



Dottorato di Ricerca in Scienze delle Produzioni Vegetali e Animali
PhD Programme in Plant and Animal Science
Codice del Corso di Dottorato/PhD code: DOT1335834
Coordinatore/Coordinator: Prof. Roberta BERNINI

Scheda delle attività svolte/Form activities carried out

Informazioni generali/General information

Ciclo/Cycle: XXXVI

Dottorando/PhD student: Linda Felici

Posizione/Position

Con borsa di studio/With scholarship

Senza borsa di studio/Without scholarship

Riservata a dipendenti di enti di ricerca/Reserved for research center employees

Dottorato industriale/Industrial PhD

Altra tipologia/Other typology

Tutor/Supervisor: Prof. Giorgio Mariano Balestra

Affiliazione/Affiliation: Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

Co-tutor: Prof. Francesco Sestili

Affiliazione/Affiliation: Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

Co-tutor: Dott.ssa Sara Francesconi

Affiliazione/Affiliation: Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

Attività di ricerca/Research activity

Sede prevalente dell'attività di ricerca/Main place of research: Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Via San Camillo de Lellis SNC Viterbo

Breve descrizione dell'attività di ricerca/Short description of the research activity
(Max 5000 caratteri, inclusi gli spazi/Max 5000 characters, included spaces)

La fusariosi della spiga (Fusarium Head Blight o FHB) è una delle più importanti malattie dei cereali. E' causata da diverse specie fungine, tra cui *F. graminearum* e *F. avenaceum*, che riducono la resa e contaminano le cariossidi con micotossine, come tricoteceni ed enniatine. I cereali pigmentati sono ricchi di antociani (composti fenolici) nel pericarpo (genotipi a pericarpo porpora) o nell'aleurone (genotipi con aleurone blu). E' noto che diversi polifenoli hanno un ruolo nel contrasto a stress abiotici e biotici nelle piante e nella riduzione dell'accumulo di micotossine. L'attività di ricerca dei tre anni è stata strutturata in 4 parti principali. Scopo della prima parte è stato studiare, tramite prove *in vitro*, l'attività antimicrobica e antimicotossigena di quattro composti antocianici (cianidina, delfinidina, cianidina 3-O-glucoside o C3G, e delfinidina 3-O-glucoside o D3G) usando come modello *F. avenaceum*, in grado di crescere e produrre micotossine (enniatine) a basso pH (condizione in cui gli antociani sono più stabili). I risultati hanno evidenziato come i composti testati portino ad una riduzione della produzione di enniatine dal 20-30% (cianidina e D3G) al 60-80% (delfinidina e C3G). In particolare la C3G ha un effetto dose dipendente: l'aumento della concentrazione comporta un aumento della biomassa (g) e una riduzione delle enniatine prodotte (ug/g di biomassa). Tramite analisi di espressione genica differenziale è stato evidenziato come



la delfinidina agisca riducendo l'espressione di geni chiave per la produzione di enniatine (ESYN e KIVR) e relativi alla risposta allo stress ossidativo, mentre il trattamento con C3G non ha comportato alcuna differenza di espressione dei geni considerati, suggerendo un'azione a livello post-trascrizionale. Nella seconda e terza parte sono state effettuate delle prove di infezione artificiale con *F. graminearum* in tre genotipi di frumento duro: Svevo (susceptibile a FHB), DBC-480 (resistente a FHB) e Purple durum (pericarpo porpora a suscettibilità ignota). 18 parametri morfo-fisiologici sono stati misurati e correlati a 4 parametri dell'infezione al fine di individuare parametri di rapido e facile utilizzo che consentano di monitorare l'infezione e le alterazioni polifenoliche, considerando l'effetto del genotipo. Parametri come la temperatura della spiga e della foglia o gli indici misurati dallo strumento ottico Dualex® (antociani, flavonoidi, clorofilla e NBI) non sono stati influenzati dall'infezione o dalla resistenza, mentre il saggio di Folin-Ciocalteu ha evidenziato come ci sia una stretta correlazione tra contenuto di fenoli totali e i parametri di malattia, sia nel genotipo pigmentato (che si è rivelato essere suscettibile a FHB) che negli altri. Il pathway di produzione dei polifenoli è stato inoltre studiato in modo approfondito nelle tre varietà sopra citate in una fase precoce (2 day post infection, DPI) e una tardiva (21 DPI) dell'infezione, analizzando l'espressione di geni chiave e la quantificazione dei principali metaboliti. Mentre nella fase precoce si evidenzia una maggiore attivazione di tutto il pathway nel genotipo resistente DBC-480, nella fase tardiva si sottolinea una sovra-espressione dei geni fenil-alanina ammonia liasi (PAL) e la cinnamato-4-idrossilasi (C4H) in Svevo, e dei geni che codificano per la calcone sintasi (CHS) e "purple pericarp MYB 1" (PPM1) in Purple durum. Quest'ultimo gene codifica per un fattore di trascrizione essenziale per la colorazione porpora della cariosside e la sua attivazione è confermata da una maggiore quantità di antociani accumulati in fase tardiva da Purple durum in risposta all'infezione, in particolare la cianidina, mentre la cianidina 3-(6" malonylglucoside), seppur abbondantemente presente, non presenta una differenza significativa con il controllo non infetto. Nella quarta ed ultima parte è stata caratterizzata la resistenza/suscettibilità di 5 genotipi pigmentati di frumento tenero: 3 varietà porpora (Vanilnoir, Indigo e Rosso) e 2 blu (Skorpion e Purendo), confrontati con un controllo suscettibile (Rebelde) e a uno resistente (Sumai 3). Dai risultati, Vanilnoir risulta resistente e Rosso molto suscettibile, quindi vengono scelti per la successiva analisi trascrittomica. Dall'analisi della "gene ontology" dei geni differenzialmente espressi (DEGs), i maggiori processi biologici coinvolti nella risposta all'infezione sono quelli legati all'attività della PAL e ai processi di detossificazione contro agenti xenobiotici e stress ossidativi, particolarmente sovraespressi nelle varietà resistenti (Sumai3 e Vanilnoir), mentre Rosso evidenzia una sotto-espressione dei processi di mitosi e Rebelde della sintesi della cellulosa. Inoltre, l'analisi dei DEGs in comune tra Sumai3 e Vanilnoir suggerisce un coinvolgimento della PTI nel meccanismo di resistenza di Vanilnoir e una sovraespressione di ANR [Anthocyanidin reductase ((2S)-flavan-3-ol-forming)] che usa le antocianidine come substrato per la sintesi di flavan-3-oli. In conclusione, la pigmentazione della cariosside e la resistenza alla fusariosi non sembrano essere direttamente correlate, sebbene ci siano varietà pigmentate resistenti, i cui meccanismi sono da approfondire.

Publicazioni scientifiche/Scientific publications
(Indicare tutte le informazioni bibliografiche dei lavori pubblicati e sottomessi/Indicate all references of published and submitted papers)

- **Felici L., Francesconi S., Sestili F., Balestra G.M.** «Screening for rapid and easy-to-use parameters for Fusarium Head Blight phenotyping in durum wheat by multivariate analysis» **Submitted to Journal of Plant Pathology**

Comunicazioni a congressi/Conferences communications
(Specificare se comunicazioni poster o comunicazioni orali/Specify if poster or oral communications)

Poster:

- **Felici L., A. Goubet, S. Bernillon, N. Gallegos, S. Francesconi, F. Sestili, G.M. Balestra, F. Richard-Forget, N. Ponts,** "Whole genome sequencing of *Fusarium nodosum*, a new producer of type B trichothecenes", XXVII Congress of the Italian Phytopathological Society (SIPav), 18-20 September 2023, Napoli. (POSTER)



- **Felici L.**, Miccoli C., Francesconi S., Turco S., Sestili F., Palombieri S., Balestra G.M. "Resistance and response to Fusarium Head Blight disease in pigmented wheat genotypes", 12th International Congress of Plant Pathology (ICPP), 20-25 August 2023, Lyon. (POSTER)
 - C. Miccoli, **L. Felici**, S. Francesconi, F. Sestili, M. Vitali, G.M. Balestra. "Investigation on high polyphenolic wheat genotypes resistance to Fusarium Head Blight (FHB)", 12th International Congress of Plant Pathology (ICPP), 20-25 August 2023, Lyon. (POSTER)
 - **Felici L.**, Francesconi S., Sestili F., Balestra G.M. "Disease Resistance And Phenolic Metabolism Of A Purple Durum Wheat Genotype During Fusarium Head Blight Infection", II International Wheat Congress, 10-15 September 2023, Beijing. (POSTER)
 - **Felici L.**, Sestili F., Vitali M., De Vita P., Palombieri S., Balestra G.M. "MULTIFRU project: Multifunctional Valorization of Pigmented Wheat Varieties for production of Flavonoid Rich Foods and Nano-Agrochemicals for Sustainable Wheat Protection", III Convegno AISSA#under40, 14-15 July 2022, Bolzano. (POSTER)
 - **Felici L.**, Francesconi S., Balestra G.M. "First report of *F. nodosum* (L. Lombard & Crous) on durum wheat (*Triticum turgidum* subsp durum) in Italy", XXVI Congress of the Italian Phytopathological Society (SIPav), 14-16 September 2021, Verona. (POSTER) Pubblicato in: Abstracts of presentations at the XXVII Congress of the Italian Phytopathological Society (SIPav). *J Plant Pathol* 104, 1207–1280 (2022). <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01234-8>
 - **Felici L.**, Francesconi S., Balestra G.M. "Characterization of different FHB causal agents: fitness, virulence and effect of infection timing on infection process", II Convegno AISSA#under40, 30 June – 1 July 2021, Sassari. (POSTER)
- Comunicazioni orali:**
- **Felici L.**, C. Miccoli, S. Turco, F. Castellani, L. Narduzzi, S. Francesconi, A. M. Garcia-Campaña, S. Palombieri, F. Sestili, M. Vitali, G.M. Balestra, "High polyphenolic wheat genotypes: a study on Fusarium Head Blight (FHB) resistance", XXVII Congress of the Italian Phytopathological Society (SIPav), 18-20 September 2023, Napoli. (COMUNICAZIONE ORALE)
 - **Felici L.**, V. Atanasova, N. Ponts, C. Ducos, S. Francesconi, F. Sestili, G.M. Balestra, F. Richard-Forget "Effect of anthocyanins on the production of mycotoxins by *Fusarium* spp.", 16th European Fusarium Seminar, 12-15 June 2023, Roma. (COMUNICAZIONE ORALE)
 - Miccoli C., **L. Felici**, S. Turco, S. Francesconi, F. Sestili, M. Vitali and G. M. Balestra, "Mechanisms of resistance to FHB in wheat lines with high polyphenolic content", 16th European Fusarium Seminar, 12-15 June 2023, Roma. (COMUNICAZIONE ORALE)
 - **Felici L.**, C. Miccoli, S. Francesconi, F. Sestili, M. Vitali, G.M. Balestra. "Pigmented wheat genotypes as innovative tools against Fusarium



	Head Blight disease”, XXVII Congress of the Italian Phytopathological Society (SIPaV), 21-23 September 2023, Palermo. (COMUNICAZIONE ORALE) Pubblicato in: Abstracts of presentations at the XXVI Congress of the Italian Phytopathological Society (SIPaV). J Plant Pathol 103, 1087–1134 (2021). https://doi.org/10.1007/s42161-021-00942-x		
Brevetti/Patents (Specificare/Specify)	/		
Altre tipologie di pubblicazioni/Other publications (Specificare/Specify)	Notte dei ricercatori, 24 settembre 2021, Viterbo (UNITUS) – Partecipazione con comunicazione orale nella sezione “La ricerca in pillole” Felici L., Balestra GM. “Frumento viola e blu: nuova fonte di polifenoli e di resistenza contro le malattie delle piante”		
Attività formative/Training activities (Elencare tutte le principali attività svolte e, per ciascuna di esse, indicare i dati richiesti/List the main activities and for each specify of them the data)			
Courses, workshops, schools	Title	Location	Date, hours or days
Corso	Micologia generale e filogenesi – Prof. Selbman	Viterbo (UNITUS)	Marzo – giugno 2021 (6 CFU)
Corso	Bioinformatics – Dr. Turco	Viterbo (UNITUS)	Marzo – giugno 2021 (6 CFU)
Corso	Statistica di base con R – Dr. Bellisario	Viterbo (UNITUS)	24-27 maggio 2021 (1 CFU)
Corso	Disegni sperimentali – Prof. Pagnotta	Viterbo (UNITUS)	14 – 16 giugno 2021 (1 CFU)
Corso	Meccanismi di difesa delle piante – Prof.ssa Caruso	Viterbo (UNITUS)	22 -25 giugno 2021 (1 CFU)
Corso	Comunicazione della ricerca scientifica – Prof.ssa Mangano	Viterbo (UNITUS)	5 -7 luglio 2021 (2 CFU)
Corso	Corso teorico – pratico “Trascrittoma: dal disegno sperimentale all'interpretazione biologica del dato”	Società italiana di genetica agraria (SIGA) (online)	20 – 22/09/2021 (18 hours)
workshop	Workshop of PRIMA projects IMPRESA and EXPLOWHEAT “Facing abiotic stresses affecting durum wheat across the Mediterranean basin”	Viterbo (UNITUS)	21-22/02/ 2022
seminario	Seminario: “Managing of	Viterbo (UNITUS)	25/05/2022



	copper resistant plant pathogenic bacteria”- Prof. J.B Jones		
seminario	Seminario: “Understanding the plant-bacteria interaction through genomics” - Prof. J.B Jones	Viterbo (UNITUS)	26/05/2022
workshop	“1st Workshop Innovative approaches in sustainable production and protection of Mediterranean strategic Crops”	Viterbo (UNITUS)	24/05/2022
workshop	“12° Journée des Doctorants SPE”	INRAE Bordeaux Nouvelle – Aquitaine (Francia)	22-23/06/2022
corso	Corso sulla sicurezza	Viterbo (UNITUS)	23/02/23-3/03/23 (16 hours)
seminario	Seminario: “Serbian Entomofauna: what we find and what we eat?” Prof. Miloš Petrović	Viterbo (UNITUS)	27/02/2023
corso	Corso Europrogettazione – Dr. Romanelli	Viterbo (UNITUS)	17-24-31/03/23 (1CFU)
seminario	Seminario: Titolo: Modelling Pest And Diseases: An Overview From Theoretical To Practical Aspects Relatore: Dr. Luca ROSSINI	Viterbo (UNITUS)	19/04/2023
Festival	Festival della Ricerca scientifica	Trieste	22-23/09/2023
Partecipazione a convegni	Titolo/Title	Località/Location	Data, ore o giorni
Convegno	15° European Fusarium Seminar 2021	Gent (Belgio) evento online	31 maggio -1 giugno 2021
Convegno	Convegno AISSA#UNDER40	Sassari (evento online)	1-2 luglio 2021



Convegno	XXVI Congress of the Italian Phytopathological Society	Verona (evento online)	15 - 17 Settembre 2021
Convegno	III Convegno AISSA#under40,	Bolzano	14-15 luglio 2022
Convegno	II International Wheat Congress	Beijing, Cina (online)	11-15 settembre 2022
Convegno*	XXVII convegno nazionale Società italiana di Patologia Vegetale (SIPaV) *Premio Young Researcher in Training	Palermo	21-23 settembre 2022
Convegno	16° European Fusarium Seminar 2023	Roma	12-15/06/23
Convegno	7° International Congress Of Plant Pathology - IPPC 2023	Lione (Francia)	20-25/08/23
Convegno	4th European conference on <i>Xylella fastidiosa</i> : researching sustainable solutions	Lione (Francia)	20/08/23
Convegno	XXVIII convegno nazionale Società italiana di Patologia Vegetale (SIPaV) 2023	Napoli	18-20/09/23
Convegno	NanoInnovation 2023	Roma	21-22/09/23
Stage in Italia e/o all'estero/Internship in Italy and/or abroad (Indicare la località e descrivere brevemente il tipo di attività svolta/Indicate the location and describe briefly the activity carried out)	Stage all'estero sulla tematica: "Studio dell'effetto degli antociani e di estratti di crusca ricchi di antociani sulla produzione di micotossine in alcuni agenti della fusariosi della spiga"	INRAE MycSA - Bordeaux-Aquitaine (Francia)	06/06/2022-21/12/2022 (7 mesi)
Altre attività formative/Further educational activities (Indicare la località e descrivere brevemente il tipo di attività svolta/Indicate the location and describe briefly the activity carried out)	Coinvolgimento nel progetto di ricerca "MULTIFRU - Multifunctional Valorization of Pigmented Wheat Varieties for production of Flavonoid Rich Foods and Nano-Agrochemicals for Sustainable Wheat Protection"	Viterbo	21/07/2021 – in corso



Attività di didattica integrativa/Teaching activity (Elencare tutte le attività svolte e, per ognuna, indicare i dati richiesti/List all activities and specify for each of them the data)			
Attività di tutoraggio e didattico-integrative/Tutorship activities	Titolo/Title	Località/Location	Data/Date
Correlatore per l'elaborato finale	"I principali virus fitopatogeni delle colture siciliane e uso delle colture in vitro per il loro contrasto" – Alessandro Domenico Graci	Viterbo	21/10/21
Correlatore per l'elaborato finale	"Quadro epidemiologico sulle patologie Dell'olivo in Spagna, Italia e Grecia" – Studente: Luca Armadoro	Viterbo	14/12/2021
Correlatore per l'elaborato finale	"Agenti di biocontrollo della fusariosi della spiga del grano" – Mattia Rosario Picciolo (Elaborato finale L-25 SAA: 10/11/2021);	Viterbo	10/11/2021
Supporto esami	Supporto esami del Corso di Patologia vegetale – Corso di Laurea in Scienze Agrarie e Ambientali L25	Viterbo	10/02/2022
Esercitazione	Esercitazione in laboratorio Corso di Patologia Vegetale Corso di Laurea in Scienze Agrarie e Ambientali L25	Viterbo	05/04/2022
Esercitazione	Esercitazione in laboratorio Corso di Patologia Vegetale Corso di Laurea in Scienze Agrarie e Ambientali L25	Viterbo	26/04/2022
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	"Ciclo della malattia e meccanismi di difesa delle piante" all'interno dell'insegnamento "Protezione delle Sementi e dei Vivai" - Corso di Laurea triennale professionalizzante L-25 Produzione Sementiera e Vivaismo	UNITUS Viterbo	DAFNE 14/03/2022
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	"I virus fitopatogeni" all'interno dell'insegnamento "Protezione delle Sementi e dei Vivai" - Corso di Laurea triennale professionalizzante L-25 Produzione Sementiera e Vivaismo	UNITUS Viterbo	DAFNE 21/03/2022
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	"Principi di lotta delle malattie delle piante" all'interno dell'insegnamento "Protezione delle Sementi e dei Vivai" - Corso di Laurea triennale professionalizzante	UNITUS Viterbo	DAFNE 2/05/2022



location and the date)	L-25 Produzione Sementiera e Vivaismo		
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	“Patologia vegetale applicata al settore sementiero-vivaistico” all’interno dell’insegnamento “Protezione delle Sementi e dei Vivai” - Corso di Laurea triennale professionalizzante L-25 Produzione Sementiera e Vivaismo	UNITUS DAFNE Viterbo	3/05/2022
Orientamento	Orientamento a IIS “Cardarelli” Tarquinia	Tarquinia	12/02/23
Orientamento	Orientamento a IIS “Buratti” Viterbo	Viterbo	28/02/23
Esercitazione	Esercitazione in laboratorio Corso di Patologia Vegetale Corso di Laurea in Scienze Agrarie e Ambientali L25	Viterbo	15/05/23
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	“Principi di lotta delle malattie delle piante” all’interno dell’insegnamento “Protezione delle Sementi e dei Vivai” - Corso di Laurea triennale professionalizzante L-25 Produzione Sementiera e Vivaismo	Viterbo	19/05/23
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	“Patologia vegetale applicata al settore sementiero-vivaistico” all’interno dell’insegnamento “Protezione delle Sementi e dei Vivai” - Corso di Laurea triennale professionalizzante L-25 Produzione Sementiera e Vivaismo	Viterbo	22/05/2023
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	“Patologia vegetale speciale: la peronospora e la fusariosi della spiga” all’interno dell’insegnamento “Protezione delle colture agrarie” - Corso di Laurea triennale L-25 Scienze Agrarie e Ambientali	Viterbo	29/05/2023
Correlatore Tesi Magistrale	«Valutazione della resistenza alla fusariosi della spiga in genotipi pigmentati di frumento tenero» – Luca Donnini (14/07/23)	Viterbo	14/07/23
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	Seminario “La fusariosi della spiga e il mal del piede” all’interno dell’insegnamento “Laboratorio di produzione sementiera delle colture	UNITUS DAFNE Viterbo	10/10/23



location and the date)	erbacee” - Corso di Laurea triennale professionalizzante L-25 Produzione Sementiera e Vivaismo		
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	Seminario “Le malattie dei cereali” all’interno dell’insegnamento “Laboratorio di produzione sementiera delle colture erbacee” - Corso di Laurea triennale professionalizzante L-25 Produzione Sementiera e Vivaismo	UNITUS DAFNE Viterbo	17/10/23
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	Seminario “Tecniche di laboratorio in microbiologia fitopatologica” all’interno dell’insegnamento “Laboratorio di produzione sementiera delle colture erbacee” - Corso di Laurea triennale professionalizzante L-25 Produzione Sementiera e Vivaismo	UNITUS DAFNE Viterbo	24/10/23
Seminari in corsi di laurea/Seminars in master degrees (Indicare il titolo, la località, la data/Specify the title, the location and the date)	Seminario “Principi di statistica descrittiva” all’interno dell’insegnamento “Laboratorio di produzione sementiera delle colture erbacee” - Corso di Laurea triennale professionalizzante L-25 Produzione Sementiera e Vivaismo	UNITUS DAFNE Viterbo	7/11/23
Data/Date 25/01/24			
Firma Dottorando/Signature PhD student		<i>Linda Felici</i>	
Firma Tutor/Signature Supervisors			
Prof: G.M. Balestra <i>G. M. Balestra</i>			
Prof. F. Sestili <i>F. Sestili</i>			
Dr. S. Francesconi <i>S. Francesconi</i>			