefficiente pari ad almeno 0.19 circa. Nel caso del nocciolo l'esponente è risultato leggermente inferiore rispetto ad un'ottimale compensazione (esponente di 0.17; Fig 31): questo dovrebbe indicare che l'altezza degli individui non può aumentare significativamente ovvero che le piante sono arrivate alla loro altezza massima. Infatti è noto ai corilicoltori che i polloni, in genere, non superano l'altezza di 5 m che, appunto, è quella raggiunta dai polloni in esame.

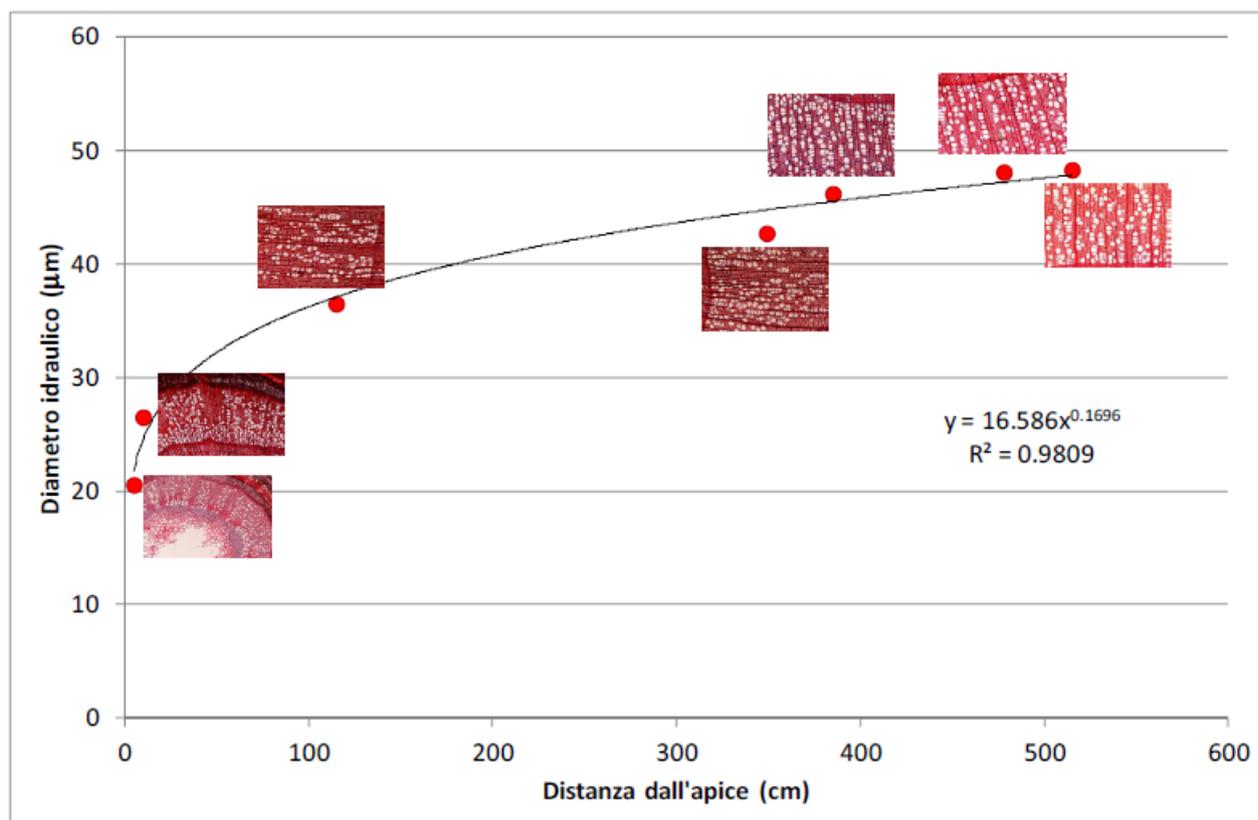


Fig. 31, Variazione del diametro idraulico nell'ultimo anello in funzione della distanza dall'apice.

Alle misure in continuo fanno seguito i dati raccolti durante le campagne di campo. Questi afferiscono principalmente a misure eseguite con la camera a pressione e l'analizzatore di gas tipo LCI. I rilievi sono stati eseguiti a Cravanzana e, in parallelo per l'anno 2011, a Baldissero d'Alba. Le serie di dati sono confrontabili e le due stazioni possono contare su andamenti meteorologici combacianti durante l'anno essendo soggette a condizioni stazionali molto simili sia in quanto a clima che a tipo di suolo e sua ritenzione idrica.

La Fig. 32 riporta i potenziali idrici misurati a Baldissero per i giorni 174, 175 (fine luglio), 216 e 218 (prima decade di agosto). In tutti si è provveduto a misurare il potenziale prima dell'alba che ha fornito valori che si riscontrano in bibliografia come propri di una stazione non sottoposta a severo deficit idrico (Tombesi 1992; Tombesi e Rosati, 1994). Il valore di potenziale diminuisce regolarmente fino a raggiungere un valore minimo di circa -1.8MPa che si avvicina molto a quello indicato da Natali et al. (1988) come limite per il verificarsi di fenomeni cavitativi e cioè -2 MPa,.. Il VPD medio in queste giornate si attesta attorno ai 12.5 hPa.

Il giorno 218 riporta un andamento leggermente diverso ma sostanzialmente in accordo con l'andamento descritto precedentemente. Il potenziale diminuisce notevolmente già verso le 10 di mattina (attorno a -1.5 MPa) in relazione alle alte temperature che si sono raggiunte nella giornata (33.2 °C). L'effetto della variabile ambientale è già stato menzionato da Vilà (1996) e Marsal et

al. (1997) i quali affermano in studi sugli effetti del deficit idrico come il nocciolo soffra l'effetto di VPD elevati combinati con una scarsa disponibilità di acqua. Nel caso qui riportato Baldissero rappresenta una stazione che, a detta del suo conduttore, è sovente soggetta a stress idrico, soprattutto in periodi di mancanza di precipitazione come quello presentato.

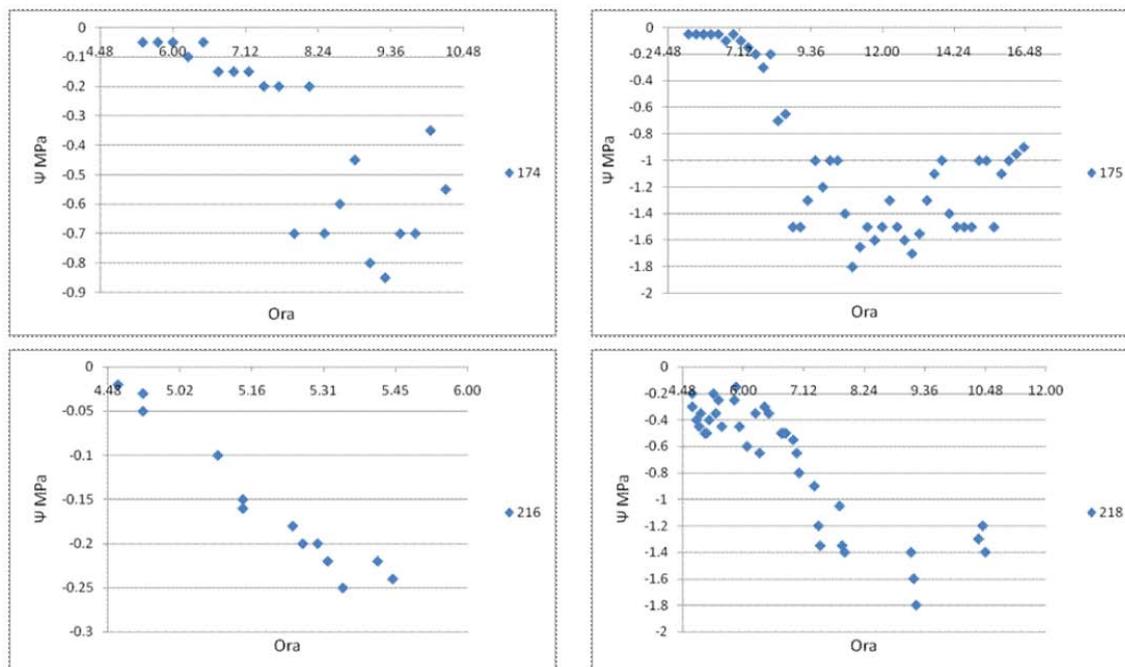


Fig. 32, Andamento del potenziale idrico presso la stazione di Baldissero.

Il confronto degli andamenti dei potenziali idrici fogliari giornalieri può essere fatto con quelli misurati a Cravanzana per i giorni 123, 125, 211 e 230 (Fig 33). Si nota come i potenziali di base siano molto simili a quelli di Baldissero con valori significativamente più bassi per il giorno 211 che segna -0.4MPa prima dell'alba. Qui si possono osservare evoluzioni giornaliere complete e risaltano i valori di picco simili a quelli trovati a Baldissero per quanto riguarda i giorni 211 e 230 (-1.8 e -1.4 MPa) mentre i giorni di maggio non sembrano andare oltre -1 MPa. I VPD medi giornalieri elaborati dalla stazione meteo sono riportati in fig. 15. Interessante notare gli alti valori per maggio come mostrato in precedenza con l'andamento del VPD giornaliero.

Particolarmente interessante il confronto dei valori minimi di potenziale nelle diverse stagioni. Infatti a Cravanzana in maggio (giorni 123, 125), nonostante le condizioni di deficit idrico estremo (contenuto idrico del suolo a 16 cm < 15%), il potenziale minimo non è particolarmente basso (circa -1MPa). Invece a fine luglio primi di agosto (giorni 211, 230), in corrispondenza di condizioni idriche più favorevoli la specie raggiunge potenziali minimi molto inferiori (circa -1.6 MPa). E' lecito domandarsi, quindi, quale sia il motivo di tale variazione di potenziale minimo non correlato alle condizioni idriche stazionali. A questo riguardo l'ipotesi più probabile è che la

pianta metta in atto un processo di osmoregolazione, ossia di abbassamento del potenziale osmotico che si riverbera in un complessivo abbassamento del potenziale idrico (Badalotti et al, 2000). Marsal et al (1997) riportano che, nel periodo di formazione dell'endosperma, il valore di potenziale di base si abbassa indipendentemente dalle condizioni idriche stazionali e, a fine di questo processo, il potenziale aumenta nuovamente. Questa diminuzione di potenziale idrico, in corrispondenza della formazione della nocciola, è stato dimostrato anche in altre piante da frutto (melo ed altri) ed è determinato dalla mobilitazione di composti osmoticamente attivi. Coticchè la pianta aumenta anche la propria capacità estrattiva e favorisce il rapido rigonfiamento dei tessuti in crescita. Da notare che l'effetto della regolazione del potenziale idrico si osserva anche sul valore di minimo (punto di plateau) raggiunto dal contenuto idrico nel suolo (fig. 19) che, infatti, è leggermente più basso in agosto rispetto a maggio. Questa differenza non può che essere spiegata con l'accresciuta capacità estrattiva della pianta durante il mese di agosto rispetto a maggio. E' da notare che questo aspetto è quasi del tutto nuovo nel panorama delle conoscenze di questa specie ma può assumere notevole importanza anche applicativa per programmare l'ottimizzazione della coltura ed in particolare dell'irrigazione.

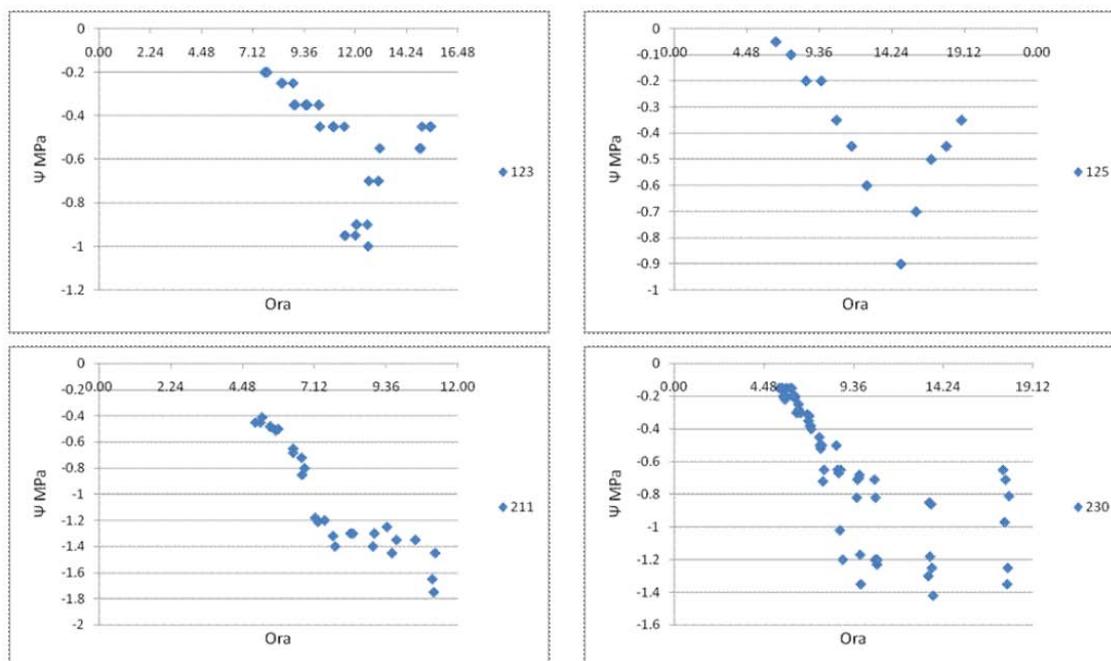


Fig. 33, Andamento del potenziale idrico presso la stazione di Cravanzana.

La conduttanza stomatica è stata rilevata assieme alle altre variabili durante le misure puntuali di campo, i risultati ottenuti non hanno permesso di dichiarare una particolare dipendenza da parte di  $g_s$  verso l'ora del giorno. In particolare se si guarda ai dati di Baldissero per i giorni 200 e 201 dell'anno 2011 si nota come la conduttanza diminuisca durante le ore più calde del giorno, come ci si potrebbe aspettare dal comportamento della pianta (Fig. 34). L'andamento di questa

variabile non è però omogeneo durante tutte le ore del giorno e il *midday depression* (depressione di mezzogiorno da Singhet *al*, 1996) non è individuabile nel grafico. Come già rilevato da Arkebauer e Walter Shea (2000) nel loro studio sul comportamento di varie specie, tra cui il nocciolo, al variare dei parametri stazionali, la conduttanza del nocciolo assume una tendenza decrescente durante la giornata ma con una dispersione del dato che impedisce di avere dei valori probanti di questo andamento. Lo stesso si verifica per i dati riportati da questo studio dove, sia la mattina del giorno 200 che durante tutta la giornata del 201, si può distinguere la progressiva diminuzione della conduttanza e quindi dell'apertura stomatica ma la distribuzione dei punti sul grafico è molto dispersa come già rilevato precedentemente dal Tombesi (1994).

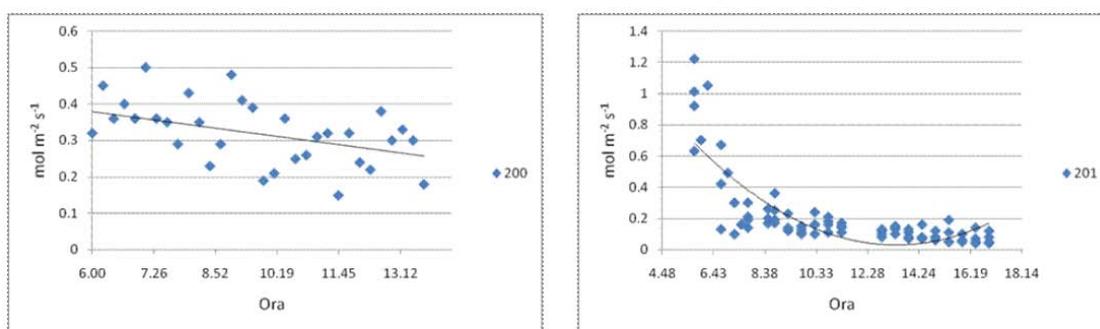


Fig. 34, Andamento della conduttanza stomatica per Baldissero nella mattina del DOY 200 e durante tutto il giorno 201 (andamenti in evidenza).

Anche per la stazione di Baldissero si è misurata una conduttanza sempre piuttosto bassa il che induce a ritenere che la specie abbia evoluto dei meccanismi di resistenza al deficit idrico di tipo spiccatamente evitativo (*water saving*). La stessa osservazione può essere fatta per i valori misurati a Cravanzana dove si presentano due giorni di maggio il DOY 123 e 125 (Fig. 35). Entrambi i giorni riportano l'andamento di diminuzione dalla mattina verso la sera che caratterizza la risposta fisiologica del nocciolo all'aumento della temperatura e quindi del VPD nelle ore centrali del giorno. I valori si presentano molto simili a quelli di Baldissero nonostante il periodo della stagione vegetativa considerato sia antecedente e durante uno scenario in cui il nocciolo ha delle esigenze differenti ovvero la crescita vegetativa contro lo sviluppo del frutto.

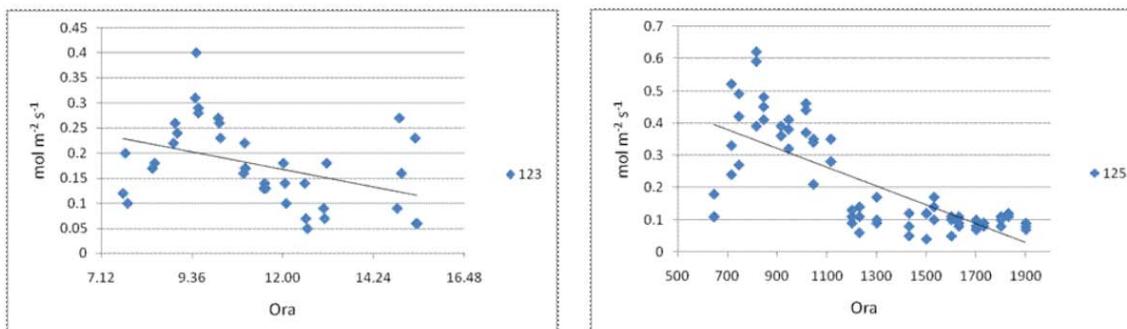


Fig. 35, Andamento della conduttanza stomatica per Cravanzana nelle giornate 123 e 125.

I confronti delle conduttanze misurate nelle due stazioni su tutti i dati (fig. 36 e 37) mettono in evidenza ancora la notevole risposta della specie all'aumentare del VPD anche se vi è una certa dispersione dei dati (tipica di questo tipo di misurazioni). Nondimeno si può notare che la chiusura stomatica, a parità di VPD, sembra essere maggiore a Baldissero che è stazione sicuramente soggetta a maggiore deficit idrico vista la localizzazione ed il tipo di suolo. La relazione tra conduttanza e disponibilità idrica del suolo risulta evidente quando si osserva la variazione di questo parametro nella stazione in Georgia. In quel sito sono state misurate le maggiori conduttanze e il minore grado di controllo stomatico proprio in ragione del fatto che la disponibilità idrica è praticamente illimitata grazie al tipo di suolo fortemente argilloso e alle precipitazioni annue ben distribuite e sempre sopra i 2000 mm/anno.

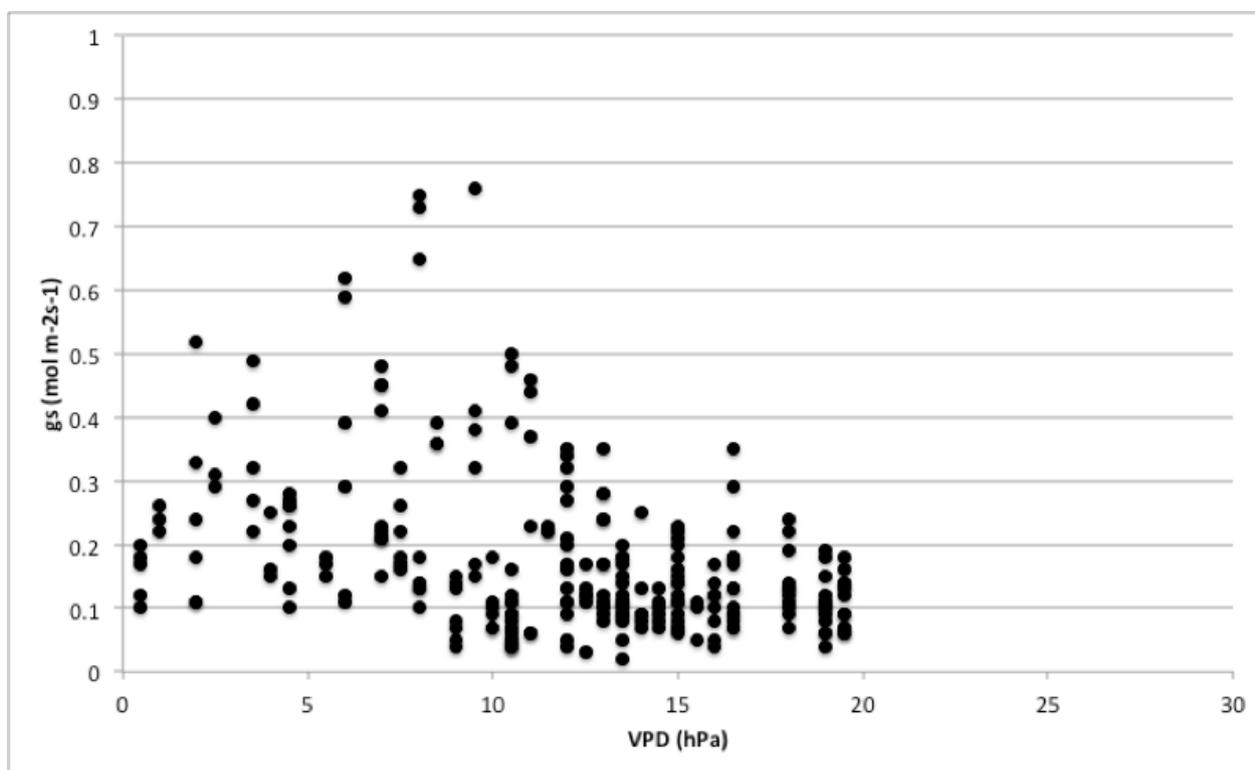


Fig. 36 Relazione tra conduttanza stomatica e VPD per la stazione di Cravanzana

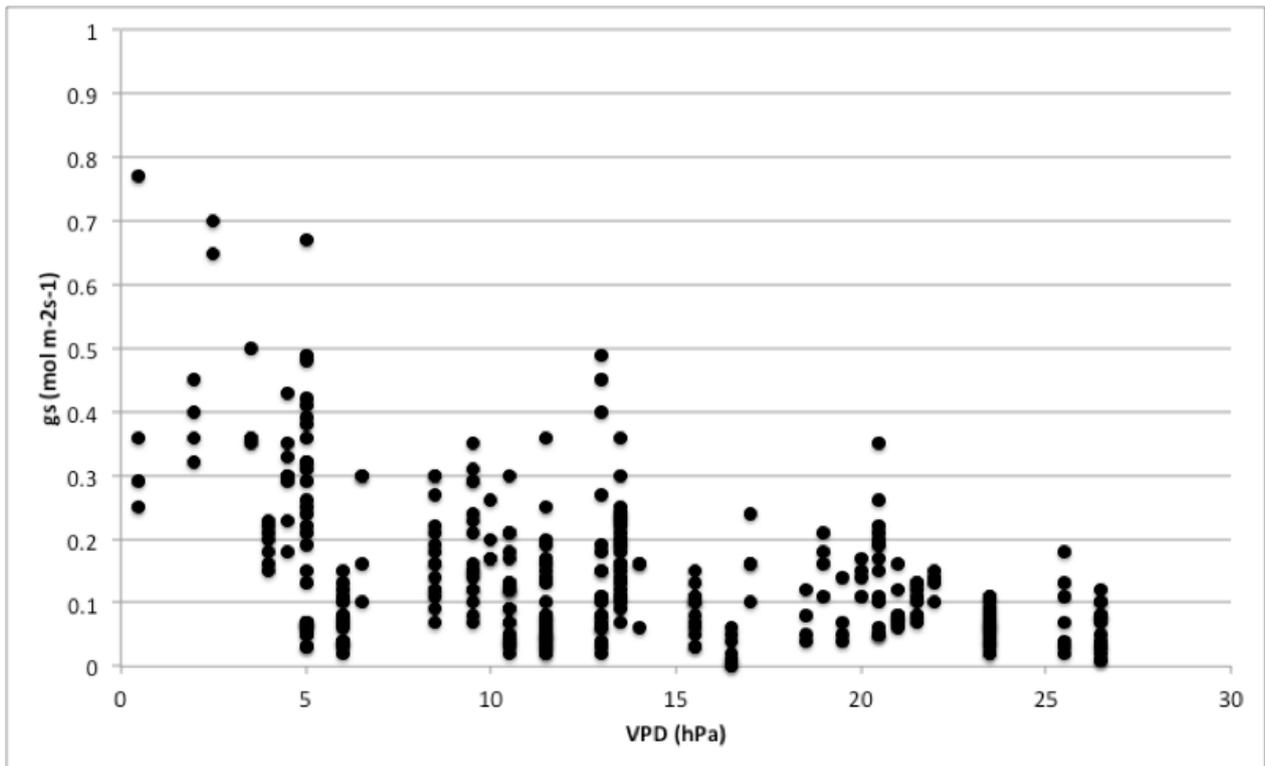


Fig. 37 Relazione tra conduttanza stomatica e VPD per la stazione di Baldissero

Durante le misure di campo con l'analizzatore di gas sono stati raccolti dati per poter approntare le curve di assimilazione fotosintetica. Per i giorni presi in esame precedentemente i risultati di queste curve (Fig. 38) hanno dimostrato che il nocciolo si comporta come descritto precedentemente da altri autori con un tasso medio di saturazione fotosintetica di  $6-8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Hampson *et al.*, 1996)

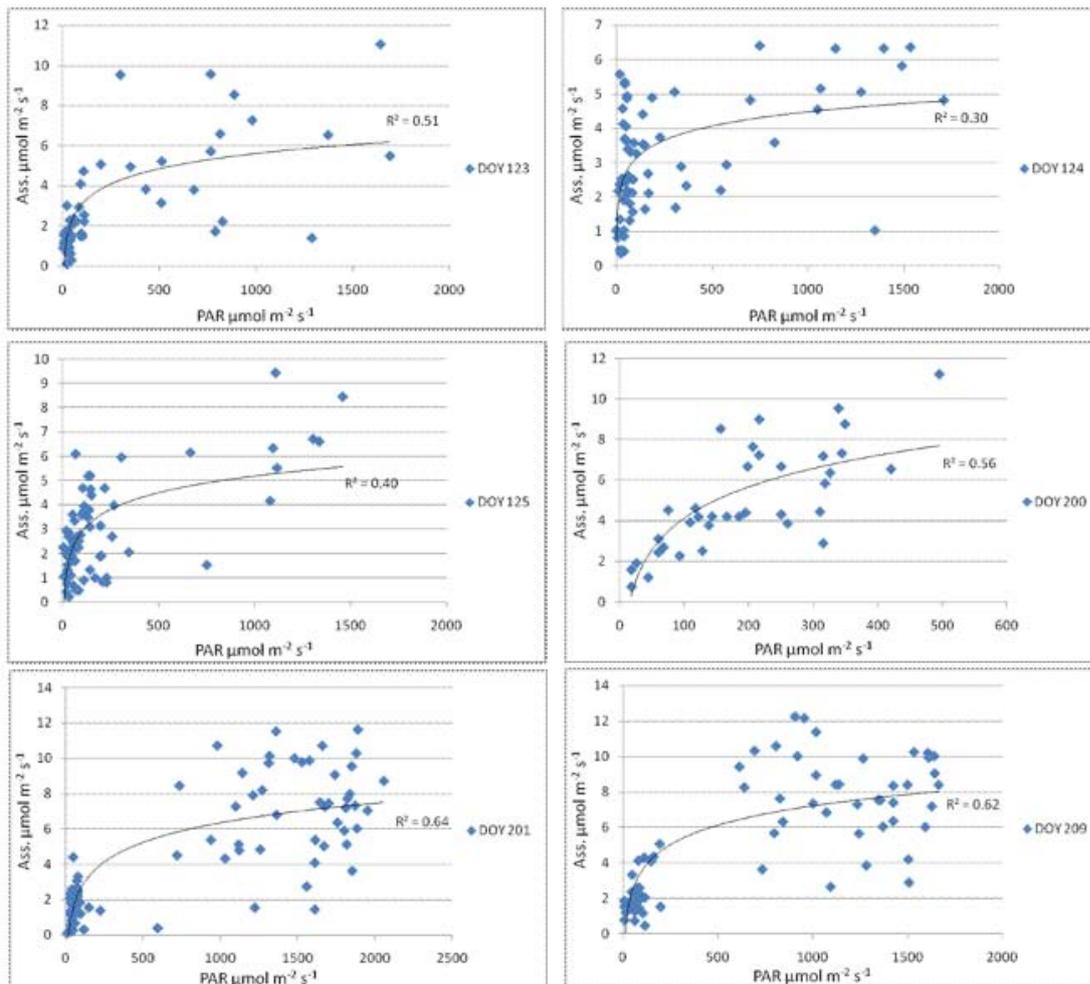


Fig. 38, Assimilazione fotosintetica per il nocciolo di Cravanzana.

Ad una lettura attenta si notano delle differenze sostanziali tra i due periodi presi in esame, quello di maggio (123-124) riporta dei valori a saturazione vicini a  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  che risultano inferiori a quello che ci si potrebbe aspettare da giorni di primavera, generalmente contraddistinti da un VPD basso e una buona disponibilità idrica del suolo. Al contrario i giorni di luglio (200-209) solitamente caratterizzati da un clima più secco e meno disponibilità d'acqua nel suolo fanno segnare dei valori di assimilazione decisamente più elevati attestandosi attorno a  $8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Questo andamento viene però giustificato da quanto si è osservato in precedenza a livello di disponibilità idrica nel suolo in particolare a 16 cm di profondità e anche al fatto che, grazie all'aggiustamento osmotico, la pianta può mantenere un livello di turgore elevato (ossia gli stomi parzialmente aperti) in una condizione di minore potenziale idrico, favorendo così l'assimilazione.

Se si analizzano i flussi xilematici giornalieri e le misurazioni di VPD a livello giornaliero si possono fare interessanti considerazioni. (Fig. 39).

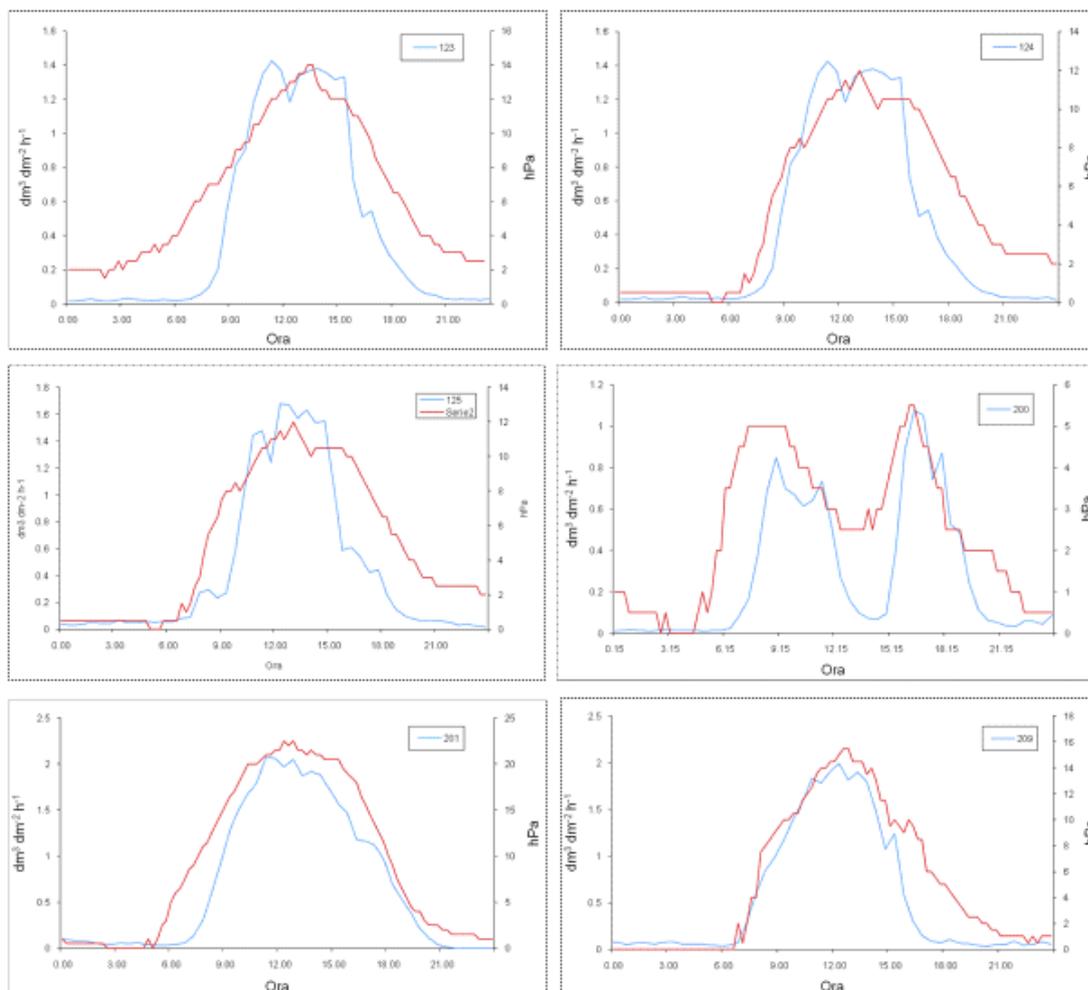


Fig. 39, Confronto tra il VPD orario (in rosso) e la misura del flusso xilematico orario (in blu).

In particolare si nota che per i tre giorni di maggio nonostante il VPD si mantenga elevato i flussi non riescono ad arrivare ai valori di punta fatti segnare dai seguenti giorni di luglio. Infatti nei giorni 201 e 209 abbiamo dei valori quasi doppi rispetto ai giorni di maggio quando la pianta era in piena crescita ed in forte necessità di acqua. Il giorno 201 non è significativo in quanto un giorno in cui il sole era coperto dalle nuvole e quindi mantiene un flusso basso e variabile con la nuvolosità. Di particolare significatività il confronto tra i giorni 123 e 209 dove ad andamenti del VPD quasi speculari corrispondono valori di flusso molto differenti. La dipendenza del flusso dal VPD viene provata dai valori dell' $R^2$  ricavati da questa relazione e che sono rispettivamente per il DOY 123 ( $R^2 = 0.86$ ), 124 ( $R^2 = 0.83$ ), 125 ( $R^2 = 0.77$ ), 200 ( $R^2 = 58$ ), 201 ( $R^2 = 93$ ), 209 ( $R^2 = 87$ ).

I giorni 123 e 209 sono stati scelti come significativi per un confronto in base al WUE (*Water Use Efficiency*) misurato durante il corso della giornata. Questo indicatore tende ad aumentare per segnalare situazioni di stress della pianta e l'aumento rispetto al valore base è stato descritto da Awada e Josiah (2007) per il nocciolo come al di sopra di  $2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Nei due

casi descritti si riportano due andamenti diversi tra loro con il giorno 123 di maggio che risulta più variabile al trascorrere delle ore e raggiunge, soprattutto dalla tarda mattinata in poi, dei valori più alti rispetto al giorno di luglio (Fig. 40).

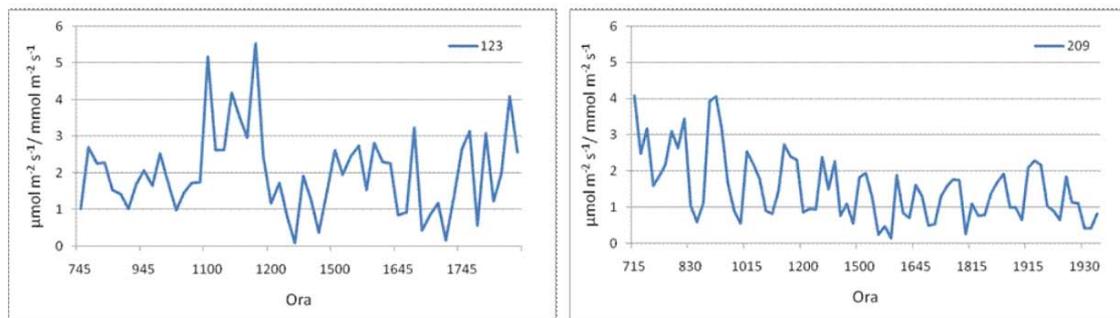


Fig. 40, Andamento giornaliero del WUE per i giorni 123 e 209 a Cravanzana.

Per trovare una corrispondenza tra il contenuto idrico del suolo rilevato in particolar modo dalla sonda posta a 16 cm di profondità, quindi quella più a contatto con la massa radicale e il suo effetto sull'utilizzo dell'acqua da parte della pianta, si sono confrontate le relazioni tra dendrometro e la sonda stessa. La variabilità della sonda descrive una piccola parte di quella data dalla dilatazione giornaliera del fusto (Fig. 41). Per contenuti idrici inferiori al 14% della capacità del suolo la relazione mostra graficamente come ci sia una ridottissima crescita diametrica che invece aumenta discretamente per i contenuti idrici maggiori. Il limite di assorbimento di acqua da parte della pianta risulta qui chiaro e stabilirsi a 11-12% della capacità del suolo come precedentemente dedotto dagli andamenti periodici misurati dalle diverse sonde. La variabilità che si osserva per contenuti idrici compresi tra 11 e 14% è probabilmente data dal processo di crescita del fusto, dinamica che avviene in ogni caso nella pianta ma che, come nel caso del 2011, può essere fortemente limitata dallo stress idrico. I valori superiori al 14%, che corrispondono a misure diametriche maggiori e con un andamento meno omogeneo, derivano dai processi di idratazione e disidratazione a cui la pianta va incontro nella fase successiva alla crescita e che, nel caso del 2011, avvengono quando la disponibilità di acqua nel suolo è maggiore rispetto alla precedente fase di crescita.

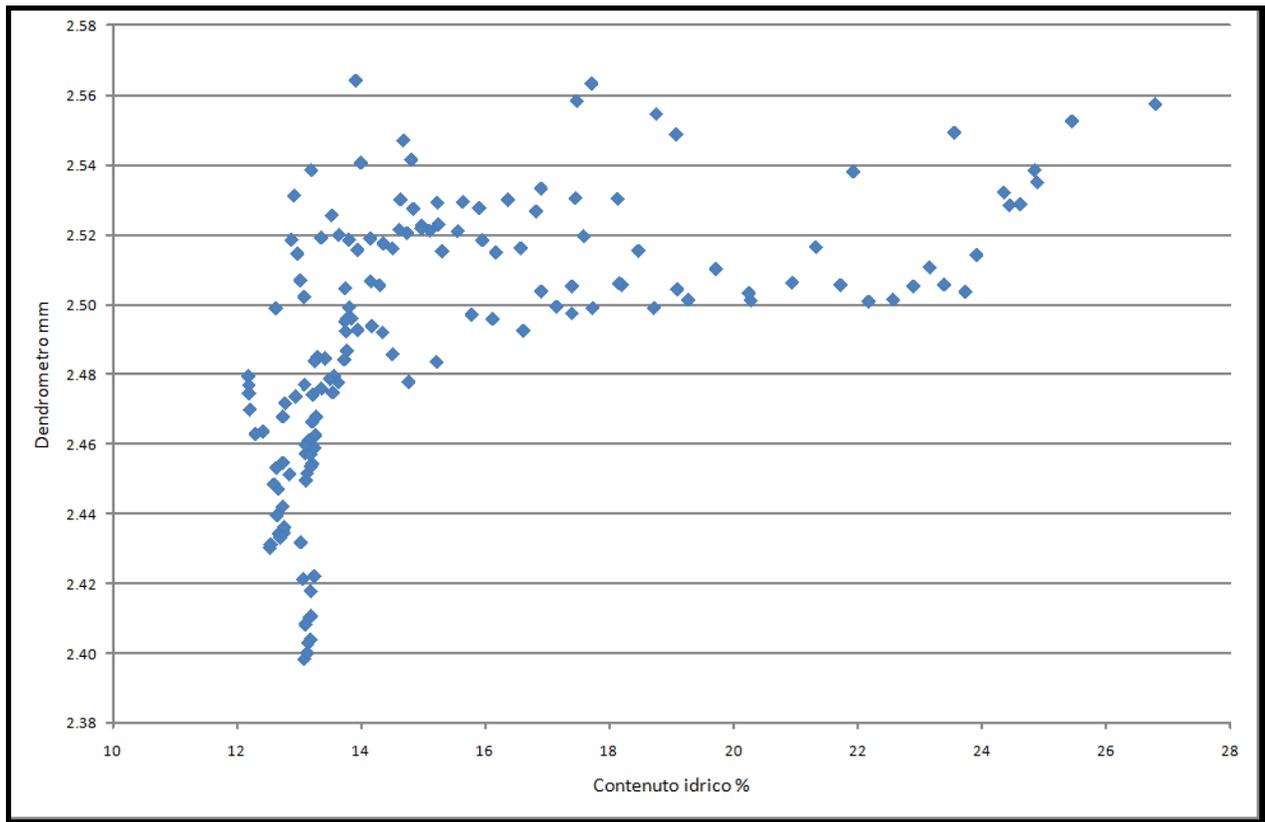


Fig. 41, Relazione tra valori giornalieri del dendrometro e variazioni giornaliere del contenuto idrico del suolo misurato a 16 cm di profondità.

Nonostante sia molto difficile determinare l'inizio e la fine del periodo di crescita del fusto durante la stagione vegetativa, come mostrato da Deslauriers *et al.* (2007) per le piante a crescita lenta, nel nostro caso si è considerata la stagione di crescita come periodo che si protrae dal giorno 100 fino al giorno 155 mentre il resto delle variazioni sono da ascrivere a cicli di disidratazione e idratazione della pianta. Questo ha permesso di sovrapporre il periodo di crescita all'andamento dello stato di idratazione del suolo per capire se si verificano criticità durante la richiesta di acqua per la distensione dei tessuti da parte della pianta. Per l'anno 2011 i grafici presentati in precedenza confermano questa dinamica mostrando i plateau delle curve di ritenzione quando la pianta richiede la risorsa idrica per aumentare le dimensioni del fusto. Questo potrebbe giustificare la ridotta (0.3 mm) dimensione dell'anello dell'anno che è stata misurata in laboratorio.

Per quanto riguarda il flusso, il secondo indicatore dell'attività metabolica della pianta e quindi del suo sviluppo, si è trovata una relazione lineare significativa con il VPD misurato durante la giornata. In particolare (Fig. 42) si può osservare come i valori centrali, quindi quelli per i VPD medi giornalieri più frequenti durante la stagione vegetativa, siano i più aderenti alla relazione.

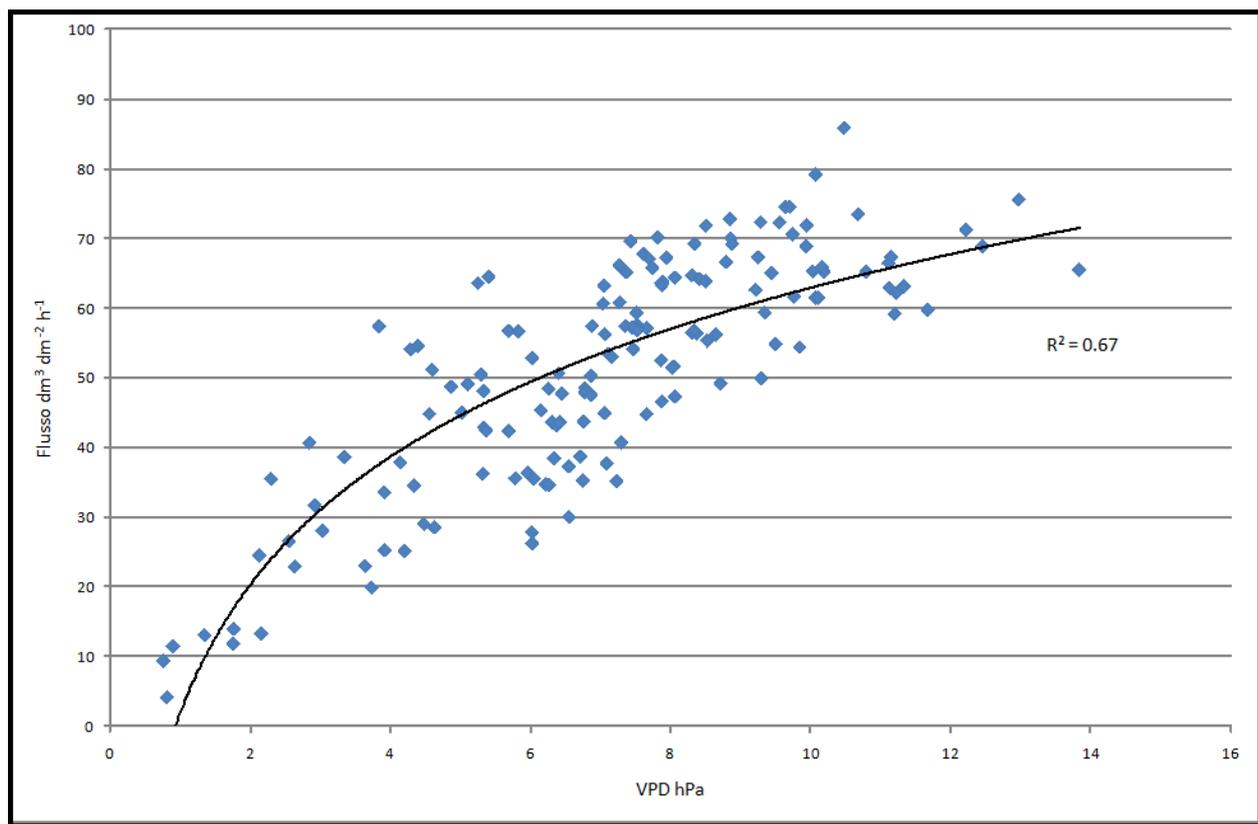


Fig. 42, Relazione tra flusso xilematico medio giornaliero e il VPD medio giornaliero per Cravanzana.

Sembra quindi che i processi metabolici della pianta, soprattutto quelli legati al suo sviluppo vegetale siano legati a due variabili stagionali facilmente discriminabili e misurabili quali il contenuto idrico nel suolo e il valore del VPD.

A conclusione dell'analisi delle due stazioni permanenti si riporta la tabella con la variazione delle produzioni e delle rese (Tab.3) presso Cravanzana dal 2002 al 2011. Si possono notare delle produzioni ad ettaro molto elevate e comunque dei valori con alta variabilità di anno in anno. La alta produttività (>2300 kg) è frutto di anni eccezionali che si sono verificati nell'ultima decade mentre la variabilità è una caratteristica peculiare del nocciolo, comune a tutti gli areali. Questa notevole variabilità rende ancora più importante la definizione di strategie colturali che possano da un lato aumentare la quantità assoluta e dell'altro stabilizzare la produzione in modo da consentire una maggiore pianificazione, anche nell'industria di trasformazione.

Emerge la grande importanza delle condizioni idriche nei periodi di maggio(per l'accrescimento e la divisione cambiale) e luglio-agosto (per la formazione della nocciola). La minima produzione si è verificata nel 2003 anno eccezionalmente caldo e siccitoso. La massima produzione si è verificata nel 2010 quando sia in maggio sia in luglio-agosto le condizioni di disponibilità idrica sono state discretamente buone.

Anno	Resa (%)	Produzione/ha (kg)
2011	49.7	2088
2010	48	3596
2009	48	1392
2008	46.4	1972
2007	47.6	2552
2006	45.9	3480
2005	48	1392
2004	45.5	2668
2003	46.1	1044
2002	45.2	2552

Tab. 3, Resa e produzione divisa per anno per il nocciolo di Cravanzana.

Analizzando i dati di produzione e di resa si ottengono delle relazioni importanti con le temperature medie rispettivamente del mese di agosto e maggio (Fig. 43).

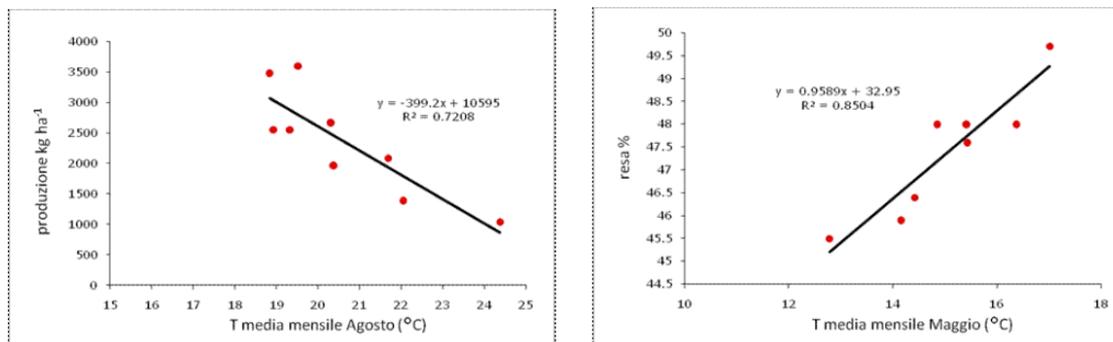


Fig. 43, Relazione tra produttività e T° media durante il mese di agosto e resa con T° media durante il mese di maggio.

La produttività è fortemente influenzata dalla temperatura di agosto con una correlazione negativa, si è visto che negli anni questo mese influisce sul quantitativo di nocciole prodotte all'ettaro fino a modificarne il valore del 300%. Risulta evidente che, se nel mese di agosto vi sono temperature molto alte ( e quindi condizioni severe per quanto riguarda il potere evaporante dell'atmosfera), la pianta riduce drasticamente le proprie capacità di produrre nocciole. Anche tale variabilità di risposta della produzione qualifica la specie come fortemente evitativa la disidratazione: infatti in tutte le specie con questo comportamento nei riguardi del deficit idrico (ad esempio nelle piante forestali, il pino silvestre) si osservano grandi variazioni di fenotipi (ridotte altezze, foglie piccole, etc) in quelle stagioni caratterizzate da condizioni ambientali severe.

Allo stesso tempo la resa è sensibile alle variazioni di temperatura durante il mese di maggio, in particolare aumenta in proporzione con la temperatura media che questo periodo fa registrare. La relazione che è stata riscontrata con questa elaborazione spiega rese tra il 45% e il 50% ovvero tutta la variabilità riscontrata nella varietà TGL. In particolare per l'anno in corso si è verificata una temperatura media durante il mese di maggio molto elevata (17.01 °C) che ha fatto sì che si raggiungessero valori record per la resa allo sgusciato (49.7%). La temperatura media durante agosto, più calda dell'anno precedente, ha invece fatto scendere la produzione ad ettaro fino a farla attestare a 2088 kg/ha per un'annata decisamente nella norma.

## **Aree temporanee**

I risultati raccolti nelle tre aree temporanee facenti parte dello studio hanno confermato i valori ottenuti in quelle permanenti fornendo, in alcuni casi, spunti per delle considerazioni sull'adattamento della specie a diversi contesti stazionali.

In Georgia (Chitatskari) non è mai stata utilizzata la camera a pressione per motivi logistici ma l'analizzatore di gas ha fornito valori che possono essere interpretati con la stessa chiave di lettura dell'Italia visto che risultano simili (Fig. 44). Il trend della conduttanza stomatica è decrescente durante la giornata con valori che si mantengono decisamente più elevati ( $> 2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) fino al tardo pomeriggio (ore 18). Questo è dovuto al differente tipo di suolo che, essendo in Georgia fortemente argilloso, conserva più tenacemente l'acqua e fa sì che la pianta possa sempre attingere più o meno facilmente a questa riserva. Ne è riprova il valore del VPD decisamente elevato per questa stagione in quanto fa registrare una media di 14.4 hPa con punte massime di 19.6 hPa a testimonianza di condizioni sicuramente non standard per una giornata autunnale.

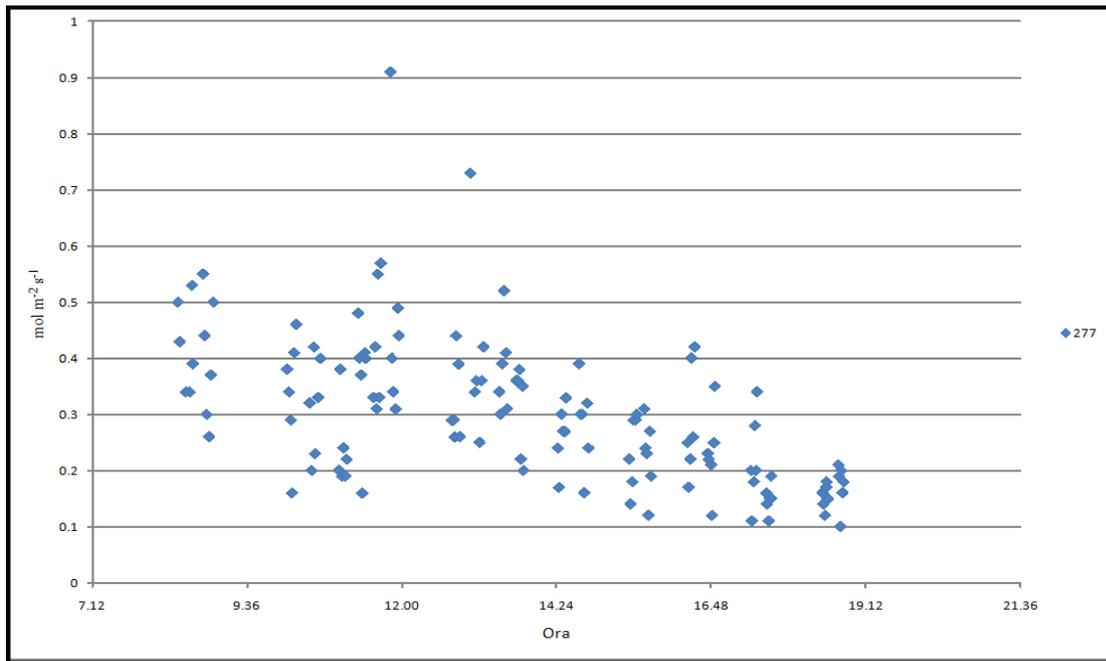


Fig. 44, Andamento della conduttanza stomatica per la piantagione di Chitatskari (Georgia).

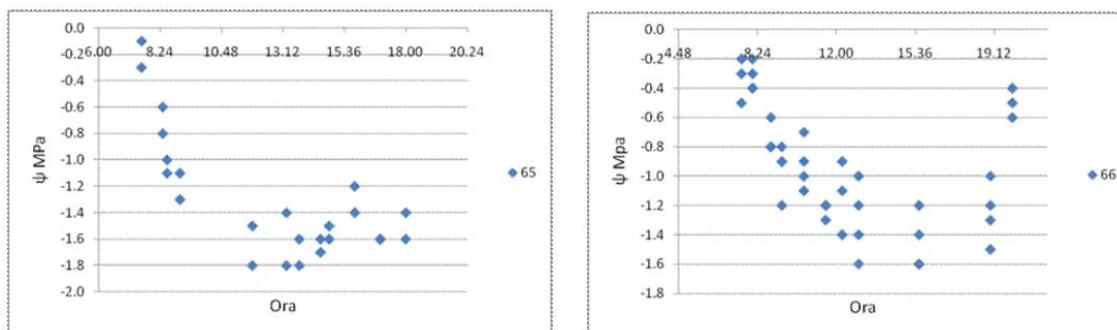


Fig. 45, Potenziale idrico rilevato nel mese di marzo presso la piantagione di Camarico, Cile

I grafici antistanti presentano i valori di potenziale per la piantagione di Camarico in Cile dove la camera a pressione è stata utilizzata durante i giorni di marzo e quindi durante la fine dell'estate australe, poco prima del raccolto. Si rilevano delle piccole differenze tra questa piantagione e quelle italiane, in particolar modo il sesto d'impianto (5x3 contro 5x5 dell'Italia) e la varietà (Tonda di Giffoni contro TGL in Italia) ma la discontinuità maggiore è l'utilizzo pressoché giornaliero dell'irrigazione. In Cile le piante ricevono in media 50 L/giorno di acqua durante la stagione vegetativa e queste misure sono state effettuate su piante irrigate in giornata. Il suolo in questa piantagione si presenta molto sabbioso e quindi l'acqua somministrata tende a disperdersi verso il basso, a percolare con estrema facilità e velocità. In questo caso i valori di potenziale idrico sono molto bassi, ai livelli dei giorni più secchi in Italia con punte che si avvicinano a -2 MPa e andamenti che vedono il potenziale precipitare già durante le prime ore del mattino (Fig. 30). Sembra verificarsi un marginale recupero nel potenziale nel pomeriggio verso le 16 quando le

piante possono approfittare della discesa delle temperature che permette un'assimilazione facilitata e quindi la possibilità di una forza di suzione maggiore. Dal punto di vista del VPD il giorno 66 vede una media di 19.66 hPa con punte di 36.62hPa alle 18 di sera, valori che difficilmente si possono riscontrare in Italia. Il giorno 67 fa registrare una media di 15.65 hPa con punte fino a 33.6hPa registrate, andamenti alquanto insoliti per l'emisfero nord alle ore 19. Con questi valori molto elevati di VPD risulta comprensibile l'andamento del potenziale idrico e i suoi estremi molto vicini ai limiti massimi trovati per il nocciolo (Natali, 1988).

La conduttanza stomatica diminuisce nei suoi valori medi rispetto a quello che fa rilevare in Italia, questo parametro essendo sensibile all'andamento del VPD (Arkebauer e Walter-Shea, 2000) evidenzia un'evoluzione che, in termini di valori assoluti, è quasi la metà rispetto a quello che si è misurato sui noccioli italiani (Fig. 46). L'andamento giornaliero è sempre decrescente ma i valori minimi rimangono per diverse ore molto prossimi allo zero.

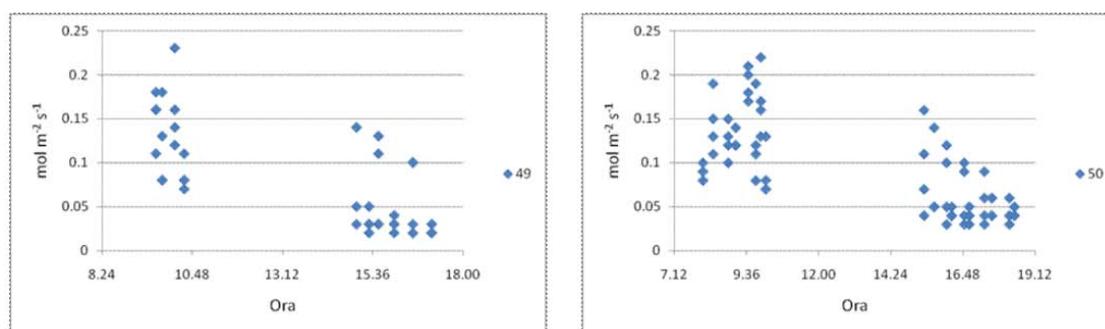


Fig. 46, Conduttanza stomatica durante due giornate estive a Camarico.

Nella piantagione sudafricana le prove sono state eseguite su piante di 5 anni di età ma che sono state piantate a terra solamente da due anni. Questa situazione è causata dalla quarantena a cui le piante devono essere sottoposte per tre anni in vasi di dimensioni appropriate, per verificare l'insorgenza di patogeni o malattie aliene al paese. L'analisi condotta con la bomba di Scholander si è giovata di una situazione molto particolare, due file di piante identiche adiacenti, una irrigata ed una in cui l'impianto di irrigazione a goccia non distribuiva l'acqua. Questo evento si è verificato durante il giorno 21 dell'anno 2011 e viene riportato nella Fig. 47 assieme ad altri due giorni dell'anno. Si nota dal confronto dei due sviluppi delle misure di campo come il non irrigato raggiunga valori assoluti minori del suo antagonista (-1 contro -0.9MPa) con i valori orari che manifestano delle differenze osservabili direttamente sul grafico. Allo stesso tempo la risalita del potenziale avviene nell'irrigato circa un'ora prima rispetto alla tesi in asciutta e i potenziali raggiunti a fine giornata sono più vicini allo zero. Gli altri due andamenti presentati analizzano un recupero pomeridiano, per quanto riguarda il giorno 18, e un andamento giornaliero nel giorno

22. Il giorno 18 riporta valori di una tesi non irrigata con valori simili se non inferiori a quanto campionato in Cile, il recupero avviene in maniera regolare ma i valori raggiunti a fine giornata sono più elevati rispetto alle piante irrigate. Questa affermazione è confermata dal giorno 22 in cui la pianta effettua un rapido recupero e ritorna su valori omologati per le tesi irrigate. I valori di VPD misurato dalla stazione meteo sono di 7.7 hPa per quanto riguarda la media del giorno 18 con punte di 23.1 hPa alle 2 del pomeriggio, 1.95 hPa durante il giorno 21 che è contraddistinto da una copertura nuvolosa costante e 2.08 hPa per il giorno 22 quando l'umidità atmosferica si è mantenuta molto prossima al 100% per tutta la giornata. Si osservano dei trend di potenziale simili a quelli rilevati in altre piantagioni con valori di VPD diversi.

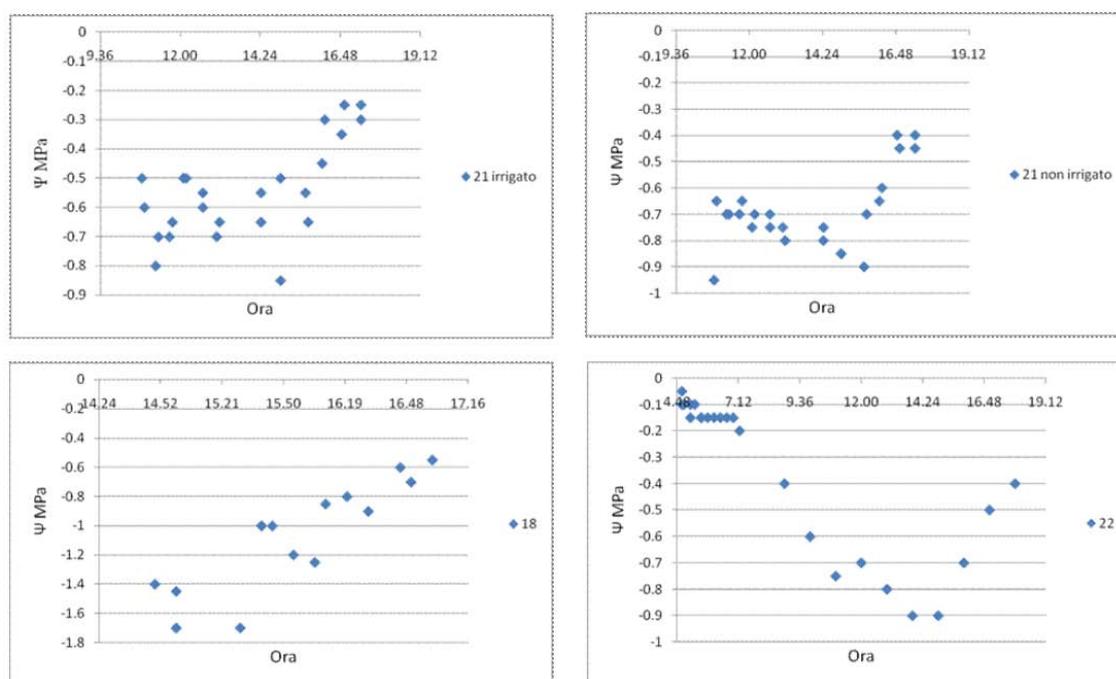


Fig. 47, Potenziale idrico rilevato nel mese di gennaio per la piantagione sudafricana.

Il rilievo relativo alla conduttanza stomatica (Fig. 48) ha fornito valori più elevati rispetto alle altre piantagioni, questo effetto può essere ascrivito alla maggiore disponibilità di acqua garantita dall'irrigazione e alla giovane età delle piante che, sfruttando le favorevoli condizioni stagionali, cercano di massimizzare la crescita e quindi l'accumulo di fotosintetizzati durante i primi anni di impianto.

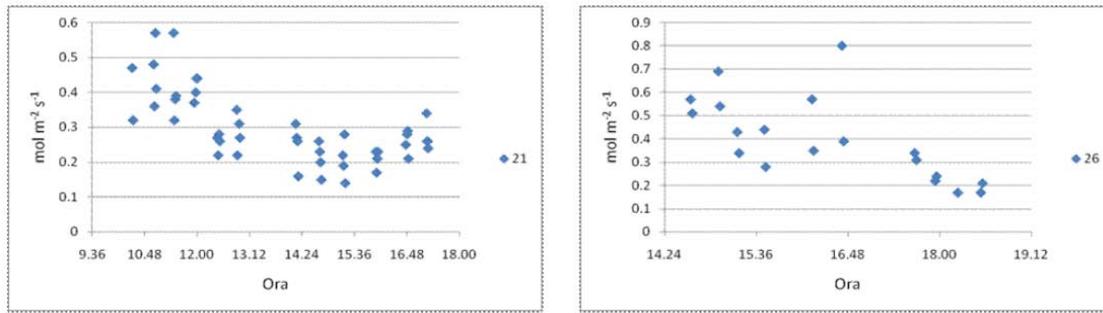


Fig. 48, Andamento della conduttanza stomatica per la piantagione sudafricana.

## CONCLUSIONI

I risultati presentati in questo studio suggeriscono che è possibile organizzare un sistema per la gestione della risorse idriche finalizzato al miglioramento quali-quantitativo della produzione di questa importante coltura. Il contenuto idrico nel suolo è un parametro facilmente misurabile con le tecnologie disponibili oggi sul mercato ed è già stato largamente applicato al monitoraggio delle fasi critiche per la produttività delle colture (Goldhammer *et al.*, 1999; Intrigliolo e Castel, 2004; Jones, 2007).

Con questo lavoro si è giunti ad affermare che il contenuto idrico nel suolo è fondamentale nel determinare le risposte della pianta. Naturalmente non interviene come unico fattore ma gioca un ruolo molto importante soprattutto, per quanto riguarda il nocciolo, nei due momenti ben distinti di sviluppo vegetativo e riempimento del frutto. I valori raccolti durante i campionamenti con la stazione permanente di Cravanzana hanno permesso di individuare delle soglie limite per ogni orizzonte oltre le quali la pianta non riesce più a estrarre l'acqua ad una determinata profondità. L'orizzonte più superficiale, quello che nel nostro studio si trovava fino a 16 cm di profondità, è il primo che fa registrare una perdita completa dell'acqua fino al raggiungimento del punto di "appassimento" che, per la specie, è compreso tra 10 e 12% di contenuto idrico su volume totale di suolo. Durante l'anno 2011 la situazione di completa estrazione dell'acqua disponibile per la specie (che viene testimoniato da un valore di "plateau" del contenuto idrico) si verifica ben 3 volte durante lo sviluppo della pianta e, in particolare nel mese di maggio, si protrae per un periodo superiore al mese. La perdita d'acqua è più veloce e consistente nello strato più superficiale per via della maggiore massa radicale presente (Costa Leme e Assuncao, 2005) e per le dinamiche di evaporazione che interessano maggiormente questa profondità. È durante queste situazioni che il nocciolo attiva le radici più in profondità per poter ottenere acqua di cui necessita per i processi fisiologici dove il suolo ne conserva ancora. A questo punto gli orizzonti situati a 86 e 116 cm di profondità cominciano ad essere sfruttati in maniera omogenea e si osserva una diminuzione significativa di contenuto idrico che non aumenta nemmeno a seguito delle precipitazioni estive ma solo con quelle autunnali quando l'utilizzo dell'acqua da parte del nocciolo è finito.

Le misurazioni di variazioni della dimensione del fusto con il dendrometro confermano l'impatto che il periodo di disidratazione di maggio ha avuto sull'accrescimento. Lo strumento, comunque, è in grado di misurare un valore complessivo di accrescimento simile a quello che si osserva con l'analisi dello spessore anulare al microscopio. La crescita radiale estremamente limitata dimostra

come deficit idrici durante il periodo xilogenetico possano avere influenze molto rilevanti per la specie.

Le variazioni di potenziale idrico (in particolare quelle di potenziale minimo giornaliero) hanno suggerito, che il nocciolo potrebbe attuare meccanismi di aggiustamento osmotico in concomitanza della fase di riempimento della nocciola, come già ipotizzato in lavori precedenti (Nonami e Boyer, 1993; Ranney *et al.*, 1991; Katerji *et al.*, 1997). Il vantaggio di tale strategia potrebbe essere quello di aumentare la capacità estrattiva e, contestualmente, le possibilità di assimilazione. La pianta potrebbe garantire un abbassamento del potenziale vicino e a volte oltre i valori dichiarati da Natali (1988) dove oltrepassati i -2 MPa il nocciolo può essere soggetto a fenomeni di cavitazione xilematica.

Guardando ai flussi xilematici si è dimostrato come questi dipendano su base giornaliera dai valori del VPD che può determinare delle differenze sostanziali in giorni consecutivi che riportano le stesse condizioni stagionali per quanto riguarda la disponibilità idrica. Quando varia l'acqua disponibile nel suolo si è notato che i flussi si riducono significativamente e tale riduzione è più marcata negli individui di piccole dimensioni che non hanno un apparato radicale particolarmente profondo. Questo andamento va giustificato per il fatto che l'area fogliare scala generalmente in modo lineare con l'area basimetrica (Mencuccini, 2002 e 2003) quindi, si osservano grandi differenze di traspirazione per differenze di diametro di pochi centimetri. In particolare, nel nostro caso, sembra che le branche con il diametro maggiore riescano a sfruttare meglio l'acqua accumulata negli strati più profondi del suolo garantendone un rifornimento adeguato all'area fogliare maggiore, tutto ciò si traduce in una produttività aumentata per questi individui e una maggiore resistenza allo stress.

Nella gestione del corileto potrebbe, quindi diventare fondamentale la comprensione della relazione tra diametro medio dei polloni del popolamento e curve di ritenzione idrica del suolo per poter programmare delle eventuali irrigazioni in base alle dimensioni degli individui. Popolamenti giovani e quindi con diametri di minori dimensioni saranno più facilmente oggetto di stress idrico in quanto le loro radici non si approfondiscono molto, allo stesso tempo necessiteranno di meno acqua per le funzioni fisiologiche ma soffriranno di più la mancanza della risorsa idrica rispetto ad individui più sviluppati. Per Cravanzana, dove si sono definite le soglie di intervento per mantenere il contenuto idrico del suolo al di sopra del 13-15% risulterebbe semplice approntare un programma di intervento di irrigazione, nei momenti definiti come critici da questo studio, in base alle precipitazioni e ai periodi di VPD elevato.

Le misure in continuo rilevate durante i campionamenti possono sostituire quelle puntuali che, sebbene più precise sul singolo parametro misurato grazie alla sensibilità degli strumenti

impiegati, non permettono la replicabilità del dato a livello stagionale e poco si adattano ad una gestione aziendale semplificata del frutteto.

Nel complesso le misurazioni di conduttanza stomatica in aggiunta a quelle di flusso hanno confermato come la specie sia spiccatamente sensitiva al deficit idrico dato che la conduttanza stomatica è in genere molto bassa e si riduce drasticamente già nelle primissime ore della giornata. Il flusso di linfa raggiunge dei valori di saturazione (testimoniando riduzione di conduttanza stomatica) attorno ai 5-6 hPa che sono soglie molto basse. Così, nella classificazione riguardo la resistenza al deficit idrico, si potrebbe catalogare la specie come specie evitante risparmiatrice d'acqua. Questo tipo di strategia è caratteristico delle specie pioniere che, in genere, non subiscono grande concorrenza con altre specie dato che colonizzano aree post-disturbo a densità rada ma sono sottoposte a condizioni di perdurante deficit idrico.

Grazie a questo lavoro si è descritta una relazione interessante tra temperature medie dei mesi di maggio e agosto rispettivamente sulla resa e produzione che richiedono temperature elevate a maggio e sotto i 20°C di media ad agosto. Il modello ha funzionato perfettamente per il 2011 con un mese di maggio particolarmente caldo che ha portato la resa a dei livelli mai registrati prima. Le elevate temperature di agosto hanno limitato la produzione all'ettaro su valori comunque soddisfacenti. La notevole variabilità di produzione (che cambia di un fattore 3 nei 10 anni presi in esame) è anch'essa dimostrazione del comportamento evitante della specie che, a causa di questa strategia deve deprimere significativamente la produttività per poter conservare un certo grado di idratazione e sopravvivere così ai prolungati eventi siccitosi.

Questi risultati confermano l'importanza di un sistema di monitoraggio con delle soglie di intervento per l'irrigazione e . permettono ulteriormente di pianificare in maniera particolare dei programmi di irrigazione durante il mese di agosto, prima del raccolto, quando la temperatura media giornaliera rilevata cominciasse ad avvicinarsi ai valori che costituiscono un calo nella produttività ad ettaro.

Per nocciolati in condizioni stagionali simili a quelli dello studio viene quindi consigliato un sistema di gestione che si concentri maggiormente durante i mesi di maggio e agosto ovvero il periodo che determina lo sviluppo vegetativo e la resa e quello che è responsabile per la produttività del corileto. Un monitoraggio attento del contenuto idrico del suolo permetterà di definire le soglie di intervento e la conoscenza del diametro medio del popolamento, quando uniforme, garantirà considerazioni di carattere pratico sull'intervento con momenti di irrigazione per coadiuvare il prelievo dell'acqua da parte delle radici.

**PARTE SECONDA: STIMA DELLA QUANTITA' DI  
CARBONIO IMMAGAZZINATO IN UN IMPIANTO  
DI NOCCIOLO**

# INTRODUZIONE

## **L'importanza della stima del carbonio assorbito nel settore agroforestale**

In seguito all'aumentato interesse nel panorama internazionale riguardo ai cambiamenti climatici in atto e agli impegni assunti dall'Italia con la ratifica del Protocollo di Kyoto (UNFCCC 1997) per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, le attività di uso del suolo e la gestione del patrimonio forestale esistente hanno assunto un ruolo di primaria importanza per la loro funzione di mitigazione. Grande risalto è stato dato da stampa e opinione pubblica alle ultime due COP (*Conference Of Parties*) che si sono succedute a Copenhagen (2010) e a Durban (2011) per deliberare il futuro delle misure che la comunità internazionale intraprenderà per porre rimedio al fenomeno del repentino innalzamento della temperatura media sulla Terra. Decisioni chiare al merito non sono ancora state prese e la riuscita di un sistema regolato o quantomeno razionale per la creazione di meccanismi di riduzione delle emissioni è stata rimandata ad un futuro a medio termine. In questo panorama è importante comprendere il contributo che l'agricoltura, soprattutto quella legnosa, può apportare in termini di progetti e potenzialità per lo sviluppo di uno scenario armonico che possa garantire la regolare e programmata diminuzione della fonte del riscaldamento globale.

Il PK impegna i Paesi firmatari a ridurre il livello di emissioni globali di gas-serra (GHG) almeno del 5% rispetto al 1990, durante il Primo Periodo di Impegno (2008-2012). L'Unione Europea ha assunto complessivamente un obiettivo di riduzione dell'8%, ulteriormente differenziato tra gli Stati membri; l'Italia, in particolare, ha un impegno di riduzione delle emissioni del 6.5% rispetto al 1990. Tra le misure di contenimento e riduzione delle emissioni di gas-serra, il PK prevede anche una serie di azioni nel settore agricolo e forestale, importante come parziale bilanciamento dell'effetto delle emissioni.

Il Protocollo permette agli stati di commerciare, sotto regole ben precise, i crediti di emissione per ridurre i costi del raggiungimento dell'obiettivo globale. L'importanza delle foreste come fonte di emissione e di immagazzinamento del carbonio le porta a giocare un ruolo chiave nella generazione di crediti di carbonio ma, ad oggi, i crediti derivanti da progetti forestali sono sottoposti a severe limitazioni e rigide linee guida relativamente all'accesso al mercato regolamentato del carbonio.

Le attività di mitigazione, incluse alcune attività AFOLU (*Agriculture, Forestry and other Land Use, ex LULUCF*), possono essere realizzate anche all'esterno del territorio nazionale attraverso progetti che seguono le regole dei così detti "Meccanismi flessibili". Tali meccanismi sono strumenti di mercato finalizzati principalmente all'abbattimento dei costi delle strategie

dimitigazione e che dovrebbero facilitare i paesi nel raggiungimento degli obiettivi ambientali prefissati. Il Protocollo individua tre meccanismi flessibili:

1. Attuazione Congiunta (*Joint Implementation*– JI), definita all’art.6 del Protocollo, che permette di comprare crediti di emissione generati da un progetto sviluppato insieme ad un altro paese dell’Allegato I;
2. Meccanismo di Sviluppo Pulito (*Clean Development Mechanism*– CDM), introdotto dall’art.12 del Protocollo, che permette di comprare crediti di emissione generati da un progetto sviluppato in un paese non compreso nell’Allegato I;
3. Commercio internazionale delle emissioni (*International Emission Trading* – IET), impostato nell’art.17, che permette la compravendita di permessi di emissione tra paesi dell’Allegato I.

I progetti JI e CDM possono dunque consistere in attività AFOLU, ma gli Accordi di Marrakesh hanno stabilito che, mentre i progetti JI possono riguardare un ampio spettro di attività (a seconda di regole stabilite dai vari paesi partecipanti), i progetti CDM sono limitati alle attività di afforestazione o riforestazione. Inoltre i progetti JI e CDM AFOLU hanno un limite di utilizzazione rispetto agli obblighi complessivi di riduzione dei singoli paesi. Caratteristiche fondamentali dei progetti AFOLU è che devono aver avuto inizio dopo il 2000. Inoltre, come tutti gli altri tipi di progetti CDM e JI, devono essere “addizionali”, devono cioè promuovere un assorbimento di gas serra superiore a quanto sarebbe avvenuto in assenza del progetto stesso.

A fianco di questo sistema regolato si trova un mercato meno regolato ma in rapida espansione e con volumi che, seppur contraddistinti da fortissima volatilità, raggiungono saltuariamente delle cifre molto interessanti. È il mercato dei crediti volontari, i VER (*Voluntary Emission Reduction*) che vengono creati con metodologie analoghe a quelle per i crediti CDM ma il cui utilizzo è sostanzialmente diverso. I progetti interessati dai VER sono principalmente quelli di tipo forestale con tutte le pratiche racchiuse nell’AFOLU che sono applicabili alle metodologie VER. Gli standard che si sono formati per la validazione e registrazione di tali meccanismi sono essenzialmente degli standard forestali che ritengono la biodiversità e la naturalità del sistema paradigmi imprescindibili per poter accettare il protocollo sperimentale, tra loro i principali sono VCS, CarbonFix, Plan Vivo (Lopes, 2009). Queste riduzioni di emissioni certificate non possono essere utilizzate per compensare delle emissioni soggette a regolamentazione da parte di un ente sovranazionale ma vengono impiegati per le compensazioni volontarie generalmente di eventi o prodotti che necessitano di un impatto mediatico forte per poter essere apprezzati o anche solo conosciuti dal pubblico. Per questo motivo i VER, pur essendo scambiati su varie piattaforme e mercati tra cui Markit, CCX e CCAR solo per nominarne alcune, vedono nella forma OTC (*Over*

*The Counter*) la loro forma di scambio prediletta. A differenza del mercato regolato questi crediti puntano gran parte del loro bagaglio qualitativo sulle performance sociali e sul valore aggiunto che il progetto da cui provengono porta alla comunità in cui è realizzato. Per questo motivo i prezzi sono molto variabili e dipendenti da ulteriori certificazioni esterne di sostenibilità che possono essere aggiunte prima della validazione finale. Come già menzionato in precedenza, le procedure, i requisiti tecnici e le richieste per la validazione finale sono gli stessi, molto volte addirittura più stringenti, rispetto ai progetti CDM.

Un problema rilevante nell'organizzazione di mercati volontari relativi agli interventi di compensazione riguarda le garanzie sulla reale capacità di fissazione di carbonio degli investimenti (Pettenella 2007). Ricordiamo brevemente le principali criticità caratteristiche dei progetti per la generazione di crediti, sottolineando anche il concetto di permanenza, tipico dei crediti di origine forestale:

- addizionalità: gli investimenti effettuati per azioni di mitigazione climatica devono essere addizionali rispetto ad uno scenario di normale gestione; quindi tali attività non devono rappresentare investimenti che si sarebbero comunque realizzati ma dimostrare che la loro implementazione è stata resa possibile anche dai benefici aggiuntivi derivanti dalla vendita dei crediti di carbonio;
- permanenza: in particolare per i crediti di origine forestale è necessario considerare la possibilità che si verifichino fenomeni che portino alla ri-emissione, totale o parziale, del carbonio fissato in atmosfera (es. incendi, attacchi parassitari, schianti da vento.; etc.);
- leakage: ovvero l'incremento di emissioni su altre proprietà, in seguito diretto alla messa in atto del progetto di generazione di crediti (per es. il trasferimento di attività di taglio illegale in altre terre, in seguito alla creazione di un progetto di protezione di una determinata area forestale);

L'Unione Europea nel 2003 ha promosso lo sviluppo di un sistema internazionale di controllo delle emissioni di gas-serra, che sarebbe stato attuato indipendentemente dall'entrata in vigore o meno del Protocollo. Con la Direttiva 87 del 2003 ha dunque istituito un mercato europeo di permessi di emissione di gas ad effetto serra che coinvolge i principali settori energetici e produttivi della EU. Lo Schema Europeo (EU-ETS) è uno strumento di politica ambientale basato su criteri di efficienza economica, finalizzato al raggiungimento di designati obiettivi ambientali minimizzando i costi di investimento.

Il mercato è strutturato secondo un criterio di *cap and trade* ("tetto e commercio"). Riassumendo i principali passaggi viene quindi (i) stabilita una soglia di emissione spendibile all'interno di un

determinato periodo per ognuno dei paesi coinvolti e (ii) assegnato un numero prefissato di permessi o quote (*European Union Allowances*– EUA) per settore e per singolo impianto appartenente a quel settore. Ogni permesso corrisponde a 1 tonnellata di emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente e costituisce un'autorizzazione ad emettere. Se l'impianto supera le quote di emissione concesse, dovrà acquistarle sul mercato da altri che ne posseggono in eccedenza o sviluppare progetti per la generazione di quote.

Nell'ambito dell'EU-ETS è previsto il riconoscimento di crediti derivanti da progetti sviluppati attraverso l'applicazione dei meccanismi flessibili. I crediti derivanti da progetti sviluppati attraverso l'applicazione di tali meccanismi (*JI* e *CDM*) sono riconosciuti come equivalenti alle quote del EU-ETS e gli Stati membri possono utilizzare tali crediti all'interno del mercato delle quote per adempiere agli impegni di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra. Come già stabilito dagli Accordi di Marrakesh, l'utilizzo dei crediti da progetto deve essere supplementare rispetto alle azioni interne nazionali, poiché i progetti *JI* e *CDM* non dovrebbero rappresentare un disincentivo alle azioni di razionalizzazione dei consumi energetici nei paesi occidentali. Vengono definiti "Unità di Riduzione delle Emissioni" (*ERU – EmissionReduction Unit*) i crediti derivanti da progetti *JI*, mentre "Riduzioni delle Emissioni Certificate" (*CER – CertifiedEmissionReduction*) i crediti derivanti da progetti *CDM*. Dal periodo 2008-2012 e per gli eventuali successivi periodi, vengono riconosciute all'interno del mercato sia le *CER* sia le *ERU*, dando spazio anche all'utilizzo di progetti *JI*, che nella prima fase (2005-2007) erano esclusi (Pettenella e Zanchi 2006, Bonomi et al 2009).

Nello schema di mercato dell'UE sono però esclusi i crediti da attività *AFOLU* sviluppate in paesi non compresi nell'Allegato I; pertanto gli investimenti di afforestazione e riforestazione in progetti *CDM* non possono essere utilizzati all'interno del sistema EU-ETS come scambio con i permessi di emissione (*EUA*). Tali interventi non sono stati ammessi perché esistono molte incertezze sul loro utilizzo (Bonomi et al, 2009), in particolare per la difficoltà nell'utilizzare crediti temporanei (*tCER*) che debbano poi essere sostituiti alla loro scadenza, nonché la difficoltà nel monitorare le riduzioni avvenute.

### ***Stima dell'assorbimento di carbonio***

Proprio a causa delle criticità legate alla generazione di crediti dal settore forestale appare particolarmente importante definire una metodologia di stima del carbonio immagazzinato nelle foreste o nelle colture arboree o erbacee che sia al contempo corretta scientificamente, estremamente trasparente e relativamente di semplice applicazione per favorire

investimenti efficaci e semplicità di attuazione nel mitigare l'aumento di concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera (Nabuurs et al 1997, Mahaly et al 1999, Brown 2002).

A causa degli elevati costi del rilievo diretto in campo del carbonio complessivamente immagazzinato dalle piante, i metodi attualmente più utilizzati per questa determinazione sono le stime indirette e, tra queste, le equazioni di previsione sviluppate in modo da restituire valori di biomassa totale a partire da grandezze facilmente misurabili in campo, quali diametro e altezza della pianta (Somogyi 2006), che vengono tecnicamente definite “equazioni allometriche”.

Obiettivo di questo progetto è quello di produrre una stima della fitomassa arborea epigea (e del carbonio) per impianti di nocciolo utilizzando equazioni allometriche appositamente determinate. Le equazioni allometriche ricavate attraverso l'abbattimento di alberi modello rimangono relazioni strettamente empiriche con validità locale: sono quindi specie – specifiche e sito-specifiche (Zianis et al. 2005). Le equazioni allometriche, mettendo in relazione diametro e biomassa degli individui, permettono di stimare lo *stock* presente nelle piante a seconda della classe dimensionale; per effettuare stime predittive è necessario utilizzare anche modelli di crescita degli individui stessi, così da poterne stimare l'evoluzione.

## **OBIETTIVO**

Contestualmente all'intraprendere di un cammino per la realizzazione di un progetto per la generazione di crediti carbonio, l'azienda per cui lavoro, si è trovata nella necessità di stimare l'assorbimento di carbonio per l'unità standard di superficie (ha) delle sue piantagioni. La decisione è stata quella di includere all'interno dello studio delle relazioni idriche, che già stavo portando avanti, un progetto che potesse permettere di arrivare alla stima dell'incremento di biomassa e quindi l'assorbimento del carbonio per mezzo di piante di nocciolo.

Per questo si è deciso di definire equazioni allometriche per la stima dello *stock* di carbonio immagazzinato e produrre una tavola allometrica per impianti di nocciolo. A tale scopo è stata rilevata la massa epigea di un sufficiente numero di alberi modello, ripartita nella componente legnosa e fogliare.

## MATERIALI E METODI

### Area di rilievo e varietà

I rilevamenti sono stati eseguiti in un impianto di nocciolo ubicato nel comune di Diano d'Alba in provincia di Cuneo, comune delle Langhe piemontesi non distante da quello di Cravanzana dove si è svolta l'indagine dello studio precedente. La quota misurata è di 496 m s.l.m. L'impianto appartiene ad una azienda agricola ad indirizzo frutticolo da diversi decenni specializzata nella coltivazione del nocciolo e orientata nella produzione di nocciole destinate all'industria dolciaria. La varietà coltivata è la Tonda gentile delle Langhe (TGL), cultivar endemica piemontese che è stata piantata estensivamente in questa zona del territorio dove va a ricoprire i versanti delle dolci colline che si intervallano ininterrottamente per fornire la classica orografia delle Langhe.



**Figura 1: Soprassuolo rilevato a Diano d'Alba (CN)**

Il sesto d'impianto utilizzato è di m 5 (tra le file) per 5 (sulla fila) costituendo un investimento di 400 piante/ha. L'estensione dell'impianto è di 3 giornate (tipiche misure agrarie piemontesi) corrispondenti a circa 0,9 ha.

La piantagione è inserita in un contesto climatico tipico delle colline delle Langhe, particolarmente adatto alla coltivazione del nocciolo, ed in particolare è caratterizzato da temperatura media annua di 11,3 °C, temperatura media del mese più freddo (gennaio) di 1,8 °C e temperatura media del mese più caldo (luglio) di 21,6 °C. Le precipitazioni medie annue sono di circa 950 mm, mediamente distribuite in 81 giorni, con minimo in estate ed inverno e picco in

primavera ed autunno (dati: Stazione meteorologica di Cuneo). Il terreno è di medio impasto, fresco, permeabile e a pH neutro.

Occorre sottolineare che essendo l'impianto gestito a fini produttivi è sottoposto a diverse tecniche colturali:

- Concimazione di produzione: 20 kg/ha di N; 10 kg/ha di P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> e 14 kg/ha di K<sub>2</sub>O.
- Potatura di produzione: eseguita annualmente in modo da eliminare il 10-15% della vegetazione e prevede l'eliminazione, in due momenti distinti, tramite trattamento chimico dei polloni.
- Irrigazione: utilizzata in modo discontinuo solo ad integrazione di carenti precipitazioni.

## **Metodologia d'indagine**

Selezionati, all'interno del popolamento preso in esame, 15 alberi modello è stata stimata la massa totale (fitomassa) epigea, ripartita in diverse componenti.

Il fusto, comprensivo di branche principali e rami (di diametro > 1 cm; con corteccia), è stato suddiviso in topi, dove possibile riconducibili alla forma di un tronco di cono. La densità dei topi è stata calcolata in laboratorio attraverso la massa e il volume degli stessi. I rami e le branche la cui forma non era riconducibile a un tronco di cono, sono invece stati analizzati a parte, determinandone il volume sfruttando il principio di Archimede, come meglio specificato in seguito. Dalla sommatoria del peso di tutti i componenti è stata poi ottenuta la massa del fusto della singola pianta.

La componente legnosa più minuta (diametro < 1 cm, di seguito definita come "ramaglia"), la cui forma non era riconducibile ad un tronco di cono, è stata invece analizzata sfruttando unicamente il principio di Archimede.

Sono state prelevate 15 piante modello nel mese di dicembre 2009, dalle quali è stata pesata la componente legnosa, suddivisa appunto in fusto con i rami e ramaglia (peso fresco). Successivamente sono state selezionate altre 11 piante modello per le quali è stata pesata la componente fogliare totale (peso fresco). Da ciascuna componente fresca è stata poi prelevata e pesata una frazione che, posta in stufa ventilata a 103°C fino al raggiungimento di un peso costante, ha fornito il peso secco del campione. La variazione del peso della frazione posta in stufa ha quindi consentito di risalire al peso secco totale della componente di provenienza.

Noti il peso secco di ciascun ramo e della ramaglia, questi sono stati sommati alla massa del fusto, ricavando la massa legnosa epigea e, infine, conteggiando anche la massa fogliare, è stata calcolata la biomassa epigea totale.

Gli individui di TGL da campionare sono stati scelti in concomitanza con il previsto intervento di espianto effettuato dal proprietario del terreno oggetto di studio.

Sono state scartate le piante con chioma parzialmente secca, non equilibrata, mal conformate o con segni di deperimento. Le branche prescelte sono stati marcate con spray fluorescente a c.a 1.30 m da terra.

## Misurazioni in campo

Per ciascun individuo abbattuto, sono stati rilevati:

- Diametro alla base (10-15 cm da terra c.a)
- Diametro a petto d'uomo (1.30 m)

Ogni soggetto è stato poi posto in un big bag e trasportato Centro Studi per l'Ambiente Alpino (San Vito di Cadore, BL) dell'Università degli Studi di Padova.



**Figura 2: Prelievo dei campioni effettuato in campo**

## Analisi di laboratorio

Le analisi, eseguite in laboratorio sono consistite nella determinazione di:

- Volume, Peso fresco e Peso secco di ogni della porzione legnosa di ciascun campione
- Peso fresco e Peso secco delle foglie di ciascun campione.

### ***Fusto***

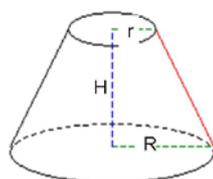
Procedendo dalla base verso l'apice della pianta, il fusto è stato suddiviso in topi aventi forma il più possibile regolare e riconducibile ad un tronco di cono (Figura 3).

Mediante cordella metrica e cavalletto dendrometrico si è proceduto alla misurazione della lunghezza  $H$  e del diametro basale ( $2R$ ) e apicale ( $2r$ ) di ciascun toppo (nei casi di eccentricità è stata considerata la media dei due diametri rilevati ortogonalmente).

Attraverso questi è stato rilevato il volume di ogni singolo toppo ( $V$ ):

$$V = \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 + R \times r) \quad (1)$$

I rami principali aventi forma riconducibile a quella di un tronco di cono, sono stati misurati con la medesima metodologia.



**Figura 3: Rappresentazione geometrica del tronco di cono, rappresentante le diverse sezioni in cui sono stati suddivisi fusto e branche principali.**

I pesi sono stati determinati con una bilancia scientifica di precisione *Kern NKE* con precisione al decimo di grammo (0.5 g) fino ad un massimo di 36100 g (Figura 4). Il locale dove sono state effettuate le misurazioni era al riparo da correnti d'aria o vibrazioni di sorta che avrebbero potuto alterare la lettura del peso. La prima misurazione effettuata è stato il Peso fresco (*pf*).



**Figura 4: Determinazione del peso fresco dei campioni**

Il volume allo stato fresco dei campioni la cui forma non era riconducibile ad un tronco di cono è stato determinato, subito dopo la misurazione del Peso fresco, mediante spostamento d'acqua, sfruttando il Principio di Archimede. Questo afferma che: "Un corpo immerso in un liquido riceve una spinta dal basso verso l'alto equivalente al peso del liquido spostato". La spinta che riceve il

campione, sottoposto ad immersione forzata in acqua, è quindi equivalente al peso del liquido spostato. Poiché la densità dell'acqua è pari a  $1 \text{ g cm}^{-3}$ , tale peso, rilevato mediante una bilancia, è equivalente al volume di liquido spostato, a sua volta pari al volume del corpo immerso (La Marca 1999, Nogueira *et al.* 2005).

Il Volume ( $V$ ) di ciascun toppe è quindi espresso dal rapporto tra il peso ( $P$ ) del liquido spostato e la densità ( $d$ , pari a  $1 \text{ g cm}^{-3}$ ) dello stesso:

$$V = \frac{P}{d} \quad (2)$$

La variazione di peso ottenuta mediante immersione forzata delle rotelle in un bidone riempito d'acqua, esprime quindi il Volume allo stato fresco ( $v_f$ ) di ciascuna rotella, in  $\text{cm}^3$  (Figura 5).



**Figura 5: Immersione in acqua di una rotella e di un toppe per la determinazione del suo volume**

Durante la lettura del peso, per mantenere i toppe perfettamente immersi senza provocare fastidiose oscillazioni del liquido sono state inserite due aste metalliche flessibili bloccate da uno statore evitando qualsiasi contatto tra la rotella e le pareti del contenitore. Dopo alcune misurazioni, l'acqua nel bidone è stata cambiata in modo da limitare la presenza di impurità.



Figura 6: Preparazione dei topi di fusto e della ramaglia per il successivo inserimento in stufa ventilata

I topi sono stati poi man mano posti in stufa ventilata a 103°C (Figura 7), sino al raggiungimento di un peso stabile, il peso secco ( $p_{sn}$ ), mantenuto costante per tre pesate successive (eseguite ogni 24 ore), per tutti gli  $n$  topi.



Figura 7: Campioni posti in stufa per l'essiccazione

La sommatoria dei pesi dei topi afferenti a ciascun campione, esprimerà il peso della sostanza secca ( $P_{Ffi}$ ) del fusto e delle branche principali del singolo individuo:

$$P_{sFi} = \sum_{i=1}^n p_{sn} \quad (3)$$

I valori di peso e volume così determinati, consentono di calcolare, mediante successiva elaborazione, anche la densità del legno come rapporto tra il peso ed il volume. Il grado di umidità del campione influenza naturalmente il valore assunto da tale parametro (Nogueira et al., 2005), attribuendo ad esso il significato di:

- Densità apparente: rapporto tra peso e volume ad un determinato grado di umidità (es.  $\rho_{12}$  con il 12% di umidità, come riportato in Giordano, 1980).

- Densità allo stato fresco ( $\rho_{fr}$ ): rapporto tra peso e volume allo stato fresco, consente di stimare il peso complessivo del fusto allo stato fresco (La Marca, 1999).
- Densità allo stato anidro ( $\rho_0$ ): rapporto tra peso e volume allo stato secco.
- Densità basale ( $\rho$ ): rapporto tra il peso allo stato secco ed il volume allo stato fresco.

Quest'ultimo parametro è oggi considerato il più appropriato valore di densità per la stima della biomassa legnosa (Brown, 1997).

La densità basale dell'*i*-esimo campione ( $\rho_i$ ) sarà quindi espressa da:

$$\rho_i = \frac{P_s}{V_f} \quad (4)$$

### ***Ramaglia e foglie***

Per ciascun campione di ramo sono state separate e pesate a parte le componenti:

- foglie (nelle formule che seguono indicata con *fg*);
- ramaglia (nelle formule che seguono indicata con *r*): intesa come la porzione legnosa con diametro < 1 cm;

ottenendo per ognuna il **Peso Fresco totale** (rispettivamente *Pffg*, *Pfr*).

Per ogni componente è stata prelevata e pesata una frazione corrispondente al 30% del suo peso fresco totale. I pesi freschi delle frazioni vengono indicate come *pffgn*, *pfrn*.

Le frazioni sono state poste in *becker* di vetro Pirex (possiedono la caratteristica di mantenere il peso costante quando posti ad alte temperature) e collocate in stufa a 103°C fino al raggiungimento di un peso mantenuto costante per tre pesate successive ( $P_{sfgn}$ ,  $P_{srm}$ ); il corrispondente **peso secco** complessivo delle componenti foglie ( $P_{sfgi}$ ) e ramaglia ( $P_{sri}$ ) sarà dunque:

$$P_{sfgi} = P_{sfgn} \times \frac{100}{30} \quad (5)$$

$$P_{sri} = P_{srm} \times \frac{100}{30} \quad (6)$$

**Determinazione del peso totale delle branche prelevate**

Noti il peso secco di fusto e rami principali di ogni campione ( $P_{sFi}$ ) e il peso secco della ramaglia e delle foglie ( $P_{sri}$ ,  $P_{sfgi}$ ) è possibile calcolare il peso secco totale di ogni campione prelevato ( $M_{tb}$ ):

$$Mt_b = \sum P_{s(F+r+fg)i} \quad (7)$$

La relazione tra il diametro a 1.30 m ( $dbh$ ) e le diverse componenti della massa arborea è stata analizzata attraverso la powerfunction (Niklas 1994).

Data l'eteroschedasticità dei dati (Zar 1999), espressa dall'aumentare dello scarto tra i valori attesi ed i valori stimati all'aumentare del diametro, tale relazione è in genere espressa in scala logaritmica come (Zianis et al. 2005, Niklas 2006):

$$\ln M = b \ln(dbh) + \ln a \quad (8)$$

L'equazione (9) è stata impiegata per la costruzione della tavola allometrica dove viene posto in relazione  $dbh$  con le diverse componenti arboree.

Infine, volendo valutare per ogni campione l'importanza del contributo di ciascuna componente (fusto, rami, ramaglia e foglie), le rispettive biomasse totali sono state analizzate attraverso la distribuzione percentuale di tali componenti all'aumentare del diametro.

Per ogni relazione espressa in scala logaritmica sono stati calcolati l'errore (varianza e scarto quadratico medio) (Zar 1999) sull'intercetta e sulla pendenza:

varianza dell'intercetta 
$$\sigma_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \sigma_y^2 \quad (9)$$

errore dell'intercetta 
$$S_a = \sqrt{\sigma_a^2} \quad (10)$$

varianza della pendenza 
$$\sigma_b^2 = \frac{n}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \sigma_y^2 \quad (11)$$

errore della pendenza 
$$S_b = \sqrt{\sigma_b^2} \quad (12)$$

dove  $\sigma_y^2$  è la varianza dei residui: 
$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - bx_i - a)^2 \quad (13)$$

Per ogni relazione espressa in scala logaritmica è stato calcolato l'intervallo di confidenza per i valori stimati di biomassa ( $\hat{Y}$ ), corrispondenti ad un valore noto di diametro ( $X_i$ ) (Zar 1999):

$$s_{\hat{Y}_i} = \sqrt{s_{Y.X}^2 \left[ \frac{1}{n} + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{\sum x^2} \right]} \quad (14)$$

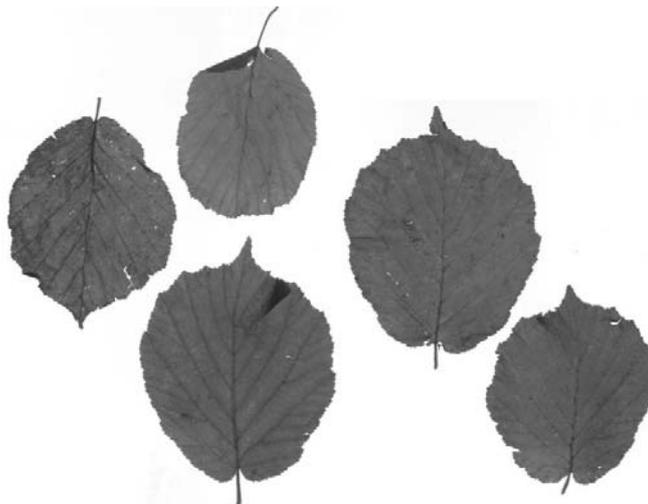
Dove  $s_{\hat{Y}_i}$  è l'errore standard della popolazione,  $s_{Y.X}^2$  è lo scarto quadratico medio della regressione. Considerando il 95% di intervallo di confidenza avremo:

$$\hat{Y}_i \pm t_{0,05(2),(n-2)} s_{\hat{Y}_i} \quad (15)$$

### ***Determinazione dell'area fogliare specifica***

Il valore dell'area fogliare specifica (*SLA, Specific Leaf Area*) esprime la superficie della lamina fogliare rispetto all'unità di peso della foglia stessa.

Le foglie sono state scansionate (Figura 8) per poi effettuare la misura dell'area fogliare (*A<sub>f</sub>*) utilizzando l'apposito software *WinSeedle 5.1a* (1996-2008, Regent Instruments Inc.), alcune foglie scelte tramite campionamento casuale tra i rami trasportati in laboratorio per le analisi.



**Figura 8: Esempio di foglie scansionate utilizzando il software WinSeed5.1° per il calcolo dell'area fogliare**

Le medesime foglie sono state successivamente pesate e poste in stufa ventilata a 103 °C così da conoscerne il peso secco complessivo ( $P_{saf}$ ). Tale procedura permette di conoscere il valore di area fogliare per unità di peso ( $SLA$  – *SpecificLeaf Area*):

$$SLA = \frac{A_f}{P_{saf}} \quad (16)$$

nota la massa complessiva della componente fogliare di ogni branca campionata ( $P_{sfgi}$ ) e poi di ogni pianta ( $M_{stfg}$ ) sarà quindi possibile stimare l'area fogliare complessiva di ogni campione prelevato ( $A_{fb}$ ) e di ogni pianta nel suo complesso ( $A_{ft}$ ):

$$A_{fb} = SLA \times P_{sfgi} \quad (17)$$

$$A_{ft} = SLA \times M_{stfg} \quad (18)$$

# RISULTATI

## Selezione delle piante campione

La scelta dei soggetti è stata effettuata individuando le branche che presentavano un diametro a 1.30 m da terra compreso nell'intervallo tra 1 e 18 cm (diametro maggiore rilevato nell'impianto), prelevando 1 branca per classe diametrica (Tab. 1), per un totale di 15 piante e misurando il diametro di tutte le altre branche facenti parte della stessa pianta.

**Tabella 1: Branche prelevate e numero totale di branche per pianta**

BRANCHE PRELEVATE		N°branche totali	Dbh (cm)							
Campione N°	Dbh (cm)		1	2	3	4	5	6	7	8
1	8	6	10	7	8	11	3			
2	5	5	6.5	9.5	5	5				
3	9	4	7	8	5					
4	11	4	5	6	8					
5	11	4	12	10	8					
6	15	3	18	5						
7	14	3	17	5						
8	4	4	10	7	8					
9	10	4	10	12	9					
10	3	6	4	7	8	5	6			
11	3	9	1	1	2.5	2.5	1	1	1	2.5
12	6	4	10	12	7					
13	8	3	10	14						
14	2	1								
15	1.5	1								

## Tavola allometrica

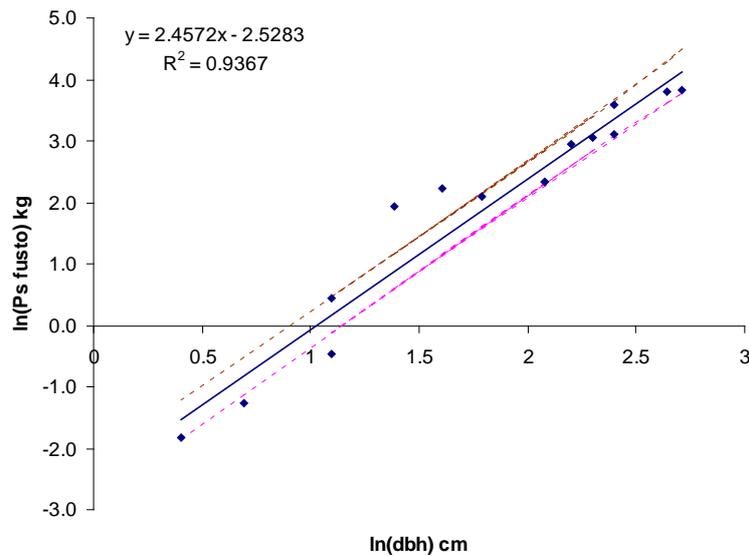
In totale sono state abbattute e analizzate 15 piante e sono state raccolte, trasportate in laboratorio e analizzati fusti e ramaglia per un totale di 422.83 kg e 27.76 kg di foglie.

Dall'analisi eseguita in laboratorio è stato possibile ricavare il peso secco di ciascun n-esimo toppo. La sommatoria dei pesi secchi dei topi costitutivi ciascuna pianta modello ha fornito la massa (in g) allo stato secco per fusto e branche principali.

La relazione tra diametro (*dbh*) e peso secco del fusto e delle branche principali è illustrata in Figura 9. Da essa si è ricavata una funzione lineare con coefficiente di correlazione  $R^2 = 0.94$  con  $p < 0.0001$ ,  $S_a = 1.83$ ,  $S_b = 0.95$ ):

$$\ln(P_{sF}) = 2.4572 \ln(dbh) - 2.5283 \quad (19)$$

dove  $P_{sF}$  è il peso secco totale del fusto e branche principali in kg e *dbh* è il diametro ad 1.30 m della pianta, in cm.



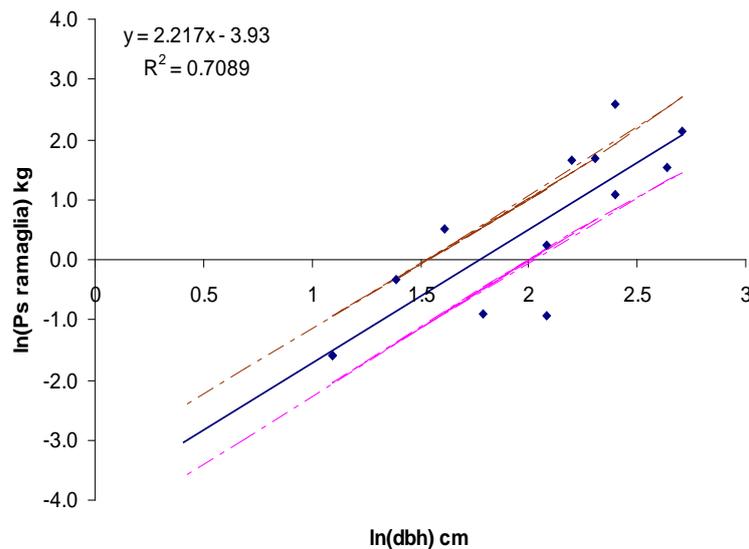
**Figura 9: Relazione tra diametro della pianta (cm) e peso secco del fusto e branche principali (kg), espressa in scala logaritmica.**

Sono state quindi determinate le relazioni per la ramaglia e le foglie. La relazione tra il peso secco della ramaglia ( $P_{sr}$ ) ed il diametro ( $dbh$ ) è illustrata in Figura 10:

$$\ln(P_{sr}) = 2.2165 \ln(dbh) - 3.9288 \quad (20)$$

con  $R^2$  pari a 0.71 con  $p = 0.0003$ ,  $S_a = 0.88$ ,  $S_b = 0.43$ ,

dove  $P_{sr}$  è il peso secco totale della ramaglia in kg e  $dbh$  è il diametro ad 1.30 m della pianta, in cm.



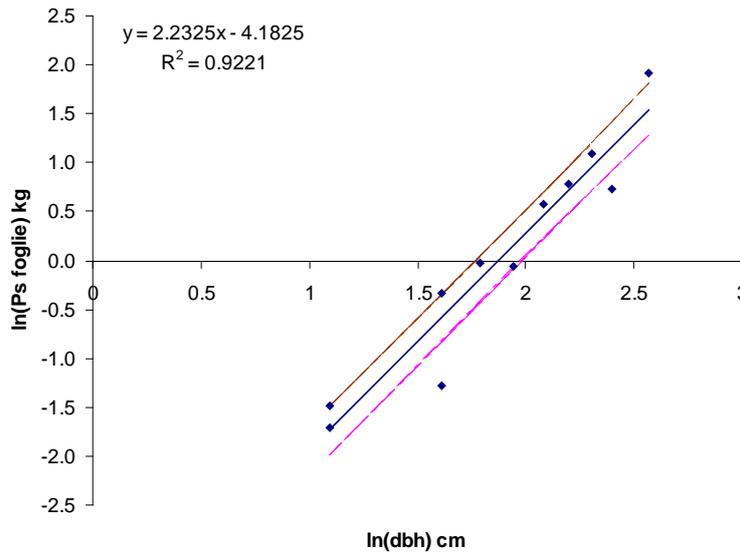
**Figura 10: Relazione tra il diametro (cm) e Peso secco della ramaglia (kg), espressa in scala logaritmica.**

I dati relativi al peso fresco totale e alla massa della componente legnosa (fusto, rami principali e ramaglia) sono riportati in Allegato 1.

L'equazione che lega il diametro ( $dbh$ ) al peso secco delle foglie ( $P_{sfg}$ ) viene riportata in Figura 11 ed è pari a ( $R^2 = 0.92$  con  $p < 0.0001$ ,  $S_a = 3.10$ ,  $S_b = 1.60$ ):

$$\ln(P_{sfg}) = 2.2325 \ln(dbh) - 4.1825 \quad (21)$$

dove  $P_{sfg}$  è il peso secco totale delle foglie in kg e  $dbh$  è il diametro ad 1.30 m della pianta, in cm.



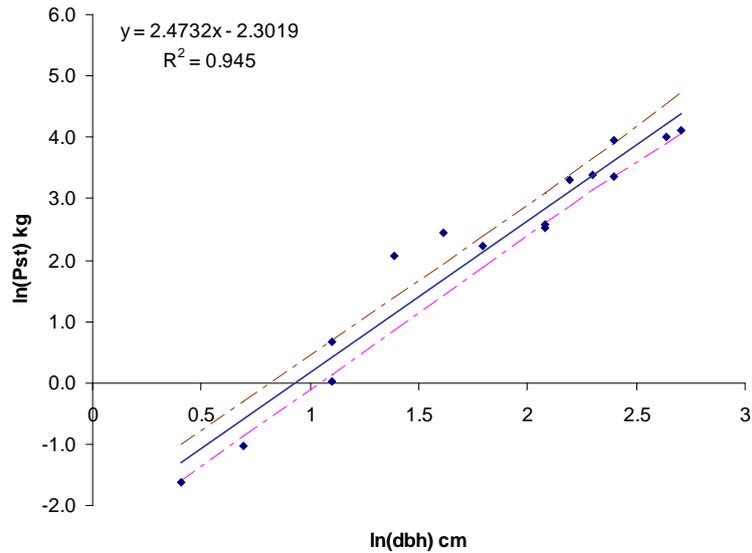
**Figura 11: Relazione tra il dbh (cm) e il Peso secco delle foglie (kg), espressa in scala logaritmica.**

I dati relativi al peso fresco e al peso secco delle foglie sono stati riportati in Allegato 2.

La relazione tra diametro e peso secco totale di fusto, ramaglia e foglie ( $M_{tb}$ ) è illustrata in Figura 12 e viene espressa dalla seguente relazione ( $R^2 = 0.94$  con  $p < 0.0001$ ,  $S_a = 0.32$ ,  $S_b = 0.16$ ):

$$\ln(M_{tb}) = 2.4732(\ln Dbh) - 2.3019 \quad (22)$$

dove  $M_{tb}$  è il peso secco totale in kg e  $dbh$  è il diametro in cm.



**Figura 12: Relazione tra diametro (cm) e Peso secco totale (kg) (fusto, ramaglia, foglie), espressa in scala logaritmica.**

Attraverso le equazioni 19, 20, 21 e 22 sono stati ricavati i valori necessari alla costruzione della tavola allometrica riportata in Tabella 2. La sommatoria della biomassa delle diverse componenti predetta tramite l'utilizzo delle equazioni non coincide con la massa epigea totale stimata utilizzando l'equazione apposita (equ. 22). La stima migliore della biomassa arborea epigea totale scaturisce dall'utilizzo di tale equazione; se invece fosse necessario conoscere l'influenza delle diverse componenti, con i relativi errori di stima, si potranno utilizzare le equazioni 19, 20 e 21 rispettivamente per il peso secco di fusto, ramaglia e foglie.

**Tabella 2: Biomassa (kg) delle diverse componenti. Predizioni del modello allometrico.**

Dbh	Ps tot	Ps fusto	Ps ramaglia	Ps foglie
	(predetto da equ. all.)			
cm	kg	kg	kg	kg
1	0.10	0.08	0.02	0.02
2	0.56	0.44	0.09	0.07
3	1.52	1.19	0.23	0.18
4	3.09	2.41	0.43	0.34
5	5.36	4.16	0.70	0.56
6	8.41	6.52	1.04	0.83
7	12.31	9.52	1.47	1.18
8	17.13	13.21	1.97	1.58
9	22.93	17.65	2.56	2.06
10	29.75	22.87	3.24	2.61
11	37.66	28.90	4.00	3.23
12	46.70	35.79	4.85	3.92
13	56.93	43.57	5.79	4.68

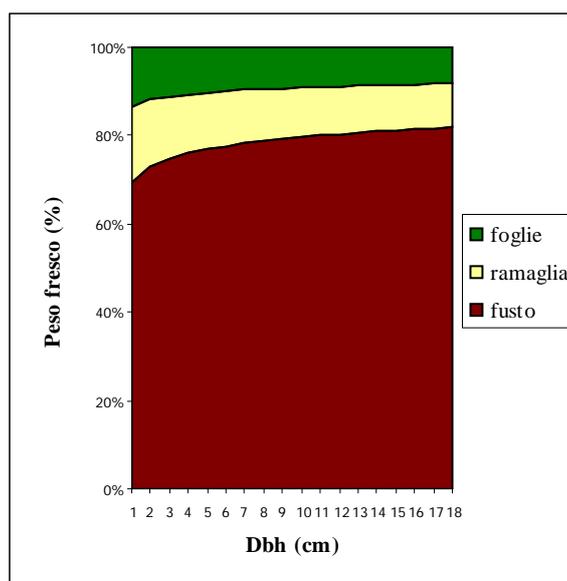
Dbh	Ps tot	Ps fusto	Ps ramaglia	Ps foglie
	(predetto da equ. all.)			
14	68.38	52.27	6.83	5.53
15	81.10	61.93	7.95	6.44
16	95.13	72.57	9.18	7.44
17	110.52	84.22	10.50	8.52
18	127.30	96.92	11.91	9.68
19	144.09	110.70	13.43	10.92
20	160.87	125.56	15.05	12.25

Le relazioni allometriche ricavate per ciascuna componente della pianta (foglie, ramaglia, legno del fusto e, infine, totale epigeo) hanno permesso di ottenere i dati con i quali è stata realizzata la Tabella 3, riportante i dati di biomassa arborea epigea complessivi delle piante dalle quali è stato prelevato il campione. Anche in questo caso la sommatoria della biomassa delle diverse componenti predetta tramite l'utilizzo delle equazioni non coincide con la massa epigea totale stimata utilizzando l'equazione apposita e la stima migliore di biomassa arborea epigea totale scaturisce dall'utilizzo dell'equ. 22 per ogni singola branca della pianta.

**Tabella 3: Biomassa per comparto e complessiva delle piante dalle quali è stata prelevata la branca campione (Diano d'Alba, CN). Misurazioni sulle singole branche campionate e predizioni da equazioni allometriche per le altre branche della pianta.**

Codice albero	N° totale branche	Peso secco tot	Peso secco fusto	Peso secco foglie	Peso secco ramaglia
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
1	6	115.50	104.67	10.35	12.88
2	5	52.53	47.13	4.98	6.22
3	4	57.73	51.95	5.37	6.70
4	4	68.56	62.04	6.20	7.71
5	4	131.24	119.71	11.33	14.06
6	3	213.76	198.58	16.68	20.57
7	3	184.25	170.70	14.60	18.02
8	4	62.28	56.22	5.70	7.10
9	4	129.13	117.70	11.19	13.89
10	6	47.81	42.68	4.66	5.83
11	9	4.91	4.20	0.61	0.77
12	4	97.18	88.39	8.53	10.60
13	3	115.26	105.60	9.71	12.04
14	1	0.56	0.47	0.07	0.09
15	1	0.27	0.23	0.04	0.05

Nota la massa afferente a foglie, ramaglia, rami e fusto per ogni singolo campione e per ogni pianta modello, è stata confrontata la variazione relativa delle quattro componenti al variare del diametro (Figura 13).



**Figura 13: Distribuzione percentuale della biomassa di foglie, ramaglia, rami e fusto al variare del diametro (cm).**

## Densità basale

E' stata analizzata la distribuzione della densità basale del legno del *Corylus avellana* e sono stati opportunamente esclusi gli *outliers*, intesi come valori aventi una distanza maggiore di tre volte la distanza interquantile dalla mediana (SAS 1990). La densità basale nel presente studio è risultata pari  $0.57 \text{ g cm}^{-3}$  (deviazione standard 0.10), con valori compresi tra  $0.41 \text{ g cm}^{-3}$  e  $0.75 \text{ g cm}^{-3}$ .

Richter e Dallwitz (2009) riportano una densità commerciale per il *Corylus avellana* compresa tra  $0.53\text{--}0.63 \text{ g cm}^{-3}$ ; ricordiamo che generalmente per densità commerciale si intende con umidità circa del 18%. Come riportato da Hellrigl (2006), diverse fonti indicano la densità basale del nocciolo pari a  $0.59 \text{ g cm}^{-3}$  (Vorreiter 1949) e  $0.56 \text{ g cm}^{-3}$  (Hartmann 2005, Jonas e Haneder 2001) e valori di densità allo stato fresco compresi tra  $0.75 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1.10 \text{ g cm}^{-3}$  (Autori vari). La densità allo stato fresco è risultata nel nostro studio pari a  $0.74 \text{ g cm}^{-3}$  (deviazione standard 0.09).

## Stima del carbonio assorbito

Per ogni campione prelevato è stata poi tagliata la rotella basale e ne sono stati contati gli anelli di accrescimento; in questo modo è stato possibile valutare l'assorbimento medio annuo di carbonio delle singole branche campionate (Tabella 4). Risulta importante sottolineare come la scelta del campione iniziale sia stata dettata dall'esigenza di ottenere un campione rappresentativo delle classi di diametro, e non di età, presenti all'intero di un impianto di nocciolo; pertanto il

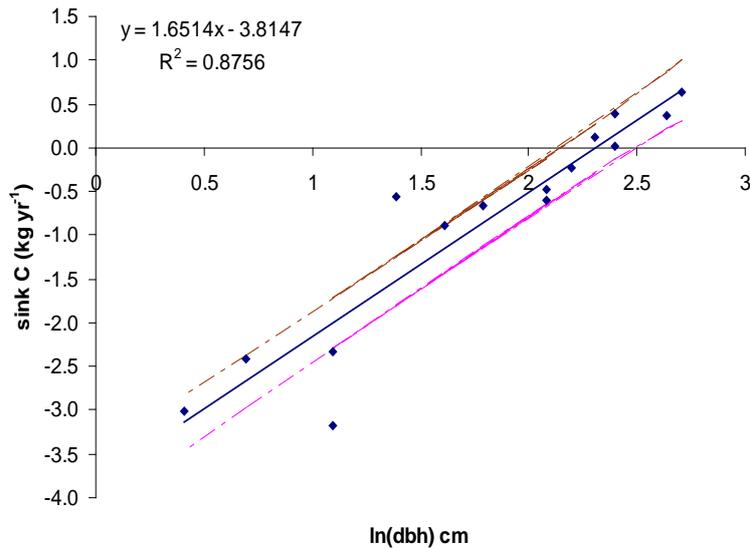
medesimo campione risulta scarsamente rappresentativo delle classi di età presenti nel popolamento, non permettendo quindi di ottenere una adeguata relazione tra diametro ed età delle piante campionate. Più specificatamente, l'età della branca campione pone un limite inferiore all'età effettiva della pianta madre. E' stato comunque possibile ottenere una relazione significativa tra *dbh* ed assorbimento medio annuo dei campioni prelevati.

**Tabella 4: Età ed incremento annuo delle singole branche prelevate**

Campioni	Età pollone	D base	Dbh (cm)	Ps legnoso (kg)	Ps foglie (kg)	Ps totale (kg)	Incr/anno (kg yr <sup>-1</sup> )	Sink (kg C yr <sup>-1</sup> )
1	12	9	8	11.58	1.58	13.16	1.10	0.55
2	14	6	5	10.98	0.55	11.53	0.82	0.41
3	17	10	9	25.00	2.06	27.06	1.59	0.80
4	18	14	11	49.35	3.22	52.57	2.92	1.46
5	14	15	11	25.33	3.22	28.56	2.04	1.02
6	16	17	15	54.37	6.44	60.81	3.80	1.90
7	19	18	14	49.53	5.52	55.06	2.90	1.45
8	7	5	4	7.66	0.34	8.00	1.14	0.57
9	13	10	10	26.74	2.61	29.34	2.26	1.13
10	10	4	3	1.75	0.18	1.93	0.19	0.10
11	12	3	3	0.83	0.18	1.01	0.08	0.04
12	9	7.5	6	8.44	0.83	9.28	1.03	0.52
13	10	11	8	10.77	1.58	12.35	1.24	0.62
14	2	2	2	0.28	0.07	0.36	0.18	0.09
15	2	1.5	1.5	0.16	0.04	0.20	0.10	0.05

Come si evince dalla figura sottostante è stata ricavata dai dati precedenti la relazione tra l'assorbimento medio annuo di carbonio (*Sink*, kg C yr<sup>-1</sup>) ed il diametro (cm) delle branche campione utilizzate per le misurazioni e viene espressa dalla seguente relazione ( $R^2 = 0.87$  con  $p < 0.0001$ ,  $S_a = 0.33$ ,  $S_b = 0.17$ ):

$$\ln(\text{Sink}) = 1.65(\ln \text{Dbh}) - 3.81 \quad (23)$$



**Figura 14: Relazione età del campione prelevato (anni) -Peso secco campione (kg) in scala logaritmica**

Utilizzando questa relazione si è poi stimato l'assorbimento annuo delle piante dalle quali era stata prelevata la branca campione e per le quali abbiamo misurato il numero ed il diametro di ogni branca. Il valore medio riportato in tabella si riferisce alle piante campione dalla 1 alla 13; i campioni 14 e 15 sono stati esclusi poiché non costituivano campioni presenti nell'impianto, ma piante provenienti direttamente dal vivaio e quindi non rappresentative della situazione sperimentale.

**Tabella 5: Assorbimento medio annuo di carbonio ( $\text{kg anno}^{-1}$ ) delle piante dalle quali sono state prelevate le branche campione. Stime tramite equazione allometrica.**

Campioni	N° branche	Età pollone	<i>sink C</i> $\text{kg yr}^{-1}$
1	6	12	4.19
2	5	14	2.34
3	4	17	2.38
4	4	18	2.58
5	4	14	4.16
6	3	16	4.85
7	3	19	4.41
8	4	7	2.44
9	4	13	4.14
10	6	10	2.32
11	9	12	0.55
12	4	9	3.30
13	3	10	3.39
14	1	2	0.07
15	1	2	0.04
Valore medio			3.15

## Determinazione dell'area fogliare specifica

Le 62 foglie scansionate presentano un'area fogliare totale di 3444.5 cm<sup>2</sup>, corrispondente ad una area media per foglia pari a 5.47 cm<sup>2</sup> (in allegato i 3 valori di area di ogni foglia campionata). Il loro peso fresco complessivo è di 36.52 g; in seguito all'essiccazione in stufa e dopo tre pesate consecutive uguali, il loro peso secco è stato determinato in 17.10 g.

Tramite la (16) è stato dunque possibile stimare l'area fogliare unitaria (*SLA*, *specificleafarea*), corrispondente a 195.17 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (19.52 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>).

Utilizzando le equazioni (17) e (18) è stata stimata l'area fogliare complessiva rispettivamente per ogni branca prelevata (Tabella 6) e per ogni pianta complessivamente (Tabella 7).

**Tabella 6: Area fogliare ( $A_b$ ) per ogni branca prelevata e misurata**

Campione	D base (cm)	Dbh (cm)	Ps foglie (kg)	Area fogliare branca $A_b$ (m <sup>2</sup> )
15	1.5	1.5	0.038	0.74
14	2	2	0.072	1.40
10	4	3	0.177	3.46
11	3	3	0.177	3.46
8	5	4	0.337	6.58
2	6	5	0.555	10.84
12	7.5	6	0.834	16.28
1	9	8	1.586	30.96
13	11	8	1.586	30.96
3	10	9	2.064	40.28
9	10	10	2.611	50.96
4	14	11	3.231	63.05
5	15	11	3.231	63.05
7	18	14	5.536	108.05
6	17	15	6.458	126.05

**Tabella 7: Area fogliare ( $A_f$ ) complessiva per ogni pianta**

Pianta	N branche	Area fogliare totale $A_f$ (m <sup>2</sup> )
1	6	201.96
2	5	97.25
3	4	104.85
4	4	120.89
5	4	221.07
6	3	325.45
7	3	284.87
8	4	111.26
9	4	218.30
10	6	90.95
11	9	11.86
12	4	166.45
13	3	189.54
14	1	1.40

<b>Pianta</b>	<b>N branche</b>	<b>Area fogliare totale <math>A_f(m^2)</math></b>
15	1	0.74

# CONCLUSIONI

## Tavola allometrica

Le tavole allometriche esprimono la relazione tra il diametro e la fitomassa totale o singoli comparti della stessa, permettendo una stima della biomassa epigea di un impianto coltivato o di un popolamento forestale. Queste tavole, generate dall'abbattimento di piante modello, derivano da equazioni basate su modelli di regressione che forniscono coefficienti di determinazione ( $R^2$ ) superiori a 0.85-0.90 garantendo perciò uno strumento di stima molto attendibile. L'accuratezza della stima resta comunque fortemente connessa alla numerosità delle piante modello abbattute.

Se da un lato le tavole allometriche rappresentano un metodo di stima molto preciso, dall'altro richiedono una notevole mole di lavoro in quanto occorre separare i diversi comparti della pianta abbattuta e misurarne il peso secco.

Nel presente studio sono state abbattute ed analizzate 26 branche modello dalle quali sono stati ottenuti 401 campioni per un totale di 422.8 kg di componente legnosa e 27.76 kg di componente fogliare.

Il 30% in peso sia della componente legnosa sia componente fogliare è stato posto in stufa a 103° C ottenendo valori di calo fisiologico dovuti alla perdita di umidità costante. Attraverso le relazioni allometriche ricavate per ciascuna componente della branca (fusto e rami principali, ramaglia, foglie e infine totale epigeo) si sono ottenuti i dati per la costruzione della tavola allometrica riportata in tabella 2.

La tavola allometrica risulta utilizzabile per branche aventi un diametro ad 1.30 m che non superi i 20 cm, poiché il diametro maggiore delle branche modello utilizzate è pari a 18 cm. Oltre questo valore le equazioni basate sulla regressione non permetterebbero di ottenere con certezza adeguata il reale valore della biomassa e delle diverse componenti delle stessa.

Utilizzando le equazioni ottenute per i diversi comparti e conoscendo il numero di branche che formano l'intera pianta ed il loro diametro è stato possibile stimare i valori di biomassa totale epigea per le piante complessive delle branche (Tabella 3).

## Stima del carbonio assorbito

Nell'impianto considerato in questo studio l'assorbimento medio annuo di una pianta di nocciolo complessiva di tutte le branche risulta pari a 3.15 kg C yr<sup>-1</sup> (dev. st. 1.19), considerando una densità di impianto pari a circa 400 piante ad ettaro, l'assorbimento medio risulta pertanto pari a 1.26 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>.

Come già accennato in precedenza i risultati ottenuti sono sito e specie specifici, ma possono rappresentare un valore indicativo per la maggior parte delle coltivazioni di nocciolo piemontesi, in quanto le condizioni climatiche risultano essere piuttosto omogenee e la varietà più diffusa è proprio la Tonda Gentile delle Langhe, oggetto del presente studio.

In alcuni casi gli impianti di Nocciolo piemontesi vengono inizialmente costituiti con un sesto di m 5×3 il quale porta ad una densità elevata, di 667 piante/ha. Per massimizzare lo sviluppo regolare delle chiome e per facilitare le operazioni meccanizzate, questi impianti subiscono una serie di diradamenti verso i 15-20 anni che riducono le piante a circa 400-500 per ha. In questo caso si verifica un maggiore assorbimento nella fase iniziale, ma la quantità di carbonio stoccato nell'impianto a diradamenti ultimati si attesta a valori abbastanza simili a quelli ottenuti con l'impianto oggetto di studio.

### **Area fogliare specifica**

Il valore dell'area fogliare specifica (*SLA*, *Specific Leaf Area*) esprime la superficie della lamina fogliare rispetto all'unità di peso della foglia stessa; tanto maggiore è questo rapporto tanto più ampia risulta essere la lamina. La robusta relazione presente tra *SLA* e la velocità di fotosintesi risulta simile in tutti i biomi; l'area fogliare specifica (*SLA*) può infatti anche essere utilizzata come indicatore della capacità fotosintetica potenziale di un ecosistema (Reich et al 1997, Chapin et al 2002).

La conoscenza dell'area fogliare totale risulta particolarmente importante per il calcolo di un altro parametro, il *LAI* (*Leaf Area Index*), il quale esprime il rapporto tra la superficie fogliare della pianta e la superficie di terreno a disposizione della stessa.

In ambito agrario tramite la conoscenza di questo parametro è possibile massimizzare la produttività della pianta e ottimizzare, per esempio, l'irrigazione e la distribuzione di trattamenti antiparassitari. L'area fogliare totale risulta essere un punto di partenza per ricerche mirate ad ottimizzare la produzione e l'utilizzo di risorse da parte di *Corylus avellana*.

La metodologia adottata per la stima della biomassa presente e del carbonio assorbito dall'impianto, pur carente di dati relativi a suolo, lettiera e materia organica morta risulta in linea generale conforme a quanto previsto dalle *Good Practice Guidance* dell'IPCC (IPCC GPG 2003, 2006) e applicabile ad impianti di nocciolo che si trovino in simili condizioni ambientali. Essa si basa sull'applicazione alla seriazione ordinata dei diametri rilevata in momenti successivi di un'equazione allometrica che esprima la biomassa arborea epigea in funzione del diametro.

Le modalità di misurazione ed analisi delle piante campione hanno consentito di ripartire la massa legnosa complessiva in una componente legnosa (fusto, rami principali e ramaglia) e nella componente fogliare. L'accuratezza delle misurazioni effettuate trova conferma nel coefficiente di determinazione, sempre superiore a 0.70 in tutte le relazioni allometriche e pari a 0.94 nell'equazione generale di stima della massa arborea epigea. Le analisi effettuate non prendono in considerazione il peso specifico dei frutti; tale componente viene infatti asportata ad ogni stagione, non contribuendo ad un accumulo duraturo del carbonio assorbito dall'atmosfera.

Vengono riportati di seguito i passaggi necessari per stimare la biomassa epigea presente in un impianto di nocciolo che sia in condizioni confrontabili con l'impianto considerato in questo studio (sia dal punto di vista pedoclimatico sia per le cure colturali effettuate):

1. Predisposizione schema di campionamento:

individuazione di un sufficiente numero di aree di saggio all'interno dell'impianto da rilevare (se le dimensioni non permettono di rilevare l'intero impianto).

2. Rilievi in campo:

misurazione del diametro ad 1.30 (*Dbh*) di tutti i polloni che compongono le singole piante presenti all'interno dell'area di saggio.

3. Stima della biomassa arborea epigea dei singoli polloni:

Applicazione dell'equazione (18) per ogni singolo pollone misurato:

$$\ln(M_{tb}) = 2.47(\ln Dbh) - 2.30.$$

4. Biomassa arborea epigea complessiva per singola pianta:

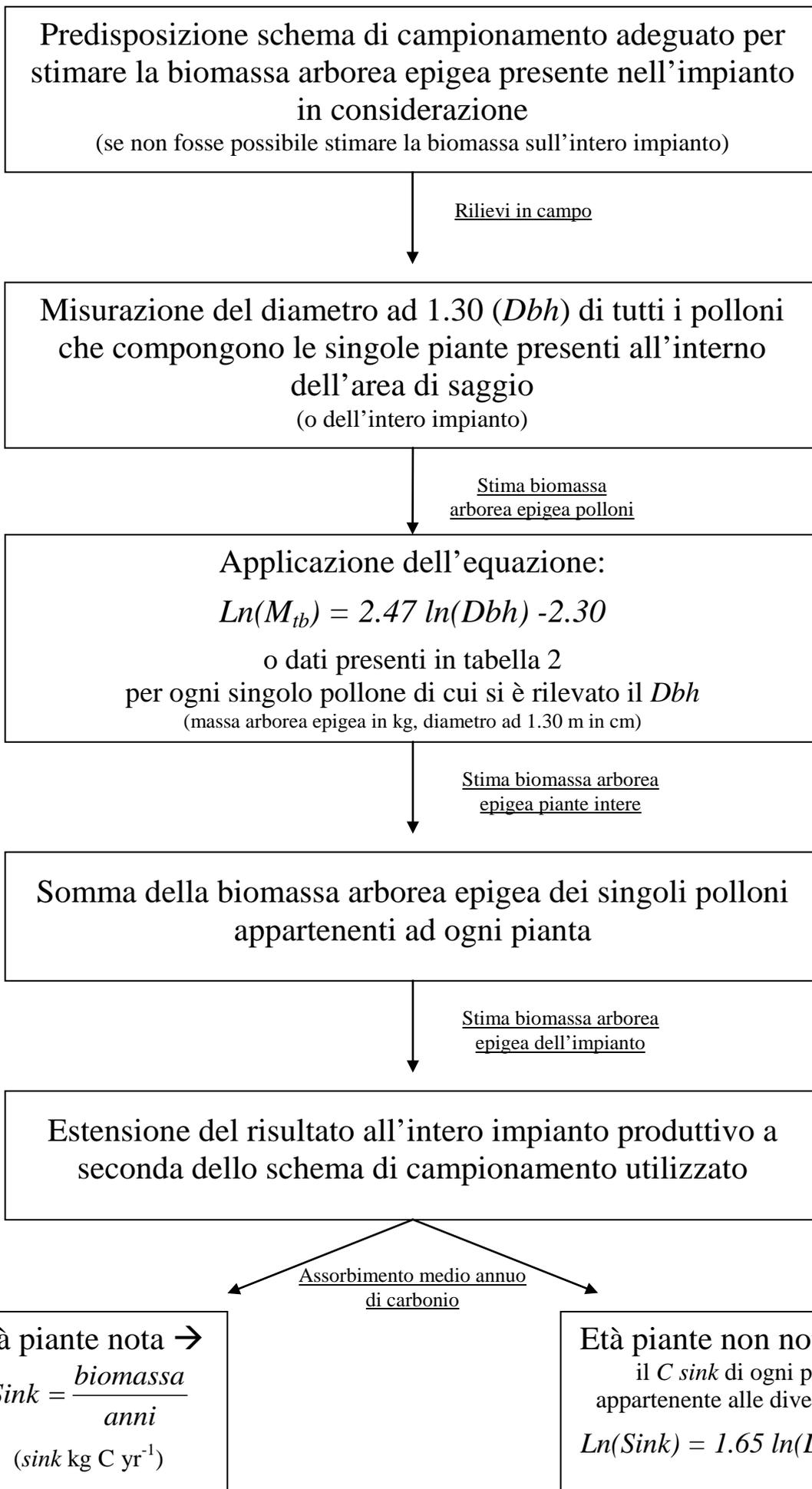
somma della massa dei singoli polloni appartenenti ad ogni pianta.

5. Estensione del risultato all'intero impianto produttivo a seconda dello schema di campionamento utilizzato.

6. Stima del carbonio annuo assorbito:

- a. Se l'età dell'impianto è nota sarà sufficiente dividere la biomassa epigea totale per gli anni dell'impianto, considerando l'età delle piante quando sono state messe a dimora.

- b. Se l'età dell'impianto non fosse nota è possibile utilizzando la (19) stimare l'assorbimento di carbonio medio annuo, noti i diametri di ogni pollone appartenente alle diverse piante:  $Ln(Sink) = 1.65 ( lnDbh) -3.81$



## ALLEGATI

**Allegato 1: Peso fresco totale e peso secco totale per la componente legnosa dei campioni prelevati.**

<b>Pianta</b>	<b>Dbh (cm)</b>	<b>Peso fresco fusto+ramaglia(kg)</b>	<b>Peso secco fusto+ramaglia (kg)</b>	<b>Peso secco fusto (kg)</b>	<b>Peso secco ramaglia (kg)</b>
15	1.5	0.2	0.3	0.2	0.0
14	2.0	0.3	0.5	0.3	0.0
10	3.0	2.0	1.8	1.6	0.2
11	3.0	0.9	0.8	0.6	0.2
8	4.0	9.2	7.7	6.9	0.7
2	5.0	20.8	11.0	9.3	1.7
12	6.0	10.0	8.4	8.0	0.4
1	8.0	14.6	11.6	10.3	1.3
13	8.0	12.6	10.8	10.4	0.4
3	9.0	35.0	25.0	18.9	5.3
9	10.0	40.6	26.7	21.4	5.4
4	11.0	65.8	49.3	36.2	13.1
5	11.0	39.4	25.3	22.3	3.0
7	14.0	85.4	49.5	44.9	4.7
6	15.0	86.1	54.4	45.9	8.4

**Allegato 2: Stima del peso fresco e peso secco per la componente "foglie" dei campioni prelevati.**

<b>Pianta</b>	<b>D base (cm)</b>	<b>Dbh (cm)</b>	<b>Peso fresco foglie (kg)</b>	<b>Peso secco foglie (kg)</b>
5	3	3	0.20	0.18
10	4	3	0.28	0.23
6	5	5	0.49	0.28
8	6	5	0.97	0.72
7	7	6	1.33	0.97
4	8	7	1.30	0.94
1	9	8	2.50	1.76
9	10	9	3.14	2.20
11	11.5	10	4.80	2.96
3	12	11	2.94	2.08
2	14.5	13	9.81	6.76

**Allegato 3: Area (cm<sup>2</sup>) delle foglie campionate tramite software *WinSeedl 5.1a***

N°	Immagine	Foglia	Area (cm <sup>2</sup> )
1	1	1	58.3
2	2	1	63.5
3		2	38.4
4		3	54.9
5		4	66.8
6	3	1	51
7		2	65.5
8		3	70.7
9	4	1	50
10		2	74.3
11		3	75.5
12	5	1	55.1
13		2	62.1
14	6	1	31
15		2	52
16		3	59.2
17	7	1	73.9
18		2	73.4
19	8	1	68.7
20		2	62.1
21	9	1	52.1
22		2	71.2
23		3	40
24	10	1	85.3
25		2	58.2
26	11	1	51.4
27		2	25.4
28		3	63.6
29		4	26.7
30	12	1	74.9
31		2	59.8
32	13	1	29.5
33		2	49.8
34		3	47.8
35	14	1	45.5
36		2	78.1
37		3	44.1
38	15	1	45.8
39		2	86.9
40		3	51.8
41	16	1	48.4
42	16	2	69.1
43		3	56.4
44		17	1
45	2		70
46	3		39.2
47	18	1	62

<b>N°</b>	<b>Immagine</b>	<b>Foglia</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>
48		2	74.5
49	19	1	32.8
50		2	42
51		3	41.2
52	20	1	67.6
53		2	72.9
54	21	1	69.5
55		2	49.1
56	22	1	74.7
57		2	30.4
58		3	63
59		4	22.5
60	23	1	52.8
61		2	33.6
62		3	44.5
Valore medio		62 foglie	54.7
<b>Totale</b>			<b>3444.8</b>

## BIBLIOGRAFIA

Alberghina O., 2002, La coltura del nocciolo in Sicilia. Atti 2° Convegno Nazionale sul Nocciolo, Giffoni V.P.: 141- 145

Ameglio T., 1991, Relations hydriques chez le jeune noyer, de l'échelle de la journée à celle de l'année, en liaison avec quelques aspects de la physiologie de l'arbre. Thèse de doctorat de l'université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand II)

Ameglio T., Mingeau M., Archer P., Pons B., 1994, Water Relations in Hazelnut: Sap Flow, Predawn Water Potential and Micromorphometric Variations of Stem Diameter. *Acta Horticulturae* 351, Hazelnut III

Andersson G., 1902, Hasseln i Sverige fördom och nu, *Sver. Geol. Unders. Ser. Ca*, 3: 168

Anfodillo T., Carraro V., Carrer M., Fior C., Rossi S., 2006, Convergent tapering of xylem conduits in different woody species. *New Phytol.* 169: 279-290

Arkebauer T., Walter-Shea E., 2000, Diurnal variations in gas exchange of aspen, hazelnut, jack pine and black spruce, *Acta Phytoecologica Sinica*, 24(4): 408-419

Awada T., Josiah S., 2007, Physiological Responses of Four Hazelnut Hybrids to Water Availability in Nebraska, *Great Plains Research: A Journal of Natural and Social Sciences*, Paper 895: 11

Azarenko A., McCluskey R., Hampson C., 1997, Time of shading influences yield, nut quality and flowering, *Acta Horticulturae* 445: 179-183

Baldwin B., Gilchrist K., Snare L., 2007, Hazelnut Variety Assessment for South-eastern Australia, RIRDC Publication no 07/062: 74

Bassil N., Proebsting W., Moore W., Lightfoot D., 1991, Propagation of Hazelnut Stem Cuttings Using *Agrobacterium rhizogenes*, *Hort. Science* Aug 1991 vol. 26 no. 8: 1058-1060

Berretti R., Meloni F., Motta R., Caffo L., Dotta A., Canavesio A., Camerano P., Terzuolo P., 2006, Selvicoltura nelle foreste di protezione – Esperienze e indirizzi gestionali in Piemonte e Valle d'Aosta, *Compagnia delle Foreste Ediz.*: 280

Bignami C., 1989, Stato attuale delle conoscenze sull'irrigazione del nocciolo. Atti del convegno "Le problematiche del nocciolo" Capranica (VT) 1989: 25-43

Bignami C., Natali S., 1997, Influence of Irrigation on the Growth and Production of Young Hazelnuts, *Acta Horticulturae* 445, Hazelnut IV

- Bignami C., Camilli C., Moretti G., Romoli F., 1999, Irrigation of *Corylus avellana* L.: effects on canopy development and production of young plants. International symposium on Irrigation of horticultural crops, Lisbon. Acta Horticulturae 53: 903-910
- Bignami C., 2002, Attualità e problematiche della nocciolicoltura nel Lazio. Atti II Convegno nazionale sul nocciolo: le frontiere della corilicoltura italiana, Giffoni Valle Piana (SA): 122-132
- Black T., den Hartog G., Neumann P., Blanken P., Yang C., Russel C., Nestic Z., Lee X., Chen S., Staebler R., Novak M., 1996, Annual cycles of water vapor and carbon dioxide fluxes in and above a boreal aspen forest. Global Change Biol. 2: pp. 219-229
- Blum A., 2005, Drought resistance, water use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?, Australian Journal of Agricultural Research 56: 1159-1168
- Boccacci P., Botta R., 2009, Investigating the origin of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars using chloroplast microsatellites, Genet. Resour. Crop. Evol. 56: 851-859
- Bonomi, A., Droghei, C., Lumicisi, A., 2009, Lo schema EU-ETS ed i crediti forestali: analisi di possibili scenari per il periodo 2013-2020. Forest@ 6: 349-356
- Bostan S., Gunay K., 2009, Variation of Important Quality Characteristics in Hazelnut at Different Years and Correlation between Husk Number and Nut and Kernel Traits, Acta Horticulturae 845, Hazelnut VII: 641-646
- Bradshaw B., 2005, Physiological aspects of *Corylus avellana* associated with the French black truffle fungus *Tuber melanosporum* and the consequence for commercial production of black truffle in Western Australia, Ph.D thesis, Murdoch University Perth: 225
- Brown, S. 2002, Measuring Carbon in forests: current status and future challenges. Environment Pollution 116: 363-372
- Bucini D., 2005, Biologia e dinamica di *Anisandrus dispar* F. (Coleoptera, Scolytidae) e suo possibile ruolo nella diffusione dei batteri agenti causali della moria del nocciolo, Dottorato di Ricerca in Protezione delle Piante: 109
- Cernusak L., Aranda J., Marshall J., Winter K., 2006, Large variation in whole-plant water use efficiency among tropical tree species, New Phytologist 173: 294-305
- Chapin III, F.S., Matson, P.A., Mooney, H.A., 2002, Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, New York.
- Costa Leme P, Assuncao A., 2005, Relationship between the above and underground parts of hazelnut variety “Tonda di Giffoni”, Acta Horticulturae 686, Hazelnut VI

Creso, Comunità Montana Alta Langa, 2009, La coltivazione del nocciolo in Alta Langa, Linee guida per una corilicoltura sostenibile, Pubblicazione Comunità Montana Alta Langa: 35

Cristofori V., 2005, Fattori di qualità della nocciola, Tesi di Dottorato di Ricerca: 158

Cristofori V., Rouphael Y., Mendoza-de Gyves E., Bignami C., 2007, A simple model for estimating leaf area of hazelnut from linear measurements, *Scientia Hort.* 113: 221-225

Cristofori V., Ferramondo S., Bertazza G., Bignami C., 2008, Nut and kernel traits and chemical composition of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: pp. 1091- 1098

Dalla Fior G., 1985, La Nostra Flora, Casa Editrice G.B.Monauni – Trento: 752

Del Favero R., 2004, I boschi delle regioni alpine italiane. Tipologia, funzionamento, selvicoltura, CLEUP: 602

De Salvador F., Monastra F, 1997, Water Regimes and Soil Management in Hazelnut Trees: Preliminary Studies in Pots, *Acta Horticulturae* 445, Hazelnut IV

Deslauriers A., Rossi S., Anfodillo T., 2007, Dendrometer and intra-annual tree growth: What kind of information can be inferred? *Dendrochronologia* (5)

Dias R., Concalves B., Moutinho Pereira J., Carvalho J., Silva A, 2005, Effect of irrigation on physiological and biochemical traits of hazelnut (*Corylus avellana* L.), *Acta Horticulturae* 686, Hazelnut VI. Pp. 202-206

Enquist BJ., 2002, Universal scaling in tree vascular plant allometry: toward a general quantitative theory linking form and functions from cells to ecosystems, *Tree Physiology* 22: 1045-1064

Erdogan V., Mehlenbacher A., 2000, Interpecific Hybridization in Hazelnut (*Corylus avellana* L.), *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125(4): 489-497

Eynard I., Paglietta R., 1962, Ricerche sull'apparato radicale del nocciolo, Convegno internazionale sul nocciolo, Alba: 157-162

Faostat, 2009, <http://faostat.fao.org>

Farquhar G., Schulze E., Kupperts M., 1984, Responses to humidity by stomata of *Nicotinia glauca* L. and *Corylus avellana* L. are consistent with the optimization of carbon dioxide uptake with respect to water loss. *Aust. K. Plant Physiology* 7: 315-327

Fideghelli C., De Salvador F., 2009, World Hazelnut Situation and Perspectives, *Acta Horticulturae* 845, Hazelnut VII

Filippi E., 2006, Un modello dinamico di umidità del suolo in un terreno coltivato a vite: applicazione al vigneto di Colterenzio, Tesi di Laurea in Ingegneria, Università di Trento: 124

Gellini R., Grossoni P., 1997, Botanica Forestale, Cedam Edizioni: 373

Germain E., 1994, The Reproduction of Hazelnut (*Corylus avellana* L.) a Review, Acta Horticulturae 351, Hazelnut III: 195-209

Girona J., Cohen M., Mata M., Marsal J., Miravete C., 1994, Physiological growth and yield responses of hazelnut (*Corylus avellana* L.) to different irrigation regimes. Acta Horticulturae 351, Hazelnut III

Gispert J., Tous J., Romero A., Plana J., 2005, The Influence of Different Irrigation Strategies and the Percentage of Wet Soil Volume on the Productive and Vegetative Behaviour of the Hazelnut Tree (*Corylus avellana* L.), Acta Horticulturae 686, Hazelnut VI

Goldhammer D., Fereres E., Mata M., Girona J., Cohen M., 1999, Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation, JAHS 124(4): 437-444

Granier A., 1985, Une nouvelle méthode pour le mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres, Ann. Sci. For. 42: 193-200

Granier A., 1987, Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements, Tree Physiol. 3: 309-320

Hampson C., Azarenko A., Potter J., 1996, Photosynthetic Rate, Flowering, and Yield Component Alteration in Hazelnut in Response to Different Light Environments, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121(6): 1103-1111

Hamilton, K., Sjardin, M., Shapiro, A., Marcello, T., 2009 Fortifying the Foundation: State of the Voluntary Carbon Markets 2009. A report by Ecosystem Marketplace & New Carbon Finance

Hellrigl, B., 2006, Elementi di xiloenergetica. Definizioni, formule, tabelle. AIEL - Associazione Italiana Energie Agroforestali, Progetto Interreg III B ALPENERGYWOOD

Hummer K., 2001, Historical notes on hazelnuts in Oregon, Acta Horticulturae 556, Hazelnut V

Huxley, J. 1932, Problems of relative growth. Methuen & Co, London

INRA, 2004, Le Noisetier, CtiflEdiz.: 296

Intrigliolo D., Castel J., 2004, Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum, *Irrigation Science* 23(2): 93-102

IPCC, 2003, Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, Pipatti R, Buen-dia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K e Wagner F. (eds). Published: IGES, Japan

IPCC, 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston HS, Buendis L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (eds). Published: IGES, Japan

ISTAT, [www.istat.it](http://www.istat.it)

Jones H., 2007, Monitoring plant and soil water status: established and novel method revisited and their relevance to studies of drought tolerance, *J. Exp. Bot* 58(2): 119-130

Karteji N., van Hoorn J., Hamdy A., Mastrorilli M., Mou Karzel E, 1997, Osmotic Adjustment of sugar beets in response to salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield, *Agricultural Water Management* 34: 57-69

Kirchlechner G., 1900, *La Flora Forestale*: 102

Koksal A., Artik N., Simsek A., Gunes N., 2005, Nutrient composition of hazelnut (*Corylu savellana* L.) varieties cultivated in Turkey

Korkut, D., S. Korkut, I. Bekar, M. Budakçı, T. Dilik, and N. Çakıcıer. 2008, The Effects of Heat Treatment on the Physical Properties and Surface Roughness of Turkish Hazel (*Corylus colurna* L.) Wood. *International Journal of Molecular Sciences* 9: 1772-1783

La Marca, O. 1999, *Elementi di dendrometria*. Patron Editore, Bologna

Long Z., Lu L., 2005, Resource Distribution and Development Research Progress of *Corylus* in Heilongjiang Province, *Forest By-Product and Specialty in China*, Vol. 77 no 4: 41-42

Lopes P., 2009, Review of Forestry Carbon Standards – Development of a tool for organizations to identify the most appropriate forestry carbon credit- MSc Imperial College of London: 114

Lu P., Urban L., Zhao P., 2004, Granier's Thermal Dissipation Probe (TDP) Method for Measuring Sap Flow in Trees: Theory and Practice, *Acta Botanica Sinica* 46(6): 631-646

Malhi, Y., Baldocchi, D., Jarvis, P., 1999, The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant Cell and Environment* 22: 715-740

- Manzo P., Tamponi G., 1982, Monografia di cultivar di nocciuolo, Istituto Sperimentale per la Frutticoltura, Roma: 55
- Marsal J., Girona J., Mata M., 1997, Leaf Water Relations Parameters in Almond Compared to Hazelnut Trees during a Deficit Irrigation Period, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(4): 582-587
- Martino I., Robotti F., Spanna F., , SIP – Agrivideotel 2 (Irrigation Project) Applied to an Hazelnut Irrigation Test, *Acta Horticulturae* 351, Hazelnut III: 495-500
- McCluskey S., Mehlenbacher S., Smith D., Azarenko A., 2009, Advanced selection and new cultivar performance in hazelnut trials planted in 1998 and 2000 at Oregon State University, *Acta Horticulturae* 845, Hazelnut VII
- Me G, Valentini N., Miaja M., 2001, Comparison of two training systems in hazelnut, *Acta Horticulturae* 556, Hazelnut V: 321-326
- Me G., Valentini N., 2006, La corilicoltura in Italia e nel mondo, Le avversità del nocciuolo in Italia, *Petria* (1), 7-18
- Mehlenbacher S., 1991, Chilling requirements of hazelnut cultivars, *Scientia Hort.* 47: 271-282
- Mehlenbacher S., Olsen J., 1996, The hazelnut industry in Oregon, USA, *Acta Horticulturae* 445, Hazelnut IV
- Mehlenbacher S., 2005, The hazelnut situation in Oregon, *Acta Horticulturae* 686, Hazelnut VI
- Mehlenbacher S., 2008, Genetic resources for hazelnut: state of the art and future perspectives. *Acta Horticulturae* 845, Hazelnut VII
- Mencuccini M., 2002, Hydraulic constraints in the functional scaling of trees, *Tree Physiology* 22: 553-565
- Mencuccini M., 2003, The ecological significance of long-distance water transport: short-term regulation, long term acclimatation and the hydraulic costs of stature across plant life forms, *Plant, Cell and the Env.* 23: 163-182
- Mirotadze N., 2005, Hazelnut in Georgia, *Acta Horticulturae* 686, Hazelnut VI
- Molnar T., Goffreda J., Funk C., 2005, Developing Hazelnuts for the Eastern United States, *Acta Horticulturae* 686, Hazelnut VI: 609-618
- Molnar T., Pisetta M., 2009, Searching for Resistance to Eastern Filbert Blight: Hazelnuts from the Republic of Georgia, *The Nutshell Dec.* 2009: 16- 22

- Nabuurs, G., Paivinen, R., Sikkema, R., Mohren, G., 1997, The role of European forests in the global carbon cycle-a review. . Biomass and Bioenergy 13: 345-358
- Natali S., Bignami C., Gonzales M., 1988, Effetti dello stress idrico sul potenziale idrico fogliare, sulla traspirazione e sulla fotosintesi in *Corylus avellana* L. Rivista di Irrigazione e Drenaggio, 3pp 118- 123
- Niklas, J. K. 2006, Scaling the paths of resistance. New Phytologist 169: 219-222
- Niklas, K. J. 1994, Plant allometry. The scaling of form and Process., Chicago and London
- Nogueira, E. M., B. W. Nelson, and P. M. Fearnside. 2005, Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. forest Ecology and Management 208: 261-286
- Nonami H., Boyer J., 1993, Direct demonstration of a growth-induced water potential gradient, Plant Physiol. 102, pp13-19
- Olsen J., 1997, Nitrogen management in Oregon hazelnuts, Acta Horticulturae 445: 263-268
- Painter J, Hariman M, 1957, Length of fruiting twigs in relation to production and grade of filbert nuts, 49<sup>th</sup> Ann. Rept. Oregon Sta. Hort. Soc.: 23
- Pampanini R., 1912, Per la protezione della Flora Italiana, Società Botanica Italiana, Pellas, Firenze: 184
- Pettenella, D., 2007, Gli interventi volontari di riduzione delle emissioni di gas serra. Silvae 9: 11-22
- Pettenella, D., Zanchi, G., 2006, Inquadramento generale del Protocollo di Kyoto: Opportunità e limiti per il settore forestale. In: Pilli, R., Anfodillo, T., Dalla Valle, E. (Eds.), Stima del carbonio in foresta: metodologie ed aspetti normativi. Corso di Cultura in Ecologia, Atti del 42° corso, Università di Padova, San Vito di Cadore (BL) [http://www.tesaf.unipd.it/Sanvito/dati/Atti\\_42CultEcol\\_2006.pdf](http://www.tesaf.unipd.it/Sanvito/dati/Atti_42CultEcol_2006.pdf): 1-10
- Piccirillo P., 2002, Attualità e problematiche della coltura del nocciolo in Campania, Atti II Convegno nazionale sul nocciolo: le frontiere della corilicoltura italiana, Giffoni Valle Piana (SA): 113-121
- Pisetta M., 2007, Il disseccamento dell'ontano verde in Trentino, tesi di laurea:
- Pisetta M., Carraro V., Anfodillo T., 2011, Variations in Sap Flow During Floral Formation and Development in Hazelnut (*Corylus avellana* L.), Acta Horticulturae, in press

- Ranney T., Bassuk N., Whitlow T., 1991, Osmotic Adjustment and Solute Constituents in Leaves and Roots of Water Stressed Cherry (*Prunus*) Trees, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116(4): 684-688
- Reich, P.B., Walters, M.B., Ellsworth, D.S., 1997, From tropics to tundra: Global convergence in plant functioning. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 94: 13730-13734
- Richter, H.G., and Dallwitz, M.J., 2000 onwards, Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Version: 25th June 2009. <http://delta-intkey.com>
- Romisondo P., 1963, L'impollinazione incrociata del nocciolo "Tonda Gentile delle Langhe", Contributo Frutticoltura 25: 887-895
- Roversi A., 2001, Concimazione del nocciolo, Informatore Agrario 49/2001: 61- 66
- Scholander P., Hammel H., Hemmingsen E., Bradstreet E., 1964, Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 52: 119-125
- Schulze E., Kupperts M., 1979, Short term and long term effects of plant water deficits on stomatal response to humidity in *Corylus avellana* L., Planta 146: 319- 326
- Sing M., Chaturvedi P., Sane V., 1996, Diurnal and seasonal photosynthetic characteristics of *Populus deltoids* Marsh. leaves, Photosynthetica 32(1): 11-21
- Sirago V., 1995, Storia agraria romana. I: Fase ascensionale, Liguori, Napoli
- Somogyi, Z., Cienciala, E., Makipaa, R., Muukkonen, P., Lehtonen, A., Weiss, P., 2006, Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. European Journal of Scientific Research 126: 197-207
- Song S., Kopyt M., Ton Y., Xie S., 2004, A Trial Application of the Phytomonitoring Technique for Litchi in Shenzhen Area of China, GGIR International Conference – Beijing 11-24 Oct. 2004: 8
- Tallantire P., 1981, Some Reflections on hazel (*Corylus avellana* L.) on its boundary in Fennoscandia during the post glacial, Acta Palaeobotanica XXI (2): 161-171
- Tallantire P., 2002, The early-Holocene spread of hazel (*Corylus avellana* L.) in Europe north and west of the Alps: an ecological hypothesis, Holocene 12: 81-96
- Tasias J., Girona J., 1983, L'irrigazione del nocciolo: situazione e prospettive. Convegno Internazionale sul Nocciolo, Avellino: 364-375
- Tasias J., 1975, El avellano en la provincia de Tarragona. Excma. Deputacion Provincial de Terragona: 363

- Tombesi A., 1985, Il nocciolo, Ediz. Reda, Roma: 121
- Tombesi A., 1992, Influence of soil water levels on assimilation and water use efficiency in hazelnut. International congress of hazelnut, 1992, Alba
- Tombesi A., 1994, Influence of soil water levels on assimilation and water use efficiency in hazelnut, Acta Horticulturae 351, Hazelnut III
- Tombesi A., Rosati A., 1997, Hazelnut response to water levels in relation to productive cycle, Acta Horticulturae 445, Hazelnut IV
- Tous J., Rovira M., Ferrerira J., Ciordia M., 2005, Hazelnut Diversity in Asturias (Northern Spain), Acta Horticulturae 686, Hazelnut VI: 41-46
- Trotter A., 1951, Il Nocciolo (*Corylus*), Società Editrice Dante Alighieri: 170
- Turcotte A., Rossi S., Deslauriers A., Krause C., Morin H., 2011, Dynamics of depletion and replenishment of water storage in stem and roots of black spruce measured by dendrometers, Frontiers in plant science Vol. 2 Art. 21: 1-8
- Turner N., Long M., 1980, Errors arising from rapid water loss in the measurement of leaf water potential by the pressure chamber technique. Aust. J. Plant Physiology 7: 527- 537
- Valentini N., Me G., 2002, Attualità e problematiche della coltura del nocciolo in Italia: la situazione piemontese, Atti II Convegno nazionale sul nocciolo: le frontiere della corilicoltura italiana, Giffoni Valle Piana (SA): 133-140
- Vilà, 1996, Water Stress Measurements in Fruit Trees Under Different Regulated Deficit Irrigation Regimes, Tesi Doctoral Lleida: 136
- Wang Q., Su S., Liu W., Yin D., Tang Z., Xu D., 2011, An Initial Investigation on the Distribution, Living Conditions and Traits of the Hazel in Great Xing' an Ridge Region, Natural Resources, 2011, 2: 234-239
- West G., Brown J., Enquist J., 1999, A general model for the structure and the allometry of plant vascular systems, Nature 400: 664-667
- Yi X., Zhang Z., 2007, Seed predation and dispersal of glabrous filbert (*Corylus heterophylla*) and pilose filbert (*Corylus mandshurica*) by small mammals in a temperate forest, northeast China, Plant Ecology 195 no. 1: 135-142
- Zar, H. D. 1999, Biostatistical analysis (4th ed.). Prentice Hall International, Inc, Upper Saddle River, New Jersey
- Zianis, D., P. Muukkonen, R. Mäkipää, and M. Mencuccini. 2005, Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. Silva Fennica 4: 2-63

Zolla C., 2005, Analisi genetica e molecolare dei batteri implicati nella “moria” del nocciolo, Dottorato di Ricerca in protezione delle piante: 110