

Programma Operativo Nazionale 2014-2020
Dottorati di ricerca su tematiche dell'innovazione e green
D.M. n. 1061 del 10 agosto 2021

Università degli Studi di Napoli Federico II
Dottorato di Ricerca in Information Technology and Electrical Engineering
XXXVII CICLO
TEMATICHE GREEN (AZIONE IV.5)

BORSA N. 7 - Dottoranda FRANCESCA PAGANO

Titolo del progetto:

“Studio dell’interazione tra pilota e un team di droni in un contesto di autonomia condivisa applicato all’agricoltura di precisione”

SETTORE SNSI: Industria intelligente e sostenibile, energia e ambiente

SETTORE PNR: Prodotti Alimentari, Bioeconomia, Risorse Naturali, Agricoltura, Ambiente

a. Motivazioni

Nell’ambito di questo progetto di ricerca si intendono approfondire gli aspetti legati al controllo condiviso e all’interazione tra un drone pilotato (da remoto o di persona) e un gruppo di droni a guida autonoma. Verrà indagata l’interazione tra i membri del team visto come un sistema multi-agente in cui i componenti (robot eterogenei) possono cooperare per l’esecuzione di un compito comune o operare con differenti livelli di autonomia a seconda delle loro caratteristiche, delle condizioni operative e dello scenario. L’applicazione del progetto di ricerca si sposa perfettamente con le problematiche legate all’agricoltura di precisione, quali il monitoraggio della coltura, l’individuazione di agenti patogeni in piante o arbusti, l’individuazione e l’allentamento di animali selvatici dalle coltivazioni, il rilascio di prodotti biochimici, il controllo del terreno e dell’irrigazione, la gestione e il controllo del pascolo. La collaborazione tra uomo e sistema potrà essere ottimizzata sfruttando un’interazione che potrà avvenire a vari livelli che vanno dal fornire consapevolezza dello scenario fino alla possibilità di intervento diretto.

L’agricoltura di precisione è una particolare e innovativa strategia gestionale delle coltivazioni che utilizza tecnologie all’avanguardia e ha lo scopo di eseguire interventi agronomici mirati alle effettive esigenze delle colture, stabilite sulla base delle caratteristiche biochimiche e fisiche del suolo. L’agricoltura di precisione si inserisce in un panorama sociale ed economico in cui il miglioramento dell’efficienza deve andare di pari passo con la sostenibilità ambientale ed economica. L’impiego delle moderne tecnologie di analisi ed intervento rese possibili mediante l’uso di droni offre la possibilità di ridurre il consumo idrico e di pesticidi calibrando i quantitativi in base alle effettive necessità biochimiche e fisiche del suolo e delle colture. L’estensione delle superfici da trattare costituisce però una delle principali barriere all’impiego dei droni in quanto l’attuale paradigma un pilota – un drone implica costi operativi difficilmente sostenibili in un contesto di competitività e sostenibilità economica di lungo periodo.

Molte sono ad oggi le applicazioni di droni, o “*unmanned aerial vehicles*” (UAV), che sfruttano sensori remoti per compiti di monitoraggio e mappatura oltre che di diffusione di prodotti chimici [1]. Alcuni studi hanno già affrontato l’utilizzo di sciami di droni per l’identificazione di piante

infestanti [2] e piccole flotte di UAV omogenei per l'acquisizione di immagini [3]. L'uso coordinato di più droni in agricoltura rimane una sfida cruciale [4], il pieno potenziale dei droni non è ancora stato sfruttato e spesso si rende necessaria la presenza di un pilota qualificato per ogni drone. La ricerca dovrà quindi promuovere la transizione verso un paradigma "uno a molti". In [5] viene ad esempio affrontato il problema del controllo tele-operato di UAV multipli da parte di un unico pilota per l'esecuzione di compiti di telerilevamento da applicare all'agricoltura di precisione.

Oltre ai problemi già trattati in letteratura se ne possono poi aggiungere di nuovi, le flotte di droni potrebbero essere infatti sfruttate in ambito agricolo anche per compiti di sorveglianza, individuando e respingendo animali indesiderati come i cinghiali, che recentemente stanno causando ingenti danni alle coltivazioni nostrane e non solo. Infine, la transizione da flotte omogenee a team di droni eterogenei, dotati ciascuno di specifiche capacità di attuazione o di rilevamento, renderebbe possibili missioni più complesse e l'esecuzione congiunta di compiti passivi (telerilevamento) e attivi come il prelievo di campioni.

La presente proposta progettuale di dottorato si inquadra nell'area "Industria intelligente e sostenibile, energia e ambiente" della Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI). Il Programma nazionale per la ricerca (PNR) individua la robotica come un ambito di ricerca con ricadute in molteplici campi. In particolare, l'Articolazione 1 (Miglioramento sostenibile delle produzioni primarie) focalizza l'attenzione sull'importanza della robotica nell'allevamento vegetale e animale nei settori biotecnologico e agro-tecnologico, che incrementino e valorizzino in maniera sostenibile le potenzialità produttive di piante e animali di interesse agrario. Inoltre, la SNSI delinea tra le traiettorie tecnologiche di sviluppo a priorità nazionale quella nell'ambito della linea "5.4.3 Salute, alimentazione, qualità della vita" che vede una sempre maggiore attenzione alla tracciabilità e alla sicurezza alimentare, nonché alle produzioni biologiche che hanno un minore impatto sui diversi elementi dell'ecosistema: suolo, acqua, biodiversità, paesaggio, atmosfera ed energia. Inoltre, la linea "5.5.3 Salute, alimentazione, qualità della vita: Traiettorie tecnologiche di sviluppo a priorità nazionale" individua lo sviluppo dell'agricoltura di precisione e l'agricoltura del futuro come prioritari.

b. Obiettivi

L'obiettivo del percorso di dottorato sarà quello di approfondire le tematiche sopra descritte e apportare un contributo scientifico che concorra all'avanzamento dello stato dell'arte corrente. L'obiettivo ultimo è quindi quello di fornire nuove soluzioni e metodologie che favoriscano un maggiore impiego dei team di droni nell'ambito dell'agricoltura di precisione e dell'allevamento sostenibile. Al fine di raggiungere quest'obiettivo, occorrerà raggiungere dei risultati intermedi quali: (i) una migliore comprensione delle problematiche agricole e delle soluzioni tecnologiche attualmente in uso; (ii) l'ampliamento delle conoscenze teoriche e metodologiche nell'ambito dell'Information Technology (IT). Ulteriore obiettivo sarà quello di favorire il trasferimento tecnologico dal mondo accademico a quello aziendale. Il periodo all'estero avrà invece come obiettivo una maggiore condivisione di conoscenza a livello internazionale e la cooperazione con un laboratorio di ricerca estero nell'ambito di un progetto comune.

c. Cronoprogramma

Le metodologie impiegate per conseguire gli obiettivi di cui alla sezione precedente e scaturiti dalle motivazioni sopra esposte verranno di seguito analizzate. In prima battuta, lo studio verrà condotto dal punto di vista teorico approfondendo le conoscenze riguardanti le tematiche di controllo automatico e pianificazione del moto per robot mobili. Verranno seguiti corsi curricolari, corsi di dottorato e seminari mirati ad ampliare il bagaglio culturale del dottorando. La partecipazione attiva all'interno del gruppo di ricerca di ateneo e delle riunioni interne al gruppo di ricerca favorirà la collaborazione, il trasferimento di conoscenza tra i dottorandi e tutor e lo scambio di idee.

Particolare attenzione verrà posta al controllo dei sistemi multi-agente e degli strumenti matematici necessari a modellarli oltre che agli aspetti della robotica di servizio e dell'interazione uomo-robot. Verranno ampliate le conoscenze informatiche sui linguaggi di programmazione e sulla simulazione di sistemi robotici (ROS/Gazebo, Matlab/Simulink). Si prenderanno in considerazione, nello studio della letteratura scientifica, diverse tecniche di controllo (ad esempio la tecnica consenso, la sincronizzazione, il controllo predittivo basato sul modello, il controllo condiviso, il controllo di formazione, tecniche di controllo basate su reti neurali), il paradigma MUM-T (Manned-Unmanned Teaming) e la teleoperazione oltre che problemi di pianificazione del movimento, sorveglianza e copertura. Lo studio della letteratura scientifica permetterà di individuare tra le varie applicazioni di droni in ambito agricolo e dei sistemi robotici multi-agente un problema e una o più metodologie a cui può essere apportato un miglioramento. Delle tecniche sopra elencate si enumereranno pregi e difetti laddove immersi nell'applicazione specifica dell'agricoltura di precisione, oggetto di questo progetto di ricerca. Soluzioni ad-hoc potranno essere implementate nel contesto desiderato laddove la letteratura scientifica mostrasse delle lacune in tal senso. Lo studio teorico sarà dapprima validato in ambito simulativo, sfruttando i moderni software e la presenza di simulatori avanzati con motori dinamici. Le campagne di simulazione permetteranno, inoltre, di validare in maniera rapida i ritrovati innovativi teorici e permetteranno di apportare le necessarie e dovute correzioni alle metodologie ricercate. Dopodiché, i risultati sperimentali saranno condotti per validare i risultati in contesti applicativi con un technology readiness level (TRL) più elevato.

Si va ora a formulare un preciso cronoprogramma delle attività. Ovviamente, il primo anno sarà più dettagliato, mentre la seconda e la terza annualità verranno eventualmente programmate in base all'andamento metodologico e scientifico dell'annualità precedente.

Primo anno. La prima annualità sarà prevalentemente dedicata all'ampliamento delle conoscenze e ai percorsi di formazione, inclusa la partecipazione a scuole di dottorato e corsi scelti ad-hoc. In particolare, i primi due mesi serviranno ad approfondire le tematiche riguardanti l'agricoltura di precisione e quelle tecnologiche, studiando lo stato dell'arte ed individuando, tra le possibili applicazioni in ambito agricolo, alcune problematiche di interesse. Il percorso formativo e lo studio della letteratura saranno condotti durante l'intera durata del dottorato ma, se durante la prima fase avranno come scopo l'ampliamento delle conoscenze, a partire dal secondo anno saranno sempre più mirati all'approfondimento delle tematiche rilevanti per la propria ricerca. Sempre durante i primi due mesi del primo anno, verrà sviluppato un "Personal Career and Development

Plan” (PCDP) nel quale verranno elencati: *(i)* i progetti e gli obiettivi a lungo termine; *(ii)* i progetti e gli obiettivi a corto-medio termine; *(iii)* quali abilità di ricerca e tecniche occorre ampliare per raggiungere gli obiettivi di cui ai punti precedenti, e quindi una lista dettagliata dei corsi, accademici e non, da seguire; *(iv)* quali abilità comunicative e le cosiddette “soft skills” occorre potenziare, e quindi una lista dettagliata di corsi, accademici e non, da seguire; *(v)* un piano per le pubblicazioni scientifiche da programmare ed eventuale gestione dei rischi. I successivi mesi del primo anno, dal terzo all’ottavo, saranno dedicati alla ricerca metodologica di formulazioni idonee al raggiungimento degli obiettivi sopra prefissati. La sperimentazione sarà fatta prevalentemente in ambito simulativo. Dal nono all’ultimo mese del primo anno, si provvederà alla stesura dei primi risultati scientifici da sottoporre a conferenze e/o riviste del settore. Inoltre, si comincerà a fare uno studio preliminare dei possibili esperimenti da dover fare sul campo.

Secondo anno. Durante il secondo anno, sulla base delle conoscenze acquisite, durante i primi due mesi, verranno sviluppate ulteriormente le metodologie sviluppate nel primo anno e si provvederà ad effettuare i primi esperimenti. In questo periodo, i quali proseguiranno fino al sesto mese del secondo anno.

Inoltre, sempre durante i primi due mesi del secondo anno, verranno definiti i programmi da perseguire nel periodo in azienda e nel periodo all’estero. Il periodo in azienda si presume verrà effettuato negli ultimi sei mesi del secondo anno.

Terzo anno. Il periodo all’estero verrà svolto nei primi sei mesi del terzo e ultimo anno di dottorato. Durante questo periodo, i risultati ottenuti verranno sottoposti a riviste o conferenze di settore. Gli ultimi sei mesi del terzo anno serviranno a rifinire i risultati ottenuti mediante campagne sperimentali estensive e quindi a preparare la stesura dell’elaborato finale di tesi.

d. Risultati attesi

Dato il cronoprogramma di cui sopra, si evidenziano ora i risultati attesi alla fine di ognuna delle tre annualità del progetto di ricerca.

Alla fine del primo anno ci si aspetta una migliore comprensione della tematica, un ampliamento e approfondimento delle conoscenze nell’ambito dei controlli automatici, dell’IT e dell’agricoltura di precisione. Il primo anno avrà come principale obiettivo la stesura di un dettagliato stato dell’arte corrente che servirà da volano per lo sviluppo di metodologie innovative al fine di utilizzare team di droni, nelle varie declinazioni già ampiamente menzionate in precedente, in contesti agricoli. Il primo anno conta di veder realizzato un simulatore in grado di poter validare le metodologie sviluppate.

Durante il secondo anno sono attesi i primi risultati sperimentali oltre il proseguimento del percorso di formazione. Il secondo anno vedrà anche la pianificazione dei programmi da perseguire durante il periodo aziendale che verrà effettuato negli ultimi sei mesi di quest’annualità, e di quello all’estero. Il risultato atteso è anche quello di cominciare a pianificare, e magari rivedere, le metodologie fin lì sviluppate in ottica di un possibile trasferimento tecnologico.

Durante il terzo anno verrà svolto il periodo all'estero, che arricchirà ulteriormente il dottorando nel suo processo di formazione. I risultati ottenuti potranno essere ampliati e consolidati per il conseguimento del titolo finale.

e. Impresa

Il cronoprogramma del percorso di dottorato sopra presentato, prevede che il dottorando spenda un periodo in azienda, verosimilmente negli ultimi sei mesi del secondo anno, e uno all'estero, presumibilmente nei primi sei mesi del terzo anno.

Il percorso di dottorato ipotizzato consentirà il trasferimento di conoscenze dai settori dell'IT e dell'automatica ad un comparto industriale in forte espansione a cui ha recentemente mostrato interesse l'azienda Leonardo, presso la quale il dottorando spenderà il periodo in impresa. La recente costituzione dei Leonardo Labs, strutture condivise academia-azienda, favorirà ulteriormente questo processo di trasferimento e di formazione.

f. Istituzione ospitante all'estero

Il periodo all'estero servirà al dottorando per confrontarsi con una realtà accademica differente, ambientarsi in un contesto differente, accrescere le proprie "soft skills", rapportarsi con realtà e culture differenti: esperienze queste che arricchiscono il bagaglio di qualsiasi ricercatore. Inoltre, tramite tale periodo all'estero, verranno rafforzate le collaborazioni internazionali del dottorando e del gruppo di ricerca del supervisore. Il periodo all'estero verrà supervisionato da un tutor locale su di un tema accordato in precedenza a cui farà seguito un report dettagliato delle attività. Attualmente, una sede candidata per tale periodo all'estero è la University of Twente, in Olanda, che ha già dato la sua disponibilità. Altre opportunità potrebbero essere l'ETH di Zurigo oppure altre sedi accademiche attive nel settore di riferimento negli Stati Uniti.

g. Prodotti misurabili della ricerca, comunicazione e disseminazione

Nella stesura del PCDP verranno indicati azioni più concrete per lo sviluppo di prodotti della ricerca di valore, in quanto il PCDP si avvarrà dello studio dello state dell'arte preliminare. Tuttavia, è possibile reputare accettabile un percorso di ricerca che produca un certo numero di pubblicazioni scientifiche a riviste e conferenze di settore. La gran parte delle pubblicazioni verrà prodotta fra la metà e la fine del terzo anno. Importante è l'individuazione di riviste di settore che possa dar risalto ai risultati conseguiti. Esempi sono senz'altro le riviste di punta in robotica, come IEEE T-RO e IEEE RA-L, e dell'automatica, come Automatica e IEEE TCST. Di rilevante importanza è la possibilità di pubblicazione in conferenze di settore per sviluppare la parte di divulgazione scientifica dei risultati (si veda la sezione successiva). Conferenze di punta nel settore di robotica sono IEEE ICRA e IEEE/RSJ IROS, mentre la CDC è quella di punta per il settore dell'automatica. Rilevante sarà anche individuare conferenze e riviste interdisciplinari riguardanti il settore dell'agricoltura di precisione. Un esempio è la AGRICONTROL Conference.

L'attività di divulgazione scientifica dei risultati fa parte di un'attività fondamentale per un dottorando. Essa rientra nell'acquisizione di quelle "soft skills" che sono più volte menzionate in questa proposta. Particolari corsi verranno individuati all'atto di compilare il PCDP per migliorare la conoscenza riguardante, ad esempio, la scrittura di articoli scientifici oppure di progetti di ricerca. L'abilità nel comunicare i risultati ottenuti è fondamentale per un moderno dottorando. Verrà quindi incentivata la partecipazione a seminari e scuole di dottorato del settore. Durante gli incontri settimanali di gruppo verranno effettuate prove di esposizione per migliorare tali abilità. La pubblicazione di articoli a conferenze di rilievo internazionale presuppone la successiva esposizione del lavoro prodotto. Accanto alla partecipazione a conferenze di settore, importante è la partecipazione a workshop su temi affini a questo progetto. L'attività di comunicazione sarà ritenuta altresì soddisfacente se il dottorando, grazie anche alla rete di contatti sviluppati nei periodi in azienda, all'estero, durante le attività didattiche e di apprendimento delle "soft skills", sia in grado di organizzare un workshop sull'argomento del suo percorso di ricerca invitando esperti nel settore.

Nella stesura del PCDP verranno indicati azioni più concrete per lo sviluppo delle abilità di divulgare i risultati della ricerca scientifica. Particolare rilevanza assumeranno quei prodotti della ricerca pubblicati in conferenze di settore e interdisciplinari, ove è necessaria l'esposizione dei risultati ottenuti di prodotti della ricerca ad un audience internazionale. Le attività di ricerca verranno anche divulgate attraverso la partecipazione a workshop di settore o interdisciplinari. La creazione del workshop di cui alla sezione precedente è sia attività di comunicazione che divulgazione da parte del dottorando. Infine, verrà incentivata la partecipazione del dottorando ad attività divulgative nazionali ed europee, come la Notte dei Ricercatori, la partecipazione alla Maker Fair ed altri eventi di interesse per il pubblico generale e non solo la comunità scientifica.

RIFERIMENTI

- [1] F. Librán-Embida, F. Klaus, T. Tschardt, I. Grass, "Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes - A systematic review," *Science of The Total Environment*, vol. 732, 139024, 2020.
- [2] D. Albani, J. IJsselmuiden, R. Haken, V. Trianni, "Monitoring and mapping with robot swarms for agricultural applications," *2017 14th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, Lecce, I, 2017*.
- [3] P. Skobelev, D. Budaev, N. Gusev, G. Voschuk, "Designing multi-agent swarm of UAV for precise agriculture," in Bajo J. et al. (eds) *Highlights of Practical Applications of Agents, Multi-Agent, Systems, and Complexity: The PAAMS Collection. PAAMS 2018. Communications in Computer and Information Science*, vol. 887. Springer, Cham, 2018.
- [4] Panagiotis Radoglou-Grammatikis, Panagiotis Sarigiannidis, Thomas Lagkas, Ioannis Moscholios, "A compilation of UAV applications for precision agriculture," *Computer Networks*, 2020, 172, 107148
- [5] C. Ju, H. Il Son, "Multiple UAV systems for agricultural applications: Control, implementation, and evaluation," *Electronics*, vol. 7, n. 9, 162, 2018.