



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Dip TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea in SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**IMPIEGO DI TECNICHE DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE
PER IL RICONOSCIMENTO DI IMMAGINI IN AMBITO
AGRICOLO**

RELATORE:

Dott. Francesco Marinello

LAUREANDO:

Gasparini Mattia

Matricola n. 1220820

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

RIASSUNTO

Negli ultimi anni è sempre più interessante l'impiego di tecnologie e di algoritmi di intelligenza artificiale in vari ambiti tecnologici, compreso quello agricolo, in quanto queste tecnologie potrebbero permettere di aiutare gli imprenditori agricoli ad affrontare annate sempre più difficili a causa dei cambiamenti climatici.

In particolare, l'impiego di tecniche di intelligenza artificiale consente di ottimizzare la capacità di sensori, macchine ed altri dispositivi, di operare in modo autonomo, riconoscendo attraverso immagini eventuali patologie della pianta o stress biotici e abiotici, garantendo anche una migliore efficienza sull'applicazione degli input dati alla coltura durante il processo produttivo e quindi andando a migliorare anche l'efficienza aziendale.

In questo lavoro di tesi abbiamo analizzato le caratteristiche specifiche dei sistemi di intelligenza artificiale andando soprattutto a verificare i principali algoritmi impiegati e valutando, nei vari casi, la quantità di dati, informazioni e immagini tipicamente impiegate per le fasi di training e apprendimento degli algoritmi, necessari per il corretto funzionamento del dispositivo.

ABSTRACT

In recent years, the use of artificial intelligence technologies and algorithms has become increasingly important in various technological fields, including agriculture, as these technologies help farmers to cope with increasingly difficult years due to climate change, but not only.

In particular, the use of artificial intelligence techniques makes it possible to optimise the ability of sensors, machines and other devices to operate autonomously, recognising through images any plant pathologies or biotic and abiotic stresses, also guaranteeing better efficiency in the application of inputs given to the crop during the production process and thus also improving farm efficiency.

In this thesis work, we have analysed the specific characteristics of artificial intelligence systems, going above all to verify the main algorithms used and evaluating, in the various cases, the amount of data, information and images typically employed for the training and learning phases of the algorithms, which are necessary for the device to function correctly.

SOMMARIO

RIASSUNTO	1
ABSTRACT	2
SOMMARIO	3
Capitolo 1	4
INTRODUZIONE	4
1.1 Introduzione	4
1.2 Il presente lavoro	6
Capitolo 2	7
L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE	7
IN AGRICOLTURA	7
2.1 Cos'è l'intelligenza artificiale	7
2.2 IA applicata per le operazioni di semina	9
2.3 IA applicata per la gestione della coltivazione	10
2.4 IA applicata all'irrigazione	12
2.5 IA applicata per la raccolta dei prodotti	14
2.6 Novità per il futuro: IA, agricoltura urbana e cyber-agricoltura	17
CAPITOLO 3	19
ANALISI BIBLIOMETRICA	19
3.1 Analisi statistica sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale	19
3.2 Tipi di dati e algoritmi	22
CAPITOLO 4	25
CONCLUSIONI	25
BIBLIOGRAFIA	27

Capitolo 1

INTRODUZIONE

1.1 Introduzione

L'agricoltura mondiale ha sperimentato nella seconda metà del secolo un grande aumento delle performance, al punto che nell'arco di 50 anni (dal 1950 al 2000) la produttività per ettaro è cresciuta di quasi il 150%, quella del lavoro agricolo di quasi il 75%, la produttività totale dei fattori di circa il 55% e questa crescita è principalmente attribuibile a un salto di qualità di ordine tecnologico.

Negli ultimi anni però, il settore agricolo si trova a dover far fronte a diverse difficoltà, attribuibili a diversi fattori.

In primis abbiamo i cambiamenti climatici che stanno mettendo alla prova gli agricoltori in tutto il mondo, che trovano sempre più difficoltà nel coltivare i propri terreni, trovandosi di fronte ogni anno a situazioni di coltivazione diverse, infatti le condizioni meteorologiche e climatiche estreme, stanno già influenzando raccolti e produttività del bestiame e le proiezioni dimostrano che l'Europa sperimenterà livelli di riscaldamento più elevati rispetto alla media globale, con aumenti di temperatura compresi tra i 2°C e 1,5°C, che faranno sperimentare al sud Europa, condizioni climatiche estremamente aride.

A tutto questo si aggiunge un'altra importante problematica, che è l'aumento della popolazione mondiale. Si stima che entro il 2050 la popolazione mondiale supererà i nove miliardi, con la popolazione urbana in crescita e quella rurale in calo.

Sebbene la produzione alimentare assoluta possa essere sufficiente per sfamare una popolazione così in crescita, ci sono sostanziali lacune tra i paesi nell'uso della scienza, della tecnologia e dell'innovazione nell'agricoltura e nella produzione alimentare. Con i seminativi produttivi e le risorse di acqua dolce gravemente limitate in molte parti del mondo e con pratiche agricole povere o le conseguenze dei cambiamenti climatici che portano al degrado della terra e del mare, è imperativo trasformare i nostri sistemi agroalimentari. Ciò sarà possibile solo attraverso un'applicazione diffusa della scienza, della tecnologia e dell'innovazione.

Se non si adottano quindi soluzioni nell'immediato futuro, potremmo avere una situazione in cui ci sarà una richiesta alimentare sempre più grande e non essere in grado di soddisfarla.

Sicuramente il problema non è solamente legato al cambiamento del clima e all'incremento di popolazione, ma anche a problemi di tipo economico e legato ai conflitti tra nazioni, soprattutto per quello che stiamo vivendo nell'ultimo periodo. Il CREA (Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria) infatti ha messo in luce che l'impatto medio aziendale a seguito dell'incremento dei costi di produzione (su fertilizzanti, mangimi, gasolio, sementi e piantine, fitosanitari) innescato dalla guerra in Ucraina supera i 15.700 euro.

Inoltre, il Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP) ha pubblicato un rapporto sugli impatti ambientali e sulla salute, di pesticidi e fertilizzanti e sui modi per ridurre al minimo tali impatti.

Il rapporto riconosce che l'obiettivo globale di ridurre al minimo gli impatti negativi delle sostanze chimiche e dei rifiuti entro il 2020 non è stato raggiunto per pesticidi e fertilizzanti. Prende atto dell'aumento della domanda globale, della produzione e dell'uso di pesticidi e fertilizzanti, con vendite combinate in crescita di circa il 4,1% all'anno e che dovrebbero raggiungere i 309 miliardi di dollari entro il 2025.

Un cambiamento quindi verso un'agricoltura più tecnologica e sostenibile, può portare sicuramente a molti benefici e migliorare la situazione attuale e garantire in futuro il raggiungimento di obiettivi importanti come la foodsecurity e foodsafety.

Per raggiungere gli obiettivi che abbiamo davanti, e che ci chiedono di produrre di più, di utilizzare minori risorse, di attuare una trasformazione nei sistemi agroalimentari e di garantire maggiore sicurezza nei prodotti, ci sono due grandi strade: interventi sulla genetica e l'innovazione tecnologica e digitale. (Giuliano Preghenella, 2022)

L'inizio dell'applicazione di tecnologie per l'agricoltura di precisione in Italia risale agli anni '90, di questa categoria fanno parte ad esempio tutti gli interventi per rendere più efficiente l'irrigazione senza sprecare risorse idriche né far soffrire le piante, le tecnologie per il planting adattate alle caratteristiche biochimiche e fisiche del suolo su cui si interviene, la somministrazione di antiparassitari commisurate alle esigenze specifiche di ogni singola area e pianta, o di fertilizzanti soltanto nella quantità necessaria e nei tempi più utili.

Al giorno d'oggi stiamo entrando nel vivo dell'agricoltura 4.0 ed in linea generale i principali vantaggi sono quelli, di una razionalizzazione dell'uso delle risorse.

Un'interessante soluzione la si sta trovando negli ultimi anni attraverso l'introduzione di sistemi di intelligenza artificiale in agricoltura, che è lo strumento principale per l'analisi di una grande mole di dati, grazie a sistemi hardware e software in grado di perseguire autonomamente una finalità definita.

Si tratta quindi di una tecnologia che consente di dotare le macchine di una o più caratteristiche considerate tipicamente umane, e che le mette in grado di prendere decisioni in tempo reale grazie a tecniche di machine learning legate all'apprendimento e alla percezione visiva o spazio-temporale.

1.2 Il presente lavoro

In questo lavoro di tesi è stata svolta un'analisi statistica ricavando dati da un importante campione di articoli scientifici, con l'obiettivo di capire come viene impiegata l'intelligenza artificiale in agricoltura.

In particolare, è stato verificato lo scopo per cui vengono utilizzati i sistemi intelligenti, il tipo di algoritmo, la tipologia di dati utilizzati per fare lavorare il sistema e le colture maggiormente coinvolte nei lavori.

Una volta ultimata la raccolta degli articoli e dei rispettivi dati, sono stati creati dei grafici dove sono state messe a confronto le diverse variabili, in modo da ottenere delle informazioni utili per trarre delle conclusioni, sull'attuale uso dell'IA in agricoltura e poter capire il ruolo che può avere nell'agricoltura del futuro.

Capitolo 2

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE IN AGRICOLTURA

2.1 Cos'è l'intelligenza artificiale

Il termine intelligenza artificiale è stato coniato nel 1956, ma l'IA è oggi ancor più popolare, vista la crescita nel volume dei dati, lo sviluppo degli algoritmi avanzati e dei miglioramenti nella potenza di calcolo e di archiviazione.

Le prime ricerche effettuate sull'intelligenza artificiale, negli anni '50, si focalizzarono sulla creazione di programmi capaci di imitare il ragionamento umano e le deduzioni logiche.

Negli anni '60, il Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti si interessò a questo tipo di lavoro e iniziò a programmare i computer per imitare il ragionamento umano di base.

Ad esempio, la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) ha completato i progetti di mappatura delle strade negli anni '70 ed anche assistenti personali intelligenti nel 2003, molto prima che Siri, Alexa o Cortana, che al giorno d'oggi sono di uso comune, quindi, al contrario di come si crede, l'IA fa parte della nostra società già da diverso tempo migliorando le performance di prodotti già esistenti.

Abbiamo due teorie principali:

- l'Intelligenza Artificiale forte o generale, si occupa di sviluppare macchine dotate di mente propria, che quindi svolgono compiti e prendono decisioni secondo la propria coscienza;
- l'Intelligenza Artificiale debole, si occupa di sviluppare macchine programmate per operare secondo una serie di funzioni predefinite implementate da menti umane attraverso la programmazione, che sono in grado di svolgere compiti specifici senza avere però coscienza delle attività svolte;

Obiettivo dell'IA debole quindi non è quello di realizzare macchine dotate di un'intelligenza umana, ma di creare sistemi in grado di svolgere una o più funzioni umane complesse attraverso algoritmi che sono in grado di apprendere informazioni dai dati che gli vengono forniti, ed è secondo quest'ultima teoria che si sta diffondendo questa tecnologia per ottimizzare i processi produttivi e operativi, anche nei settori dell'agricoltura, dell'alimentazione e dell'ingegneria dei biosistemi.



Fig. 2.1: Immagine futuristica, che rappresenta robot impiegati per lavori in serra (Fonte foto: www.geiger.it)

In agricoltura, l'IA è una tecnologia molto interessante, che viene applicata attraverso algoritmi di machine learning e deep learning, questi ultimi sono in grado di fornire un'accuratezza ancora più elevata, che porta al miglioramento di molte macchine ed attrezzi già esistenti, oltre che a migliorare e supportare le pratiche agronomiche degli agricoltori, che fortunatamente si stanno indirizzando sempre di più verso l'adozione sistemi intelligenti per svolgere le diverse operazioni nelle proprie aziende.

Infatti, secondo la International Federation of Robotics (IFR), nel 2020 sono stati venduti fino a 25.000 robot agricoli (IFR World Robotics Report 2020) e secondo MarketsandMarkets, si prevede che il mercato dei robot agricoli crescerà ulteriormente dai 4,6 miliardi di dollari registrati nel 2020 a 20,3 miliardi di dollari entro il 2025 con un tasso di crescita annuale composto (CAGR) del 34,5%.

L'IA essere infatti applicata a macchine o robot che possono svolgere autonomamente operazioni colturali al posto di trattori, attrezzi e operatori, garantendo quindi, oltre che un lavoro fatto con precisione ed accuratezza elevate, anche un risparmio economico all'azienda agricola e dato che questi robot sono alimentati totalmente con energia elettrica, garantiscono la pratica di un'agricoltura sostenibile.

Per quantificare questi vantaggi, si parla di un risparmio attorno al 30% per gli input produttivi e di un aumento del 20% della produttività, con un utilizzo limitato di sostanze chimiche.

L'utilizzo di macchine intelligenti inoltre può aiutare il settore agricolo a far fronte alla carenza di manodopera nei campi, che è sempre più fondamentale negli ultimi anni in cui, a causa

dei cambiamenti climatici, gli imprenditori agricoli sono costretti a raccogliere tutto il prodotto in poco tempo, affinché non venga declassato dal punto di vista qualitativo.

In una recente ricerca della Michigan State University sono stati applicati sistemi e modelli di IA nell'ingegneria genetica vegetale, per capire in che modo rispondono i geni delle piante agli stress a cui sono sottoposte, in quanto conoscere la sequenza genica di una determinata pianta non equivale a sapere che cosa fanno, come si comportano, tutti i suoi geni (Shin-Han Shiu, 2022).

L'intelligenza artificiale può rivestire un ruolo determinante nella trasformazione dei sistemi alimentari e nella lotta all'insicurezza alimentare e nutrizionale. Nei settori agricoli questo contributo si può concretizzare in vari modi, per esempio ottimizzando o addirittura soppiantando attività umane quali la piantagione e il raccolto, in modo da incrementare la produttività, migliorare le condizioni di lavoro (riducendo tempi e fatica) e utilizzando le risorse naturali in maniera più efficiente, non ultimo attraverso una gestione delle conoscenze e una pianificazione più vantaggiose.

2.2 IA applicata per le operazioni di semina

Anche la semina, operazione cruciale nella coltivazione di una coltura, può essere effettuata attraverso l'impiego di robot azionati attraverso sistemi di IA, al momento soprattutto per la semina di orticole in serra come lattuga, cipolla e prezzemolo, ma iniziano ad essere impiegati anche per la semina di barbabietola da zucchero e colza a pieno campo.



Fig. 2.2: Robot (BlueBob) impegnato in operazioni di semina. (Fonte foto: www.naio-technologies.com)

Queste macchine possiedono sistemi GPS RTK per la guida autonoma, che gli permettono di effettuare la semina sull'intero appezzamento senza tralasciare zone e seminando con una precisione elevata. Inoltre, l'elemento di semina può essere dotato del sistema rateo variabile, che permette di distribuire una densità di semi a m² che varia in base alla fertilità del terreno, seminando una quantità crescente di seme a mano a mano che aumenta la fertilità.

Tutto questo è possibile integrando alla macchina applicazioni che siano in grado di leggere eventuali mappature di raccolta della coltura precedente, oppure mappature create su analisi del terreno.

Altri benefici derivano dal fatto che la semina viene effettuata da una macchina con un peso molto basso, che contribuisce quindi a conservare e nel tempo migliorare la struttura del terreno e questi robot grazie ai sistemi satellitari e sensori integrati, memorizzano il punto in cui viene posizionato il seme o la plantula per poter effettuare con estrema precisione anche le successive operazioni di gestione della coltivazione.

2.3 IA applicata per la gestione della coltivazione

Altro ambito importante in cui vengono impiegati sistemi di intelligenza artificiale in agricoltura è quello della gestione della coltura nella sua fase di crescita, che prevede quindi le operazioni di concimazione, difesa contro malattie e parassiti, oppure viene utilizzata IA semplicemente per individuare eventuali fitopatie o carenze nutrizionali e capire il momento giusto in cui intervenire e con che tipo di prodotto.



Figura 2.3: Robot impiegato nella difesa delle colture. (Fonte foto: www.whatsnewinfarming.co.uk)

Alcuni dispositivi dotati di IA infatti riescono a riconoscere in modo autonomo le malattie delle piante, avendo la capacità di distinguerle da altre che all'occhio umano presentano gli stessi sintomi, e classificandole in base alla gravità, tutto questo integrando i robot di dispositivi come sensori e fotocamere in grado di fornire dati e immagini ad alta definizione alla macchina che li elabora e comunica all'agricoltore di che malattia si tratta, che principio attivo utilizzare e il periodo ideale in cui effettuare il trattamento in base alle condizioni meteorologiche e allo stadio fenologico della pianta.

Per quanto riguarda la concimazione risulta essere molto vantaggioso l'utilizzo di tecnologie di IA, in quanto attraverso il telerilevamento, cioè dotando i propri terreni di un vario tipo di sensori, possono essere ricavati dati come umidità del terreno, indice NDVI della coltura, microclima e una volta inviati all'algoritmo esso è in grado di elaborarli tenendo conto anche delle previsioni meteorologiche e fornire un indicazione sul momento più ideale in cui effettuare il trattamento, il tipo di concime più adatto e con che quantitativo, aumentando di molto l'efficienza di utilizzo dei fertilizzanti evitando sprechi e dilavamenti soprattutto per quanto riguarda l'impiego di nitrati.

Per citare un esempio pratico, uno studio pubblicato su Nature Food, ha messo in luce l'utilità di impiego del chemically functionalised paper-based electrical gas sensor (chemPEGS). Esso misura i livelli di ammoniaca nel suolo, che viene trasformata, attraverso la nitrificazione, in nitriti e nitrati da specifici batteri. Impiegando tecniche di Machine Learning, gli scienziati inglesi sono riusciti a combinarle con i dati meteorologici, quelli riguardanti i tempi ottimali di fertilizzazione, il pH e le misure di conducibilità del suolo. Combinando questi dati sono riusciti a prevedere quanto azoto totale ha il terreno in quel momento e quanto ne avrà fino a 12 giorni dopo, riuscendo così a calcolare il momento ottimale per la concimazione e in questo modo si ottiene la massima resa con un impiego minimo di fertilizzante, in particolare per le colture che ne richiedono molto, tra queste il grano.

Parlando di rilevamento di malattie o danni da insetto, vengono impiegati spesso sistemi DSS (Sistemi di supporto alle decisioni), che sono in grado di apprendere in modo efficace i sintomi delle varie malattie o dei danni da parte degli insetti che possono colpire tale coltura per poi riconoscerle in pieno campo sin dai sintomi iniziali in modo tale da rendere il più tempestivo possibile l'intervento con eventuali prodotti fitosanitari.

Per allenare i sistemi di AI a riconoscere tali problematiche viene comunemente effettuato un training facendo osservare alla macchina immagini ad alta definizione provenienti da

apposite piattaforme, tra le più utilizzate spicca PlantVillage, che rappresentano foglie o organi colpiti dalla malattia e foglie o organi sani, in questo modo l'algoritmo impara a distinguere una pianta sana da una malata ed inoltre essendo un apprendimento profondo, riesce a distinguere e classificare malattie che presentano sintomi simili tra loro, fornendo quindi all'agricoltore o al tecnico le informazioni necessarie per effettuare una corretta diagnosi della malattia.

Attraverso il transfer learning inoltre, il sistema può essere riallenato e può essere modificato quindi quello che è l'obiettivo, in modo da poter utilizzare uno stesso modello per più colture. Altro aspetto importante è il controllo delle infestanti, ambito nel quale gli algoritmi elaborano le immagini acquisite al momento del training e riescono a distinguere la coltura di nostro interesse dalle malerbe.

Se si sfruttano queste tecnologie anche per la semina o impianto, la macchina è in grado di memorizzare l'esatta posizione in cui è stato posizionato il seme o la plantula, in questo modo gli interventi di diserbo meccanico possono essere effettuati sin dai primi stadi fenologici senza arrecare danno alla coltura di nostro interesse e in questo non sono più necessari successivi interventi chimici o da parte della manodopera.

2.4 IA applicata all'irrigazione

L'irrigazione è una delle fasi più importanti nel ciclo produttivo di una coltura, sia perché da essa dipende in gran misura la resa finale e quindi il reddito degli imprenditori agricoli, sia perché è l'operazione colturale più dispendiosa dal punto di vista energetico e dell'utilizzo della risorsa idrica.



Foto 2.4: Strumentazione per il monitoraggio di dati utili all'irrigazione smart. (Fonte foto: www.terraevita.edagricole.it)

Attualmente, l'agricoltura mondiale consuma, in media, il 70% dell'acqua dolce estratta dalle risorse idriche superficiali e sotterranee (FAO, 2017) Oltre alla scarsità d'acqua, i cambiamenti climatici e l'aumento della domanda di acqua da parte delle colture fino al 250%, hanno esercitato una forte pressione sulle fonti di acqua dolce di alta qualità (Paul et al., 2020), che potrebbe determinare un conseguente aumento delle incertezze sulla disponibilità futura di acqua. Quindi è necessario che l'agricoltura riduca al minimo l'uso dell'acqua nell'irrigazione e migliori la gestione.

La FAO ha sviluppato il sistema di indice di stress agricolo (ASIS), un indicatore rapido, che utilizzando la tecnologia satellitare, consente il monitoraggio precoce delle aree agricole con elevate probabilità di stress idrico/siccità a livello globale, regionale e nazionale.

Negli ultimi anni, infatti, il nostro clima porta ad avere stagioni sempre molto variabili fra loro, con precipitazioni che mancano d'estate ma soprattutto nelle stagioni in cui le piogge dovrebbero fare da padrone e se ci sono si verificano fenomeni intensi come acquazzoni e alluvioni, in cui l'efficienza di assorbimento da parte delle piante e del terreno è molto bassa. La stagione 2022 soprattutto, è iniziata con interventi su colture normalmente non irrigue, con precipitazioni che sono state inferiore del 46% rispetto alla media, facendo mancare 28 miliardi di metri cubi di acqua al bilancio idrico globale. Il tutto aggravato dalle inefficienze dei sistemi distributivi collettivi e della gestione dell'irrigazione in campo dove, con gli attuali sistemi irrigui utilizzati, l'efficienza media di adacquamento in Italia è poco superiore al 50%. Per garantire una gestione razionale della risorsa idrica appare sempre più urgente trasferire al settore agricolo le più moderne tecnologie di controllo e di gestione automatizzata dell'irrigazione e della fertirrigazione.

I sistemi di intelligenza artificiale possono intervenire aumentando l'efficienza di irrigua, diminuendo gli sprechi d'acqua e il dispendio di energia per il funzionamento degli impianti irrigui, attraverso quella che viene chiamata irrigazione smart.

Stanno nascendo infatti molte aziende che propongono un pacchetto di prodotti che sono in grado di rendere l'irrigazione molto più efficiente rispetto a quella tradizionale.

Normalmente vengono utilizzate delle stazioni meteo posizionate in azienda che sono in grado di fornire dati importanti come la piovosità (mm/h), l'intensità di pioggia e di conseguenza l'efficienza con cui la precipitazione viene assorbita dal terreno, l'umidità relativa dell'aria e del terreno e la temperatura. L'umidità del terreno viene determinata grazie a sensori capacitivi o tensiometrici posti a profondità diverse e tenendo conto dell'evapotraspirazione in base al tipo di coltura e quando il contenuto idrico scende al di

sotto del punto critico, il modello stima un indice di stress idrico e corregge proporzionalmente il calcolo di Etc, rendendo possibile monitorare 'in tempo reale' il contenuto volumetrico e il potenziale idrico del suolo a varie profondità, al fine di evidenziare problemi di eccesso o deficit idrico, e 'ricalibrare' di conseguenza la programmazione irrigua. Il sistema di IA quindi è in grado di dirci quando procedere con il successivo intervento irriguo anche con qualche giorno di anticipo, se è necessario e il volume di adacquamento più adatto.

Inoltre, molto spesso al sistema viene integrata un'applicazione che sfruttando sistemi GIS con immagini satellitari, è in grado di darci informazioni sulla vigoria delle piante (indice NDVI) o dell'umidità del terreno in base al colore, dati strettamente legati allo stress idrico. Questi dispositivi possono essere integrati ai principali sistemi di irrigazione.

Per quanto riguarda i sistemi per aspersione come rotoloni o pivot, integrare sistemi intelligenti può permettere all'agricoltore di variare la velocità di avanzamento del carrello dell'irrigatore o delle campate, in base alle segnalazioni di sensori o sistemi che operano con immagini satellitari come sopra citato, che ci dicono dove serve più o meno acqua. Nel caso del pivot inoltre, sistemi intelligenti possono segnalare eventuali guasti agli ugelli, ottimizzando l'efficienza di apporto idrico alle colture.

Per quanto riguarda l'irrigazione a goccia, oltre a regolare gli intervalli tra gli interventi irrigui e quindi dando la possibilità di automatizzare l'intero impianto di irrigazione, possono essere rilevate anche eventuali carenze nutrizionali che possono essere soddisfatte attraverso la fertirrigazione.

Sime Italia, una delle aziende di riferimento nel settore dell'irrigazione, ha lavorato al progetto Elektrorain con l'Unione Europea, con il quale ha sviluppato un sistema intelligente che consente all'agricoltore di regolare a distanza gli irrigatori e i sistemi di irrigazione in base alla forma e alle dimensioni del campo, utilizzando un'applicazione per smartphone. Attualmente, l'agricoltore regola i parametri dell'irrigatore tramite l'applicazione, ma l'azienda sta lavorando alla creazione di un algoritmo all'interno del controller dell'irrigatore che gli consentirà di funzionare in modo autonomo senza alcun input da parte dell'agricoltore, stimando un risparmio di acqua e carburante tra il 20% e il 30% rispetto all'utilizzo di un sistema di irrigazione standard.

2.5 IA applicata per la raccolta dei prodotti

Anche le operazioni di raccolta dei prodotti negli ultimi anni iniziano a vedere come protagonista l'IA. Infatti, esistono aziende che fanno già uso di robot che effettuano la

raccolta dei prodotti in modo autonomo, effettuando un lavoro che prima vedeva impiegata una quantità importante di manodopera.



Figura 2.5: Robot impiegato nella raccolta dei pomodori (Fonte foto: www.hawthornesoapery.ca).

In questo modo, i robot che sfruttano sistemi generalmente di deep learning, riescono ad effettuare una raccolta più accurata dei prodotti, scegliendo solamente la parte che ha raggiunto una maturazione ottimale o comunque quella tipologia di prodotto precedentemente impostata dall'agricoltore, mediante vari parametri, ed inoltre può automaticamente effettuare una classificazione nelle varie categorie di prodotto se necessario, da quella di più alta qualità a quella più bassa, con un'accuratezza che varia tra il 95% e 97%.

Questi robot sono in grado quindi di effettuare un'importante parte di lavoro, facendo risparmiare l'agricoltore, sia in termini di tempo, fino all'80% rispetto alle ore impiegate da un uomo, che di denaro, fino al 50% di risparmio economico.

Attualmente queste tecnologie vengono impiegate principalmente nelle coltivazioni in serra per indirizzi produttivi come orticoltura, frutticoltura e anche floricoltura, dove gli ambienti e le tecniche di coltivazione sono più adatte, in quanto se quest'ultime possiedono una disposizione precisa a filari, il robot è in grado di muoversi autonomamente mediante sistemi di guida autonoma, superando ostacoli e scegliendo la traiettoria più vantaggiosa da intraprendere grazie a sensori laser, fotorilevatori o circuiti integrati di lettura, che sono in grado di fornire al robot informazioni sulla distanza tra sé e gli oggetti che lo circondano.

Da quello che si evince da numerose ricerche, queste tecnologie trovano impiego maggiormente nella raccolta di pomodori e fragole, entrambi prodotti che necessitano di essere maneggiati con molta cura per non subire danni. Gli algoritmi di questi robot infatti subiscono un processo di training in cui oltre a memorizzare le varie forme, colori e dimensioni del prodotto da raccogliere, che viene riconosciuto sul campo da fotocamere sofisticate poste sulla macchina, viene regolato l'organo di raccolta in modo tale che la forza esercitata sul frutto, sia inferiore alla resa biologica dello stesso.

Ad esempio, se la resa biologica del pomodoro è di 2,75 N, la forza esercitata dall'organo di raccolta dovrà essere al massimo di 2,74 N, per afferrare con successo l'ortaggio.

Per quanto riguarda le immagini invece, vengono riconosciute con etichetta positiva o negativa. Positiva, riguarda immagini con frutti maturi, negativa riguarda immagini con frutti immaturi.

Altro aspetto importante in fase o prossimità di raccolta è la stima della resa.

I sistemi di intelligenza artificiale infatti vengono impiegati sempre più spesso per stimare la resa dei raccolti, questo per vari scopi.

Uno dei principali è per scopo informativo dell'agricoltore, che necessita di avere informazioni sulla resa che avrà la propria coltura prima che essa sia alla fase di maturazione di raccolta, in modo tale da poter organizzare in modo scrupoloso il cantiere di raccolta, prevedendo il giusto numero necessario di macchinari da avere a disposizione.

In secondo luogo, interessante potrebbe essere per quegli imprenditori che lavorano con i contratti di filiera, infatti i sistemi intelligenti sono in grado di prevedere la resa della coltura anche a stadi fenologici precoci, in questo modo l'agricoltore riesce a capire se gli input dati fino a quel momento alla coltura sono sufficienti a soddisfare i parametri qualitativi imposti dalla filiera, oppure se è necessario procedere con ulteriori fertilizzazioni o interventi di difesa. Infatti, oltre alle stime di resa in ton/ha, è possibile effettuare stime sulla qualità del prodotto raccolto, ad esempio la resa in olio per oleaginose, la resa in proteine per il grano tenero, duro o soia e così via.

Altro aspetto importante è che con la stima della resa delle colture in tempo reale, si possono creare delle mappe di resa, che possono essere utili per la programmazione delle semine e fertilizzazione della stagione successiva (vedi cap. 2.2 e 2.3).



Figura 2.6: Tipica mappa di resa creata da dispositivi integrati alla macchina di raccolta (Fonte foto: www.tractorum.it).

Infine prevedere la resa dei raccolti può essere utile agli enti che operano a livello nazionale o internazionale, per fare previsioni sugli andamenti dei prezzi di mercato futuri, che possono dare informazioni utili agli agricoltori, per pianificare il proprio piano di coltivazione, orientandolo su quelle colture che si prevede saranno più remunerative l'anno successivo.

2.6 Novità per il futuro: IA, agricoltura urbana e cyber-agricoltura

Si stima che nel 2050 due terzi della popolazione mondiale vivrà in contesti urbani. Gli ambienti urbani e periurbani rappresentano risorse in gran parte non sfruttate in termini di terra e acqua per la produzione vegetale, l'agroforestazione, l'allevamento e l'acquacoltura (FAO, 2022). Lo spazio che non viene utilizzato all'interno e intorno alle città, può essere utilizzato per rendere più ecologico l'ambiente e produrre cibo.

La FAO sta fornendo risorse per far progredire l'agricoltura urbana e garantire che le tecnologie appropriate siano disponibili a tutti, promuovendo la conversione delle aree urbane in Green Cities.

Un'estensione della produzione urbana è l'agricoltura verticale, che può utilizzare strutture non più utilizzate, come vecchi edifici o container dismessi per produrre colture in un ambiente controllato. È un'agricoltura indoor automatizzata, che utilizza la coltura idroponica, atmosfera artificiale e l'illuminazione a LED.

La produzione è possibile tutto l'anno ed è indipendente dalle condizioni meteorologiche, ma l'installazione è costosa e richiede una grande quantità di elettricità. Sebbene questa tecnologia relativamente sofisticata sia attualmente adatta solo alle regioni in cui vi è un

facile accesso ad attrezzature specializzate e finanziamenti per le start-up, i progressi tecnologici potrebbero consentire presto una più ampia diffusione.

Per quanto riguarda la cyber-agricoltura invece, si di impiegare sistemi di IA anziché nel lavoro sui campi, ma per capire come migliorare la produttività delle colture in base a condizioni pedoclimatiche diverse, in modo da ottenere sempre il massimo dalla nostra coltivazione, in climi diversi.

Un gruppo di ricercatori del Massachusetts Institute of Technology ha svolto delle ricerche sulla coltivazione del basilico, in fattorie verticali, monitorando i cambiamenti di una pianta nel corso del tempo, provando a capire come la variazione di alcuni fattori (come temperatura, umidità, livello e tempo di esposizione alla luce del sole) potesse migliorare le proprie caratteristiche qualitative. Tutte le informazioni, poi, sono state elaborate da un algoritmo di apprendimento automatico, che ha valutato milioni di possibili combinazioni e si è affermato che il sapore migliore di una foglia di basilico, si ottiene con un'esposizione alla luce di 24 ore al giorno.

CAPITOLO 3

ANALISI BIBLIOMETRICA

3.1 Analisi statistica sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale

In questo lavoro di tesi è stata svolta un'analisi statistica per verificare come vengono impiegati attualmente i sistemi di intelligenza artificiale in agricoltura.

Per prima cosa è stata fatta una ricerca di circa 180 pubblicazioni scientifiche uscite tra il 2019 e 2022 e di queste ne sono state selezionate circa 110-115, di cui tra le principali figurano articoli appartenenti alle riviste Agriculture, Agronomy, Communications in Computer and Information Science, Computers and Electronics in Agriculture, Journal of Plant Diseases and Protection, Precision Agriculture e Sensors, e tra questi gli argomenti principali toccati parlavano di lavori che sfruttavano l'intelligenza artificiale in ambito agricolo.

Dalle analisi svolte è emerso che molti lavori riguardano zone dell'est, quindi il continente asiatico; infatti, molte colture, come riso e cotone, si rifanno a quella zona, altre invece sono più classiche e riguardano gli ambiti produttivi dell'Europa, come vite, melo e agrumi, il sud America con palma e canna da zucchero ed infine le colture che caratterizzano le principali produzioni mondiali ovvero grano, mais e soia.

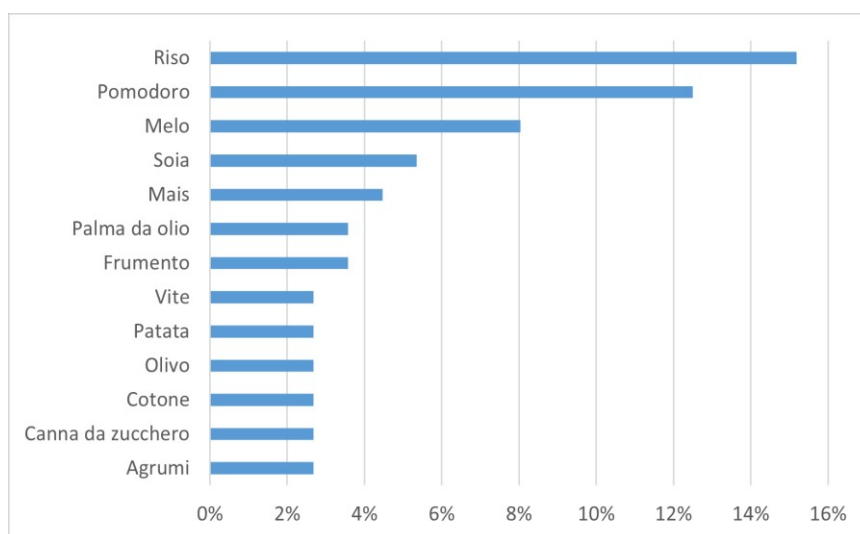


Figura 3.1: in questo grafico si osservano i valori percentuali relativi alla frequenza con cui le principali colture sono presenti nei lavori analizzati.

Come si può notare dal grafico, le colture precedentemente elencate sono state quelle più rilevanti e su cui si è concentrata la maggior parte dei lavori.

Il riso presenta il valore percentuale più elevato essendo coinvolto fino al 15% dei lavori e insieme a vite, melo, soia o mais ne caratterizzano circa il 70%.

Il restante 30% è rappresentato da altre colture minori o meno rilevanti come ananas, banana e orticole varie, ad eccezione del pomodoro, che essendo una coltura ad alto interesse industriale, occupa la seconda posizione dopo il riso, essendo coinvolto in più del 12% dei lavori.

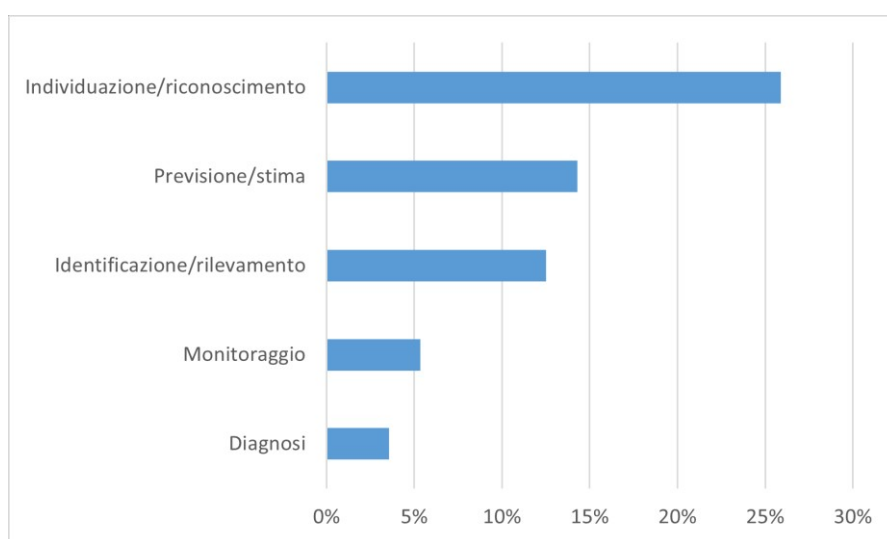


Figura 3.2: in questo grafico si osserva la classificazione, sulla base di valori percentuali, dei principali impieghi di IA in agricoltura.

Per quanto riguarda le operazioni eseguite, circa il 25% erano relative ad azioni di individuazione e riconoscimento di porzioni di pianta che presentavano sintomi di malattia, il 14% riguardava azioni di previsione o stima, circa il 12% erano relativi ad operazioni di identificazione riguardo la presenza o assenza di specifiche malattie e intorno al 5% per le operazioni di monitoraggio e diagnosi che attraverso la combinazione di dati permettono il preciso riconoscimento di un particolare stress.

Da queste prime analisi si è riscontrato che la ricerca si concentra con più interesse sulla parte di riconoscimento malattie, in quanto queste rappresentano il fattore biotico che causa le maggiori perdite per le colture e di conseguenza per gli agricoltori.

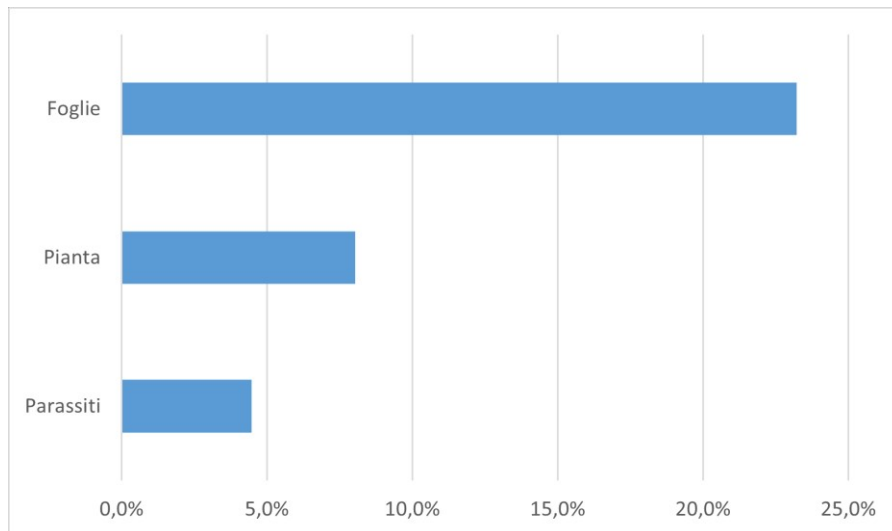


Figura 3.3: in questo grafico si osserva la classificazione, sulla base di valori percentuali, dei principali target di ricerca da parte dei sistemi intelligenti.

Per quanto riguarda i target su cui si focalizzano le analisi strumentali, si è visto che le foglie sono l'obiettivo più rilevante, con circa il 23% dei casi, in quanto molto spesso possono presentare sintomi facilmente individuabili e oltre ad essere sintomi di malattia, molto spesso possono ricondurre a possibili carenze nutrizionali o altri stress che possono essere distinti in modo preciso, con l'utilizzo di sistemi intelligenti.

Altri casi oggetto di ricerca sono stati pianta e parassiti anche se con un'incidenza minore compresa tra il 4% e 8%.

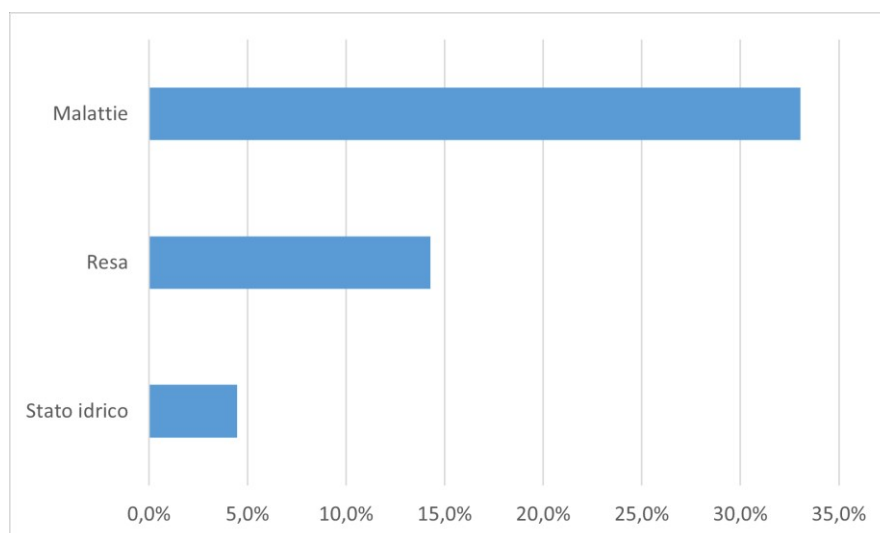


Figura 3.4: in questo grafico si osserva la classificazione, sulla base di valori percentuali, dei principali stress per cui viene impiegata IA in agricoltura.

Si è visto quindi nei grafici precedenti che dal punto di vista degli stress che penalizzano le coltivazioni, i lavori si concentrano principalmente sulla ricerca di malattie in più del 30% dei casi.

Altro fattore che si lega alle malattie è la resa, con il 14% dei lavori che hanno come target la previsione della quantità e qualità del raccolto che possono tornare utili sotto molti aspetti, innanzi tutto ci può fornire dati utili per scopi organizzativi o di pianificazione delle coltivazioni per la stagione successiva in base a quelle che si prevede siano le più redditizie per l'agricoltore.

Altro fattore che probabilmente dovrebbe essere considerato con più importanza è lo stato idrico delle colture, con solo il 4% dei lavori coinvolti, fattore che con grande probabilità sarà sempre più importante da monitorare negli anni avvenire, per ridurre l'impatto degli stress abiotici sulle colture.

3.2 Tipi di dati e algoritmi

Per quanto riguarda invece gli algoritmi utilizzati dai sistemi intelligenti si parla nella quasi totalità di reti neurali. Le reti neurali artificiali (ANN), più comunemente chiamate reti neurali (NN), sono sistemi di calcolo ispirati alle reti neurali biologiche che costituiscono il cervello umano. L'aspetto più tipico delle reti neurali è quello di adattare, entro certi limiti, il proprio comportamento al particolare compito che deve essere svolto, in modo analogo a quanto accade negli organismi viventi nei quali è possibile acquisire esperienza per mezzo di stimoli esterni, ed inoltre un grande vantaggio di queste reti è che possono lavorare anche con informazioni approssimate, segnali deboli o nel peggiore dei casi se il segnale è affetto da errore, la rete neurale è in grado di lavorare lo stesso se è in grado di rigenerarlo.

Dalle analisi effettuate è emerso che in agricoltura quelle più utilizzate sono per la quasi totalità le CNNs (Convolutional Neural Networks), in particolare sottoforma del prodotto commerciale Yolo nei diversi aggiornamenti V3, V4 e V5.

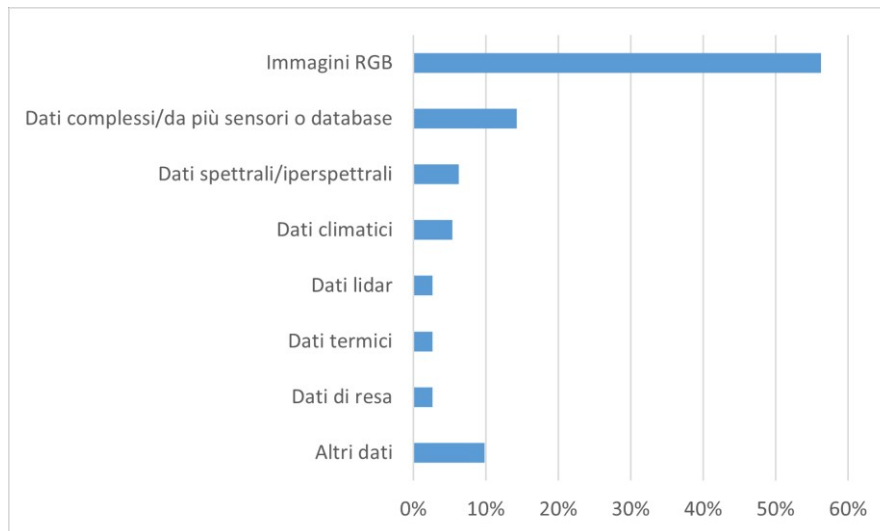


Figura 3.5: in questo grafico si osserva la classificazione, sulla base di valori percentuali, delle diverse tipologie di dati su cui vengono impiegati gli algoritmi.

Per quanti riguarda la tipologia di dati su cui vengono impiegati gli algoritmi, la maggior parte dei lavori fa riferimento ad elaborazioni di immagini RGB con oltre il 55% dei lavori; questo può essere legato a motivi di costo della strumentazione, dove le fotocamere sono caratterizzate dall'aver un prezzo più basso rispetto ad altri strumenti, che le rendono più accessibili da parte delle aziende agricole, inoltre sono di più facile reperibilità e possiedono la capacità di acquisire in modo rapido grandi quantità di dati, in questo caso foto, facili da elaborare, per questo motivo l'acquisizione di immagini risulta spesso una soluzione ottimale per effettuare analisi con intelligenza artificiale in ambito agricolo.

Tra gli altri un primo macrogruppo è rappresentato per il 14% da dati complessi che derivano da più sensori diversi o database, mentre un secondo macrogruppo per il 6% è relativo a dati spettrali o iperspettrali, ottenuti attraverso sistemi di telerilevamento iperspettrale, alla base dei quali vi è la proprietà fisica degli oggetti di emettere o riflettere radiazione su varie bande, oltre a quella visibile, con intensità variabile in funzione delle proprie caratteristiche chimico-fisiche. Questa tipologia di dati risultano essere interessanti in quanto sono molto complessi, costituiti da un grande contenuto di informazioni, ma di conseguenza anche molto difficili da gestire ed elaborare, inoltre le strumentazioni necessarie per la raccolta dei dati risultano essere molto costose e difficilmente accessibili per gli agricoltori disincentivandone l'utilizzo e forse per questo hanno una presenza minore, anche se la complessità delle analisi giocherebbe a favore dell'uso di sistemi di intelligenza artificiale. Di frequente uso sono anche i dati climatici con il 5%, spesso legati a lavori di stima, previsione o stato idrico della pianta; meno frequenti invece altri dati come i lidar, termici o

di resa anche se con percentuali del 3%, altre combinazioni di dati sono invece specifici solo per alcuni lavori analizzati.

CAPITOLO 4

CONCLUSIONI

L'agricoltura è il settore produttivo più importante, perché rappresenta il mezzo di sussistenza principale per l'essere umano e in parte fornisce anche le materie prime per la produzione di prodotti a livello industriale, alimentando quindi anche settori diversi da quello primario.

Negli ultimi anni l'agricoltura però è messa in difficoltà dai cambiamenti legati al clima, dato che l'agricoltura è stata sempre altamente dipendente dai modelli e variazioni climatiche, che hanno e stanno penalizzando le produzioni in ogni parte del mondo e, purtroppo, è essa stessa un'importante causa di questo fenomeno in quanto è riconosciuto che circa il 25% delle emissioni di anidride carbonica provengono da fonti agricole e l'insieme delle pratiche agricole comprendono il 54% delle emissioni di metano.

Dall'altro lato preoccupano le previsioni sull'incremento demografico che porterà ad avere nel 2050, quasi 10 miliardi di abitanti sulla superficie terrestre, destando non poche preoccupazioni sulla sicurezza alimentare.

Dalle analisi effettuate in questo lavoro di tesi, si intuisce come l'intelligenza artificiale possa portare soluzioni valide per la risoluzione di questi problemi, evidenziando il fatto che questi sistemi intelligenti operano già da tempo in campo agricolo supportando gli agricoltori nella coltivazione dei più importanti prodotti alimentari come riso, grano, mais, pomodoro e tanti altri.

Grazie alla sua applicazione in ambito agricolo, l'IA può inoltre rendere la pratica dell'agricoltura molto più sostenibile e green, riducendo e forse un giorno annullando il consumo di combustibili fossili grazie allo sfruttamento dell'energia elettrica ed inoltre salvaguardando l'ambiente facendo un uso più consono di fertilizzanti e prodotti fitosanitari. Altro aspetto importante e legato strettamente ai cambiamenti climatici sarà l'utilizzo dell'acqua in agricoltura, dove grazie all'intelligenza artificiale se ne potrà fare un uso più corretto evitando inutili sprechi idrici, preservando una risorsa così importante e sempre più preziosa come l'acqua dolce.

Questa è quindi una strada che l'agricoltura deve intraprendere se si vuole garantire un futuro a questo pianeta, dove la combinazione tra IA, innovazione tecnologica e utilizzo più consono delle risorse terrestri, non potranno di certo risolvere le problematiche che si stanno

riscontrando, ma sicuramente possono migliorare le preoccupanti previsioni che ci vengono date per l'imminente futuro.

BIBLIOGRAFIA

Articoli scientifici

- Atanas Sevov, Georgi Komitov, Ivan Mitkov. (2022). "An alternative methodology for distance monitoring of the micro-climate in field tomato production", 2022 8th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering.
- Jung, DH., Kim, C.Y., Lee, T.S. et al. (2022) "Depth image conversion model based on CycleGAN for growing tomato truss identification. Plant Methods".
- Kultongkham, A., Kumnon, S., Thintawornkul, T. e Chanthasopephan, T. (2021) "Il design di una pinza morbida con feedback di forza per la raccolta dei pomodori", Journal of Agricultural Engineering.
- K. Dilmurat, V. Sagan, S. Moose. (2022). "Ai-driven maize yield forecasting using unmanned aerial vehicle-based hyperspectral and lidar data fusion", Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- M. Geetha, R.C. Suganthe, S.K. Nivetha, R. Anju, R. Anuradha, J. Haripriya. (2022). "A Time-Series Based Yield Forecasting Model Using Stacked Lstm To Predict The Yield Of Paddy In Cauvery Delta Zone In Tamilnadu", 2022 1st International Conference on Electrical, Electronics, Information and Communication Technologies.
- M. Geetha, R.C. Suganthe, R.S. Latha, R. Anju, K. Sastimalar, P. Shobana. (2022). "Deep learning based yield prediction model to predict the yield of paddy in cauvery delta region", 2022 International Conference on Computer Communication and Informatics.
- Mohammad Asad Ullah, Muhammad-Redha Abdullah-Zawawi , Rabiatal-Adawiah Zainal-Abidin, Noor Liyana Sukiran , Md Imtiaz Uddin, Zamri Zainal. (2022) "A Review of Integrative Omic Approaches for Understanding".
- Narmilan Amarasingama, Arachchige Surantha Ashan Salgadoe, Kevin Powell Luis, Felipe Gonzalez, Sijesh Natarajan. (2022). "A review of UAV platforms, sensors, and applications for monitoring of sugarcane crops", Remote Sensing Applications: Society and Environment.
- Osco, L.P.; Ramos, A.P.M.; Moriya, É.A.S.; Bavaresco, L.G.; Lima, B.C.d.; Estrabis, N.; Pereira, D.R.; Creste, J.E.; Júnior, J.M.; Gonçalves, W.N.; Imai, N.N.; Li, J.; Liesenberg, V.; Araújo, F.F.d. (2019) "Modeling Hyperspectral Response of Water-Stress Induced Lettuce Plants Using Artificial Neural Networks. Remote Sens".

Rajasekaran Thangaraj, S. Anandamurugan, P. Pandiyan & Vishnu Kumar Kaliappan. (2022). "Artificial intelligence in tomato leaf disease detection: a comprehensive review and discussion", *Journal of Plant Diseases and Protection*.

R.C.Martinsa, T.G.Barroso, P.Jorge, M.CunhaadF.Santosa. (2022). "Unscrambling spectral interference and matrix effects in *Vitis vinifera* Vis-NIR spectroscopy: Towards analytical grade 'in vivo' sugars and acids quantification", *Computers and Electronics in Agriculture*.

R. Toscano-Miranda, M. Toro, J. Aguilar, M. Caro, A. Marulanda, A. Trebilcok. (2022). "Artificial-intelligence and sensing techniques for the management of insect pests and diseases in cotton: A systematic literature review", *Journal of Agricultural Science*.

Ruoling Deng, Ming Tao, Hang Xing, Xiuli Yang, Chuang Liu, Kaifeng Liao, Long Qi. (2022). "Disease Classification and Detection Techniques in Rice Plant using Deep Learning", 8th International Conference on Smart Structures and Systems.

Saffariha, M., Jahani, A. & Potter, D. (2020) "Seed germination prediction of *Salvia limbata* under ecological stresses in protected areas: an artificial intelligence modeling approach".

S. Ale, N. Omani, S. K. Himanshu, J. P. Bordovsky, K. R. Thorp, E. M. Barnes (2019). "Determining optimum irrigation termination periods for cotton production in the Texas high plains".

S. Liu, J.Y.Yang, X.Y. Zhanga, C.F. Drury, W.D. Reynolds, G. Hoogenboom. (2022). "Modelling crop yield, soil water content and soil temperature for a soybean–maize rotation under conventional and conservation tillage systems in Northeast China".

Siti Nur Aisyah Binti Mohd Robi, Mohd Azri Bin Mohd Izhar, Mus'Ab Bin Sahrim, Norulhusna Binti Ahmad. (2022). "Image Detection and Classification of Oil Palm Fruit Bunches", 4th International Conference on Smart Sensors and Application: Digitalization for Societal Well-Being.

Surabhi Lingwal, Komal Kumar Bhatia, Manjeet Singh. (2022). "A novel machine learning approach for rice yield estimation", *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*.

Suraj Singh, Anupam Kumar Thakur, Neha Goyal, Kapil Gupta. (2022). "Image processing based wheat spike detection using YOLO", *Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy*.

Zhuang Qiang , Fanhuai Shi. (2022). "Pest disease detection of *Brassica chinensis* in wide scenes via machine vision: method and deployment", *Journal of Plant Diseases and Protection*.

Sitografia

<https://www.fao.org/fao-stories/article/en/c/1608899/> (Consultato a settembre 2022)

<https://cordis.europa.eu/article/id/422286-smart-irrigation-reduces-water-wastage/it>
(Consultato ad ottobre 2022)

<https://agrireregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/32/conoscenza-tecnologia-e-innovazione-unagricoltura-sostenibile-lezioni-dal> (Consultato ad ottobre 2022)

<https://www.informatoreagrario.it/filiere-produttive/irrigazione-4-0-per-uso-efficiente-acqua-in-agricoltura/> (Consultato ad ottobre 2022)

<https://coltureprotette.edagricole.it/orticoltura/con-il-robot-tuttofare-la-raccolta-del-pomodoro-e-smart/> (Consultato ad ottobre 2022)

<http://climate.org/archive/topics/climate-change/index.html> (Consultato ad ottobre 2022)

<https://www.agendadigitale.eu/smart-city/ia-e-robotica-per-unagricoltura-sostenibile-sbocciano-i-progetti-avanzati-in-italia/> (Consultato ad ottobre 2022)

<https://www.arvatec.it/prodotti/farmdroid/fd20/> (Consultato ad ottobre 2022)