

Sesto Fiorentino, 17/01/2017

Relazione Scientifica

"FLUORESCENCE-BASED MAPPING: FROM COFFEE PLANTATION TO CUP QUALITY"

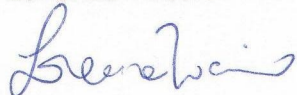
Attività integrata nell'ambito del Programma Short Term Mobility 2016

Istituto di Fisica Applicata "N. Carrara" – CNR



Assegnista di Ricerca

Lorenza Tuccio



Responsabile Scientifico

Giovanni Agati



Introduzione

Il caffè è il prodotto più commercializzato al mondo dopo il petrolio (Pendergrast 2009). La segmentazione del mercato, a seguito di una crescente richiesta di caffè di elevata qualità (specialty coffee) ha creato un potenziale di crescita e nuove opportunità per i paesi produttori (Wood 2015). Nel contesto di un significativo aumento dei cambiamenti climatici, il miglioramento della qualità del caffè deve necessariamente realizzarsi nel rispetto della sostenibilità ambientale e nella realizzazione di linee guida da fornire ai produttori per introdurre pratiche agricole sempre migliori. Purtroppo i cambiamenti climatici in atto hanno favorito anche l'aumento e la diffusione delle malattie, prima fra tutte la ruggine del caffè, decimando i raccolti e ostacolando lo sviluppo e il miglioramento della produzione.

Sono state introdotte pertanto nuove specie resistenti di introgressione, frutto cioè degli incroci tra Ibrido di Timor x Caturra e Ibrido di Timor x Villa Sarchi con ottime produzioni in termini di quantità, ma a scapito spesso della qualità del prodotto in tazza (Anzueto 2013). In Honduras è stata recentemente introdotta (2010 – 2012) la varietà Parainema derivata da Sarchimor T-5296. La linea originale venne introdotta dal Centro Agronomico de Investigación y Enseñanza (CATIE) nel 1981. I Sarchimores sono varietà di portamento basso, dimensione grande del frutto, richiesta nutrizionale elevata, da cui si può ottenere una buona qualità in tazza (Anzueto 2013).

Ma la qualità del prodotto finale non dipende solo dalle caratteristiche genetiche della varietà: esistono numerosi studi in Letteratura che hanno identificato i fattori di influenza della qualità del caffè oltre ai tratti genetici, come ad esempio l'ambiente di crescita e i metodi di processamento post-raccolta. Il più importante fattore ambientale è senza dubbio l'altitudine: per il caffè Arabica la coltivazione ad altitudini elevate fornisce la migliore qualità a causa della riduzione delle temperature giornaliere (la temperatura ottimale di crescita per il caffè Arabica è considerata in un range tra 18 e 21°C) che rallentano la maturazione e garantiscono un tempo maggiore al chicco di caffè per indurirsi e diventare più denso (Tolessa 2016). Riguardo invece agli effetti dell'ombreggiamento sulla produzione esistono risultati contrastanti (Banegas Romero 2009, Haggar 2011, Muschler 2001, Somporn 2011, Tolessa 2016, Vaast 2006) che dimostrano come la gestione ottimale di questo fattore sia altamente sito-specifica e che sono necessari ulteriori studi per comprenderne gli effetti sulla qualità in tazza.

Da questo punto di vista, ancor più scarse sono le informazioni sulle nuove varietà resistenti alla ruggine del caffè di più recente introduzione e coltivazione e di quali siano per ciascuna di esse le condizioni ottimali per ottenere il miglior prodotto possibile. E' stato pertanto condotto uno studio sugli effetti dell'ombreggiamento nella varietà Parainema coltivata ad una altitudine di 1200 - 1300 m, sia sulle risposte fisiologiche della pianta a differenti livelli di radiazione solare che sulla qualità del caffè.

L'aspetto innovativo dello studio è stato l'applicazione per la prima volta alla coltura del caffè del sensore ottico Dualex scientific+™ (FORCE-A, Orsay, France) per misurare, in modo non distruttivo, la reazione della pianta a differenti livelli di ombreggiamento in termini di contenuto in clorofilla (legata all'attività fotosintetica), azoto (correlato al vigore della pianta) e in flavonoli (con funzione principalmente fotoprotettiva). Questi ultimi sono metaboliti secondari localizzati negli strati cellulari più esterni della foglia dove svolgono una funzione fotoprotettiva e antiossidante (Agati 2013, Rozema 1997).

Data la forte correlazione positiva dell'accumulo di flavonoli con l'intensità della luce, questi possono essere usati come indicatori dell'irraggiamento ricevuto dalle foglie e quindi della distribuzione della luce nella chioma (Goulas 2004). Come già sperimentato in differenti targets

(Agati 2012, Agati 2013, Tuccio 2016), la localizzazione superficiale dei flavonoli ne consente un'efficace misurazione non distruttiva mediante il metodo ottico di screening della fluorescenza della clorofilla.

Scopo dell'attività di ricerca

Il presente studio ha avuto come scopo quello di sperimentare un nuovo target di applicazione del sensore ottico Dualex scientific+™ (FORCE-A, Orsay, France) nei paesi in via di sviluppo. L'utilizzo di un metodo ottico innovativo specialmente per la mappatura e la caratterizzazione della variabilità spaziale delle piantagioni di caffè in Honduras è finalizzato ad una gestione più sostenibile della coltivazione ed al miglioramento del prodotto finale.

Obiettivi

- Applicazione di un metodo di screening innovativo per la determinazione di clorofilla, flavonoli e azoto fogliare nella coltivazione del caffè (focus sulla valutazione degli effetti dell'ombreggiamento sulla varietà Parainema);
- Valutazione non distruttiva della variabilità spaziale dei flavonoli delle foglie, con l'ausilio di un sensore portatile;
- Definizione di un nuovo approccio per la gestione sito-specifica della piantagione, mirato al miglioramento sostenibile del prodotto finale.

Materiali e Metodi

Il sensore ottico Dualex scientific+™ (FORCE-A, Orsay, France).

Il Dualex scientific+™ (Dx) è un sensore ottico portatile con una superficie di misura di 6 mm di diametro. Alimentato a batterie, comprende 5 sorgenti di eccitazione a LED con bande spettrali nell'UV-A, nel rosso, nel verde e due nel NIR e 1 detector a fotodiodo. I dati acquisiti nel tempo di circa 1 secondo a misura possono essere geolocalizzati grazie alla presenza di un gps interno, sono riportati in tempo reale su un display e sono memorizzati per essere scaricati per ulteriori analisi.

Il Dx misura la concentrazione della Clorofilla per trasmittanza differenziale e i composti polifenolici nell'epidermide delle foglie in base ad una doppia eccitazione della fluorescenza della clorofilla (nell'UV per i flavonoli, nel verde per gli antociani e nel rosso) e all'effetto screening dell'assorbanza della luce UV o verde da parte dell'epidermide della foglia che riduce la quantità di luce disponibile per l'eccitazione della fluorescenza della clorofilla. Il sensore trae vantaggio da un loop di feedback che equalizza il livello di fluorescenza indotta da una luce rossa di riferimento con quello indotto dalla luce UV o verde. Questo consente una misura rapida delle foglie anche in condizioni di campo. L'uso dei fotodiodi e della configurazione a leaf-clip rende lo strumento particolarmente 'user-friendly'.

I segnali di fluorescenza sono utilizzati per ricavare l'indice di flavonoli (FLAV), antociani e il nitrogen balance index (NBI) che è un indice di stima della nutrizione azotata della coltura e per trasmittanza differenziale si ricava un indice di clorofilla (CHL).

Nella presente attività di ricerca abbiamo utilizzato:

$$CHL = (T_{850} - T_{710})/T_{710}$$

$$FLAV = \log (FRF_R/FRF_{UV})$$

$$NBI = [(CHL_{AD} + CHL_{AB})/2]/[FLAV_{AD} + FLAV_{AB}]$$

Dove T_{850} e T_{710} rappresentano la trasmittanza fogliare rispettivamente a 850 e 710 nm; FRF è l'emissione di fluorescenza della clorofilla nel rosso lontano eccitata nel rosso (R, 650 nm) o nell'ultravioletto (UV, 375 nm); AD e AB si riferiscono ai lati della foglia rispettivamente superiore e inferiore.

Campo di comparazione del Centro di Ricerca Jose Angel Saavedra (Instituto Hondureño del Café).

Nell'ambito della prova di comparazione del Centro di Ricerca Jose Angel Saavedra (Instituto Hondureño del Café), 8 varietà di introgressione (Fig. 1) (Catimor/Sarchimor, ovvero incroci tra Ibrido di Timor X Caturra, Ibrido di Timor X Villa Sarchí, caratterizzati da elevata resistenza alla ruggine del caffè) sono state messe a confronto nelle stesse condizioni di campo e di gestione:

1. ICATU 75
2. PARAINEMA
3. H27
4. ICATU 48
5. ICATU 48/75
6. OBATA
7. T5296-184
8. LEMPIRA



Fig . 1. Piante di caffè misurate con il sensore ottico Dx: 1) ICATU 75, 2) PARAINEMA, 3) H27, 4) ICATU 48, 5) ICATU 48/75, 6) OBATA, 7) T5296-184, 8) LEMPIRA.

→ Le piante avevano due anni di età ed erano suddivise in 4 repliche a blocchi completamente randomizzati, per un totale di 32 piante a replica (Fig. 2).

→ Sono state effettuate 6 misure ottiche fogliari per replica, selezionando un ramo della parte basale del primo terzo della pianta a partire dall'alto e misurando una foglia della porzione mediana del ramo.

3	4	6	1
1	2	5	2
2	8	7	3
8	1	3	4
4	6	8	5
5	3	2	6
6	7	4	7
7	5	1	8

Fig. 2. Disegno sperimentale a blocchi completamente randomizzati della prova di comparazione presso il Centro di Ricerca Jose Angel Saavedra.

Vivaio

E' stato realizzato un confronto tra differenti livelli di esposizione della varietà Parainema e tra differenti varietà nelle stesse condizioni di pieno sole.

Le varietà utilizzate sono state:

1. Parainema
2. Icatu
3. Catuai

Sono state effettuate 365 misure Dx per la varietà Parainema confrontando una condizione di totale esposizione al sole (100% irraggiamento) con una di ombreggiamento (65% irraggiamento) (Fig. 3) e circa 300 misure per la varietà Parainema, Icatu e Catuai totalmente esposte al sole (100% irraggiamento).

Tutte le piante sono state misurate dopo 4 mesi che sono state trapiantate dal semenzaio in sacchetti di polietilene neri.

Per tutte le tesi è stata misurata la prima foglia completamente espansa a partire dall'apice, il substrato era composto da: 40% sabbia, 40% suolo vergine, 20% sostanza organica e l'ombreggiamento è stato realizzato con telo ombreggiante in polietilene.



Fig. 3. Varietà Parainema allevata in vivaio in condizioni di ombreggiamento (in alto) e pieno sole (in basso).

Piantagione

E' stato valutato l'effetto di differenti livelli di esposizione direttamente in piantagione sulla qualità del prodotto finale.

Le piantagioni prese in esame sono state:

1. Finca 'El Emperador' - Parainema 2 anni di età, 1310 m slm, 6000 m², 1 x 2 m
2. Finca 'San Fernando' - Parainema 3 anni di età, 1254 m slm, 8000 m², 1 x 1.5 m

→ Nella Finca 'El Emperador' sono state realizzate misure puntuali delle 4 piante (2 per filare) prossime e ombreggiate da alberi di banano e di piante totalmente esposte al sole.

Le due tesi, a maturazione delle drupe, sono state raccolte e processate separatamente.

→ Nella Finca 'San Fernando' è stata realizzata una mappatura dell'intera piantagione utilizzando una griglia di misura di 10x15 m e misurando per ogni punto della griglia 4 piante (2 per ciascun filare adiacente) georeferenziate.

A maturazione ottimale è stata condotta una raccolta di precisione selezionando drupe provenienti da piante con indice di flavonoli più alto, da quelle con indice più basso sulla base dell'analisi di k-means clustering. Sono state separate anche le drupe della parte Nord/Nord-Ovest della piantagione in forte pendenza (indipendentemente dal livello dell'indice di flavonoli), per escludere l'influenza di tale variabile sul risultato.

Per tutte le misure è stato selezionato un ramo della parte basale del primo terzo della pianta a partire dall'alto ed è stata misurata una foglia della porzione mediana del ramo.

Tutte le tesi di entrambe le piantagioni sono state sottoposte al medesimo processo di lavorazione post-raccolta:

- Sommersione in acqua per eliminare le drupe flottanti;
- Lavaggio ripetuto due volte con acqua pulita sempre eliminando le drupe flottanti;
- Spolpatura e fermentazione;
- Lavaggio in acqua pulita ed eliminazione dei chicchi flottanti;
- Disidratazione in essiccatoio.

Al termine della lavorazione, della durata di circa 3 settimane, i chicchi verdi verranno spediti per la tostatura e l'analisi sensoriale in Italia grazie alla collaborazione di Umami Area di Firenze che costituirà un panel professionale certificato Scae (Specialty Coffee Association of Europe).

Analisi statistica

I risultati sono stati analizzati statisticamente con SigmaPlot per Windows, versione 11.0 (Systat Software) e sono stati espressi come media $\pm$ deviazione standard; l'analisi geostatistica e la produzione delle mappe è stata condotta utilizzando System Surfer, versione 11.0.642 (Golden Software, Inc.) e OriginPro 2015 (OriginLab Corporation).

Risultati

Campo di comparazione del Centro di Ricerca Jose Angel Saavedra (Istituto Hondureño del Café)

Le misure ottiche effettuate nel campo di comparazione dell'Istituto Hondureño del Café non hanno evidenziato nel complesso significative differenze tra le varietà di introgressione che hanno attestato valori di indice CHL tra 41.4 e 48.1, indice FLAV tra 2.6 e 3.0 e indice NBI tra 14.3 e 18.8 (Fig. 4). ICATU 48 si è distinto maggiormente dalle altre tesi per l'indice CHL e FLAV rispettivamente più alto e più basso. Le differenze sono risultate statisticamente significative con OBATA per l'indice CHL e con H27 per l'indice FLAV. Di conseguenza, anche l'indice NBI, derivante dal rapporto CHL/FLAV, è risultato il più alto in ICATU 48 con differenze statisticamente significative rispetto a H27, OBATA e T5296-184.

Analizzando i dati a livello spaziale non è possibile distinguere le tesi tra di loro, ma si nota invece per tutti e tre gli indici la presenza di un pattern spaziale probabilmente dovuto alla naturale variabilità del terreno che ha influenzato maggiormente il contenuto in clorofilla, flavonoli e azoto delle piante rispetto alla variabilità dovuta al fatto che si trattava di differenti varietà (Fig. 5). A conferma di ciò anche la statistica non spaziale di tutte le foglie misurate ha evidenziato un coefficiente di variazione piuttosto basso per tutti e tre gli indici (CHL = 18%, FLAV = 11%, NBI = 26%). La varietà Parainema, oggetto principale di studio dell'attività di ricerca svolta in Honduras, non ha presentato differenze statisticamente significative rispetto alle altre varietà di introgressione per i parametri esaminati.

Sono in corso, da parte dell'Istituto Hondureño del Café, le analisi chimiche fogliari e del suolo per ciascuna replica dell'esperimento: i risultati potranno essere correlati con le misure ottiche effettuate e le informazioni acquisite con il metodo ottico di fluorescenza della clorofilla andranno ad integrare lo studio condotto sulla caratterizzazione di nuove varietà resistenti alle malattie attraverso un approccio di screening non-distruttivo ed altamente rappresentativo.

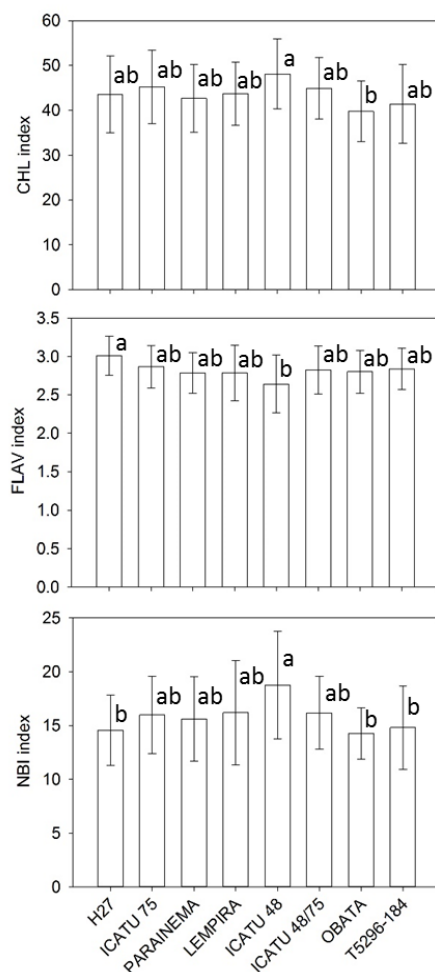


Fig. 4. Valori medi (192 foglie) degli indici di CHL (alto), FLAV (centro) e NBI (basso) delle varietà di caffè presenti nel campo di comparazione. Le barre di errore rappresentano la deviazione standard. Valori con lettere diverse presentano una differenza statisticamente significativa ($P < 0.05$) a seguito di analisi della varianza (ANOVA) con il metodo Holm-Sidak.

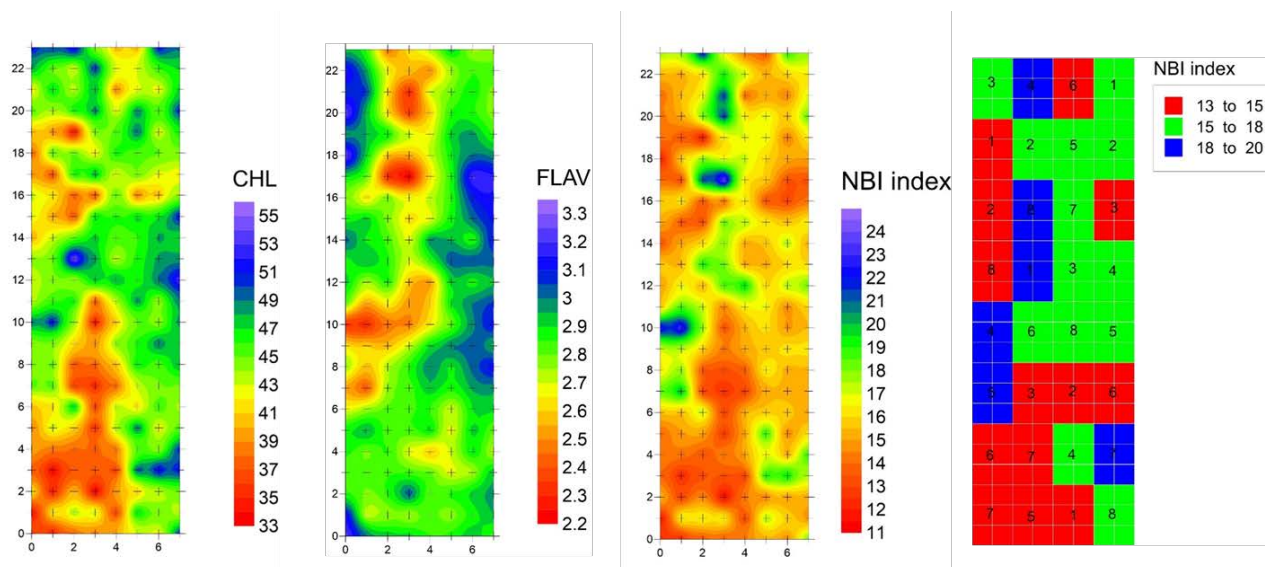


Fig. 5. Rappresentazione spaziale degli indici di CHL, FLAV e NBI delle piante misurate nel campo di comparazione del Centro di Ricerca Jose Angel Saavedra (Istituto Hondureño del Café). Le prime 3 mappe sono ottenute per interpolazione dei dati mediante analisi di kriging, nell'ultima a destra sono riportate esclusivamente le medie per ripetizione suddivise in classi di valore di indice NBI.

Vivaio: confronto due livelli di esposizione – differenti varietà

L'uso del telo ombreggiante in vivaio ha attenuato la radiazione del 35% determinando un valore medio di FLAV delle foglie di Parainema di 2.1 rispetto ad un valore di 3.3 in pieno sole (riduzione del 37%). Anche l'indice CHL è risultato significativamente influenzato dall'ombreggiamento, ma in modo opposto, con un valore di 35.1 rispetto a 21.6 in condizioni di esposizione totale (aumento del 63%) (Fig. 6).

Se si considera la variabilità tra le piante interna a ciascun gruppo, dato utile ai fini del futuro sviluppo delle piante acquistate per la realizzazione di una piantagione omogenea, in condizioni di ombreggiamento, il coefficiente di variazione è risultato moderato per tutti e tre gli indici (19% CHL e FLAV e 31% NBI), in pieno sole è aumentato per CHL (26%), si è ridotto notevolmente per FLAV (8%) ed è rimasto pressoché costante per NBI (32%), ma sempre attestandosi su livelli moderati.

Parainema è stata poi messa a confronto in condizioni di pieno sole con le varietà ICATU e CATUAI (Fig. 7). ICATU è una varietà moderatamente suscettibile alla ruggine del caffè ed è frutto di un incrocio realizzato in Brasile nel 1950 tra Robusta e Bourbon, a sua volta incrociato con Mundo Novo. E' una varietà di portamento alto, vigorosa e produttiva; CATUAI è una varietà derivante dall'incrocio tra Caturra x Mundo Novo priva della resistenza alla ruggine, è altamente produttiva e di qualità eccellente in tazza.

Parainema è risultata avere l'indice medio di CHL (21.1) e NBI (6.4) significativamente più basso e l'indice FLAV (3.3) significativamente più alto sia di ICATU (rispettivamente 22.9, 7.4 e 3.2) che di CATUAI (25.3, 7.9 e 3.3).

ICATU presenta la maggiore variabilità tra le piante in termini di CHL e NBI (rispettivamente CV = 34% e 45%, in CATUAI CV = 23% e 28% e in PARAINEMA CV = 27% e 32%) che sono gli indici che presentano maggiore variabilità, mentre il CV dell'indice FLAV si attesta su valori molto bassi pari all'11% in ICATU e 8% in CATUAI e PARAINEMA.

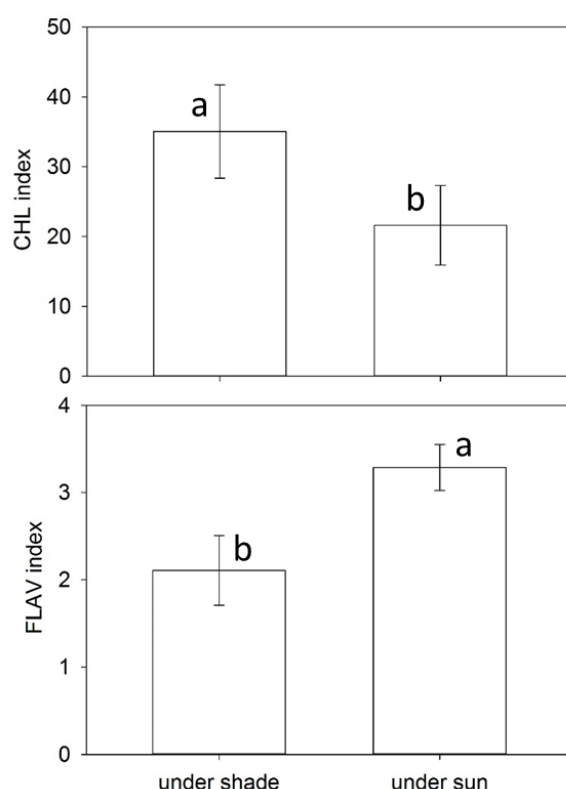


Fig. 6. Valori medi (365 foglie misurate per tesi) degli indici di CHL (in alto) e FLAV (in basso) della varietà Parainema allevata in vivaio in condizioni di ombreggiamento (under shade) e pieno sole (under sun). Le barre di errore rappresentano la deviazione standard. Lettere diverse indicano una differenza statisticamente significativa (T-test, $P < 0.001$).

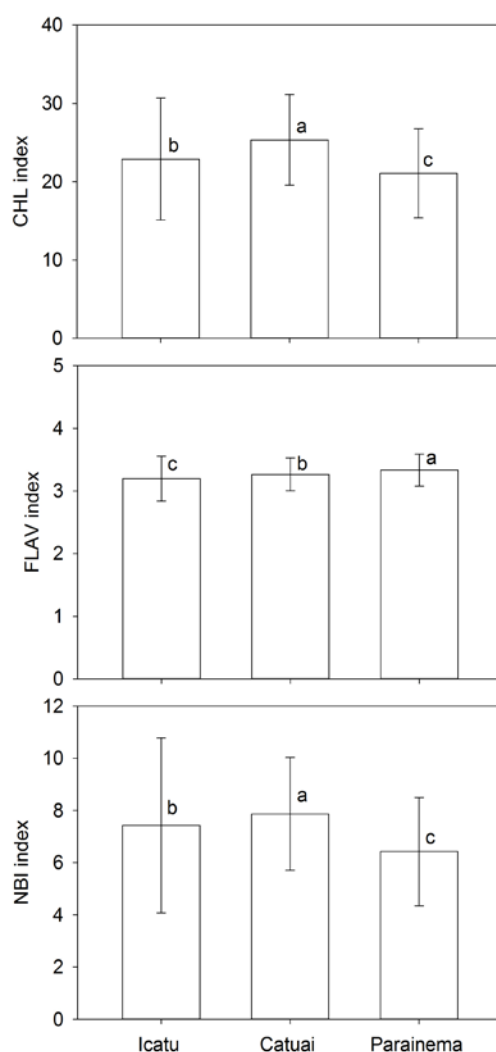


Fig. 7. Valori medi (circa 300 foglie) degli indici di CHL (in alto), FLAV (al centro) e NBI (in basso) delle varietà Icatu, Catuai e Parainema allevate in vivaio dopo 4 mesi dal trapianto in condizioni di pieno sole. Le barre di errore rappresentano la deviazione standard. Valori con lettere diverse indicano una differenza statisticamente significativa tra le varietà ($P < 0.05$) a seguito di analisi della varianza (ANOVA) con il metodo Holm-Sidak.

Piantagione: Effetto di differenti livelli di esposizione sulla qualità del prodotto finale

L'ombreggiamento naturale delle piante di banana comporta una significativa attenuazione della radiazione in misura maggiore sulle piante di caffè prossime ad esso. Tale attenuazione è risultata pari al 46% in uno studio condotto in Brasile (Pezzopane 2005) in condizioni simili a quelle della piantagione presa in esame. L'effetto dell'attenuazione della radiazione sulle piante per ombreggiamento dei banani nella Finca 'El Emperador' si è tradotto in un valore medio dell'indice FLAV delle piante di Parainema significativamente più basso (2.7) rispetto a quelle in pieno sole (2.9). CHL, a differenza delle prove in vivaio, è risultato più basso nelle piante ombreggiate (50.9) rispetto a quelle in pieno sole (55.2) (Fig. 8). La variabilità interna a ciascuna tesi è risultata molto bassa per entrambi gli indici ($CV < 13\%$).

Le analisi del suolo e l'analisi sensoriale del caffè raccolto separando le due tesi consentiranno di integrare i dati ricavati con le informazioni relative agli effetti dell'interazione piante-suolo sugli indici e dell'ombreggiamento sulla qualità del prodotto finale.

I valori di FLAV della Finca 'San Fernando' hanno evidenziato una moderata variabilità nel livello di esposizione delle piante (CV = 16%; spread = 85%). Dalla mappa in scala di colore (Fig. 9) si nota che tale variazione è risultata avere una struttura spaziale prevalentemente a 'macchia di leopardo' dovuta alla presenza di alberi di varie specie e senza un preciso schema d'impianto, con un effetto di ombreggiamento sulle piante variabile. Nella parte Sud/Sud-Est dell'appezzamento è possibile individuare invece un'area omogenea con indice FLAV maggiore di 2.5 che corrisponde ad una zona totalmente priva di alberi ombreggianti. Allo scopo di valutare gli effetti della differenza di ombreggiamento delle piante sulla produzione è stata separata dalla prova la parte settentrionale dell'appezzamento in forte pendenza ovvero la porzione in beige della mappa dell'altitudine (Fig. 10) per escludere il fattore d'influenza di questa variabile sul risultato finale e della parte pianeggiante, i valori interpolati delle mappe sono stati raggruppati in base al metodo del k-means clustering in due zone (Fig. 11) con più alto (aree di colore rosso) e più basso (aree di colore verde) FLAV (rispettivamente area con assenza e presenza di alberi ombreggianti).

Anche in questo caso, le analisi del suolo e l'analisi sensoriale del caffè raccolto in maniera separata che sono in corso d'opera, andranno ad integrare i risultati dell'esperimento.

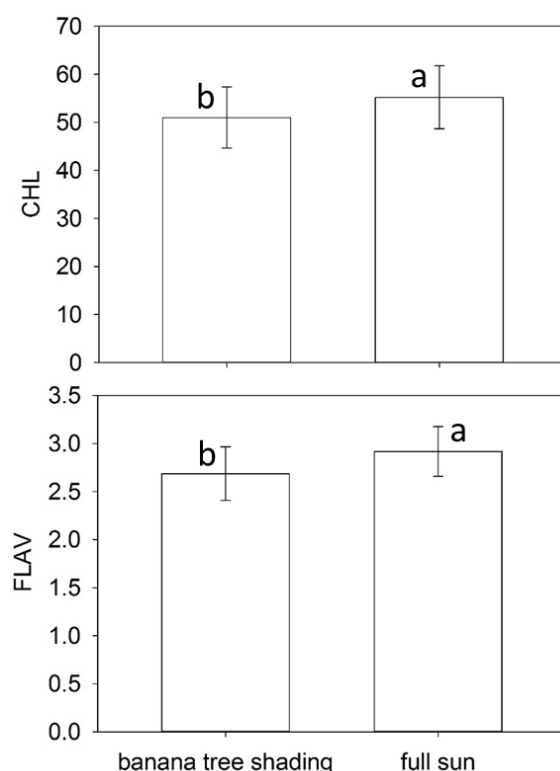


Fig. 8. Valori medi (circa 100 piante per tesi) dell'indice CHL e FLAV di piante ombreggiate dagli alberi di banana (banana tree shading) e in pieno sole (full sun) misurati direttamente in piantagione. Lettere diverse indicano una differenza statisticamente significativa (T-test, $P < 0.001$).

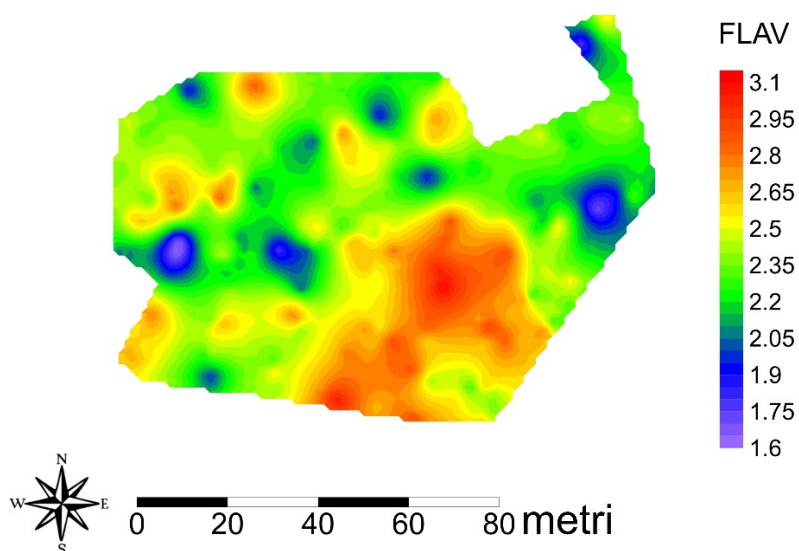


Fig. 9. Variazione spaziale dell'indice di flavonoli (FLAV) della Finca 'San Fernando'

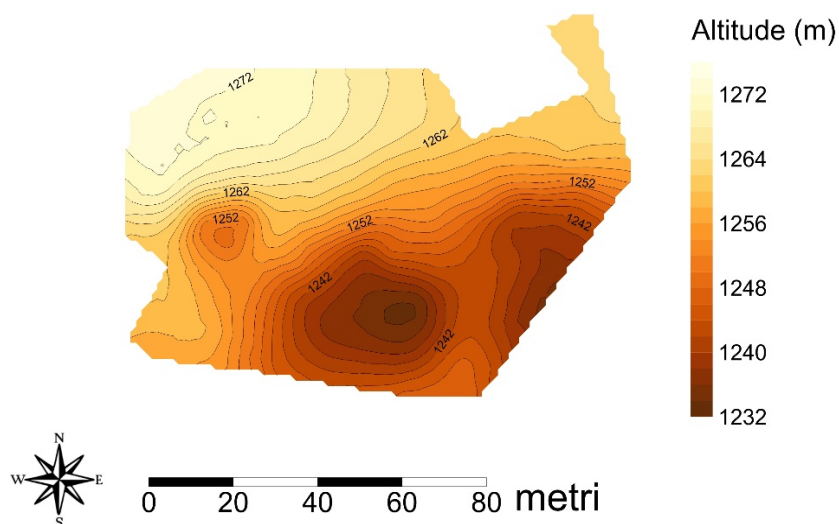


Fig. 10. Variazione spaziale dell'Altitudine (metri) della Finca 'San Fernando'

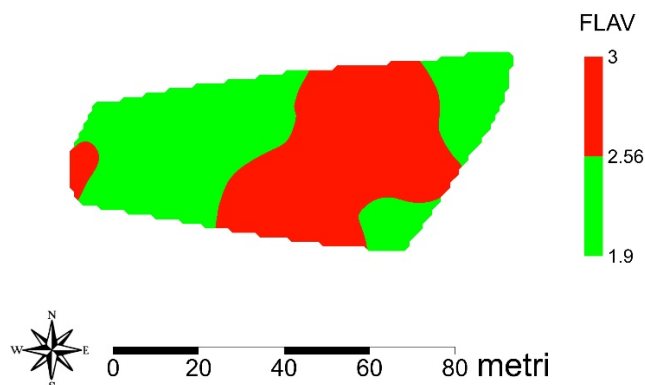


Fig. 11. Risultato del k-means clustering (soluzione a due zone) della porzione pianeggiante della Finca ‘San Fernando’ sulla base delle stime interpolate dell’indice FLAV. I differenti colori nella mappa indicano la localizzazione dei due cluster.

Analisi chimica e sensoriale delle tesi

La raccolta nelle piantagioni esaminate è stata condotta a maturazione ottimale delle drupe, separando le tesi in pieno sole da quelle ombreggiate. Una volta terminato il processo di lavorazione del caffè, i chicchi verdi saranno sottoposti ad analisi chimica e, una volta tostati, all’analisi sensoriale per valutare gli effetti del differente irraggiamento sulla qualità della tazza.

Discussione

L’ombreggiamento è una pratica solitamente utilizzata nella coltivazione del caffè per minimizzare i rischi climatici: gelate, eccesso di radiazione, temperature e venti eccessivi (Pezzopane 2005). Con i cambiamenti climatici in atto, la possibilità di avere un metodo non-distruttivo per la determinazione rapida dei flavonoli nelle piante di caffè risulta particolarmente vantaggioso. Ciò è dovuto alla elevata correlazione dell’indice FLAV con la concentrazione dei flavonoli nelle foglie, il cui accumulo è altamente regolato dalla pianta per contrastare i cambiamenti e gli stress (specialmente per eccesso di radiazione) e può essere considerato un indice di adattamento all’ambiente. Rispetto quindi ad una misura della radiazione solare, utilizzando l’indice FLAV è possibile conoscere in maniera diretta la risposta della pianta all’irraggiamento.

La varietà Parainema ha presentato una capacità di protezione delle foglie dalla radiazione luminosa simile alle altre varietà di introgressione esaminate (FLAV 2.6 – 3.0), confermando la comune reattività agli stress di queste varietà resistenti alla ruggine del caffè. Nelle stesse condizioni di irraggiamento (100% sole) le piante di Parainema molto giovani, a 4 mesi dal trapianto hanno accumulato un contenuto in flavonoli superiore (FLAV = 3.3) riducendo significativamente il contenuto in clorofilla (CHL = 21.6) rispetto a condizioni di ombreggiamento (CHL = 35.1). Non è stata indagata la presenza di una condizione di stress che potrebbe essere stata la causa dei valori inaspettatamente più bassi di CHL in condizioni di pieno sole, inducendo un’inibizione dell’attività fotosintetica a vantaggio dei processi metabolici secondari. Una pianta di caffè adulta, in condizioni di crescita ottimali, presenta valori di SPAD intorno a 60 (Reis 2009). Sulla base della ‘consensus calibration’ pubblicata da Cerovic *et al.*, 2012, questi valori corrispondono a 71 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ di clorofilla, pari ad un indice CHL di circa 70. I valori più bassi riscontrati in vivaio possono essere attribuiti alla

giovane età delle foglie: il contenuto in clorofilla infatti aumenta con l'espansione della foglia mantenendosi costante una volta raggiunta la maturità (Carelli 2006).

A differenza della prova presso l'IHcafe, dal confronto di Parainema con varietà di moderata suscettibilità (ICATU) e assenza di resistenza (CATUAI) alle malattie è emerso che le giovani piante in vivaio pur trovandosi nelle medesime condizioni hanno accumulato un contenuto in clorofilla e flavonoli significativamente diverso, aspetto che deve essere tenuto in considerazione per una crescita ottimale delle piante in vivaio mediante una gestione varietal-specifica.

Le misure effettuate in condizioni di pieno sole in entrambe le piantagioni di Parainema esaminate sono risultate simili per l'indice FLAV a quelle del campo di comparazione.

La mappatura dei flavonoli ha evidenziato la capacità dell'indice FLAV di distinguere zone ombreggiate da quelle in pieno sole quantificandone l'effetto nelle piante. Il livello di precisione e di rappresentatività della mappa deve essere migliorato attraverso l'uso di una griglia più stretta e comunque in accordo con la distribuzione degli alberi ombreggianti in piantagione.

Grazie alle analisi chimiche e sensoriali in corso d'opera sarà possibile valutare gli effetti dei differenti livelli di ombreggiamento in piantagione sul prodotto finale per una gestione mirata dell'irraggiamento della varietà Parainema ai fini del miglioramento della qualità in tazza.

Conclusioni

La varietà Parainema si sta ampiamente diffondendo in Honduras grazie alla sua elevata resistenza alle malattie a scapito però molto spesso della qualità in tazza. La gestione dell'irraggiamento, sia in vivaio che in piantagione, mediante l'uso di metodi ottici non distruttivi può favorire una migliore comprensione delle condizioni ottimali di crescita delle piante per una maggiore espressione della varietà ed una migliore qualità del prodotto finale.

Il metodo di screening della fluorescenza della clorofilla applicato all'intera piantagione grazie alle misure georeferenziate fornisce uno strumento utile alla caratterizzazione del terroir, alla zonazione e ad una gestione sito-specifica della piantagione per fornire un prodotto differenziato che può essere introdotto in differenti mercati (Banegas Romero 2009) con un approccio di precisione già ampiamente utilizzato nel settore del vino sulla base del concetto che la qualità si realizza in campo ed una volta ottenuta non resta che mantenerla in fase di post-raccolta.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato finanziato dal Programma Short Term Mobility 2016 del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) ed è stato realizzato grazie all'Ente di Ricerca ospitante CATIE (Centro Agronomico de Investigación y Enseñanza) Honduras. Le prove sono state realizzate presso la Cooperativa Café Capucas ed in particolare nelle piantagioni di Francis Melgar e Noe Fernando Portillo con l'ausilio degli agronomi Rodrigo Redes e Alex Omar Meléndez Andino rispettivamente per la parte di pre-raccolta e di raccolta/post-raccolta. Si ringrazia il Dr. Mauro Centritto (Ivalsa, Cnr - Firenze) per la concessione dell'uso del sensore Dualex, l'Istituto Hondureño del Café per il coinvolgimento nella prova di comparazione delle varietà resistenti alla ruggine del caffè e l'Associazione Umami Area che ha reso possibile tale collaborazione, seguendo ogni fase della ricerca, fornendo le proprie competenze e curando in modo particolare la valutazione sensoriale del caffè.

Bibliografia

- AGATI G., AZZARELLO, E., POLLASTRI, S., & TATTINI, M., 2012. *Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance*. Plant Science, 196.
- AGATI G., BRUNETTI, C., DI FERDINANDO, M., FERRINI, F., POLLASTRI, S., & TATTINI, M., 2013. *Functional roles of flavonoids in photoprotection: new evidence, lessons from the past*. Plant Physiology and Biochemistry, 72.
- ANZUETO F. R., 2013. *Variedades de café resistentes a la roya*. El Cafetal: la revista del caficultor (ANACAFE), 35.
- BANEGAS ROMERO K. Y., 2009. *Identificación de las fuentes de variación que tienen efecto sobre la calidad del café (coffea arabica) en los municipios de El Paraíso y Alauca, Honduras*.
- CARELLI M. L. C., FAHL, J. I., & RAMALHO, J. D. C., 2006. *Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants*. Brazilian Journal of Plant Physiology, 18(1).
- GOULAS Y., CEROVIC, Z. G., CARTELAT, A., & MOYA, I., 2004. *Dualox: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence*. Applied Optics, 43(23).
- HAGGAR J., BARRIOS, M., BOLAÑOS, M., MERLO, M., MORAGA, P., MUNGUÍA, R., ... & DE M. VIRGINIO, E., 2011. *Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America*. Agroforestry Systems, 82(3).
- MUSCHLER R. G., 2001. *Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica*. Agroforestry systems, 51(2).
- PENDERGRAST M., 2009. *Coffee: second to oil?* The tea & coffee trade journal, 181.4.
- PEZZOPANE J. R. M., PEDRO JÚNIOR, M. J., & GALLO, P. B., 2005. *Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana'Prata Anã*. Bragantia, 64(3).
- REIS A. R., FAVARIN, J. L., MALAVOLTA, E., JÚNIOR, J. L., & MORAES, M. F., 2009. *Photosynthesis, chlorophylls, and SPAD readings in coffee leaves in relation to nitrogen supply*. Communications in soil science and plant analysis, 40(9-10).
- ROZEMA J., VAN DE STAAL, J., BJÖRN, L. O., & CALDWELL, M., 1997. *UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation*. Trends in Ecology & Evolution, 12(1).
- SOMPORN C., KAMTUO, A., THEERAKULPISUT, P., & SIRIAMORNUN, S., 2011. *Effects of roasting degree on radical scavenging activity, phenolics and volatile compounds of Arabica coffee beans (Coffea arabica L. cv. Catimor)*. International Journal of Food Science & Technology, 46(11).
- TOLESSA K., D'HEER, J., DUCHATEAU, L., & BOECKX, P., 2016. *Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee*. Journal of the Science of Food and Agriculture.
- TUCCIO L., GRASSINI G., AGATI G., 2016. *Utilizzo di un indice ottico di flavonoli per determinare la variabilità spaziale dell'esposizione dei grappoli nella cv Vermentino*. Acta Italica Hortus, 19.
- VAAST P., BERTRAND, B., PERRIOT, J. J., GUYOT, B., & GENARD, M., 2006. *Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (Coffea arabica L.) under optimal conditions*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86(2).
- WOOD L., 2015. *Research and Markets: Coffee Market in Brazil 2015-2019 - High Demand for Arabica Coffee*. Technavio Elmhurst, USA.