

Università degli Studi di Torino
Dipartimento di informatica



Tesi di Laurea Magistrale in Informatica

**Droni Antincendio: Utilizzo di
Answer Set Programming per la
Gestione delle Emergenze**

Relatore:

Prof: Gian Luca Pozzato

Candidata:

Ilaria Figliuzzi

Matricola: 973518

..

..

Abstract

Gli incendi costituiscono una grave minaccia per l'umanità, con devastazioni e perdite enormi e irreparabili. I vigili del fuoco in tutto il mondo rischiano la vita per affrontare queste emergenze.

Tuttavia, con gli avanzamenti nella tecnologia dei droni, possiamo utilizzarli come supporto per coordinare le operazioni di gestione dell'incendio, migliorando così i servizi antincendio. Questo è possibile grazie all'ausilio di droni intelligenti e autonomi che si adattano molto bene al contesto.

Questa tesi mira a sviluppare un prototipo di drone antincendio in grado di gestire un incendio, in modo tale da ridurre al minimo le vittime. Questo prototipo è stato sviluppato utilizzando il linguaggio ASP (Answer Set Programming) che consentirà una gestione degli incendi implementando piani per individuarli preocemente e spegnerli nel minor tempo possibile. Il drone, inoltre è equipaggiato con una telecamera per monitoraggio e navigazione, in modo tale da consentire ai vigili del fuoco di ricevere delle informazioni utili, riducendo notevolmente il coinvolgimento umano e il rischio di lesioni fisiche durante le operazioni antincendio.

Dichiaro di essere responsabile del contenuto dell'elaborato che presento al fine del conseguimento del titolo, di non avere plagiato in tutto o in parte il lavoro prodotto da altri e di aver citato le fonti originali in modo congruente alle normative vigenti in materia di plagio e di diritto d'autore. Sono inoltre consapevole che nel caso la mia dichiarazione risultasse mendace, potrei incorrere nelle sanzioni previste dalla legge e la mia ammissione alla prova finale potrebbe essere negata.

Indice

Indice	3
1 Introduzione	5
1.1 Il problema degli incendi forestali	5
1.2 Il drone come risorsa per contrastare gli incendi forestali	6
1.2.1 Funzionalità e vantaggi per i droni	8
1.2.2 Vantaggi dei Droni rispetto agli Approcci Tradizionali	10
1.2.3 Sfide e Limitazioni dei Droni Antincendio	11
1.2.4 Le considerazioni etiche e ambientali	12
1.2.5 Analisi del Problema e Obiettivi della Ricerca	13
2 Esplorando l'Utilizzo dei Droni: Lo stato dell'arte	15
2.1 Tra Scoperte e Innovazioni: ‘Forest Firefighting Using Drone and Artificial Intelligence [7]’	15
2.1.1 Primo approccio	16
2.1.2 Secondo approccio	17
2.1.3 Terzo approccio	18
2.1.4 Conclusioni	20
2.2 Scoprendo Nuovi Orizzonti con: ‘Forest Fire-Fighting Monitoring System Based on UAV team and Remote Sensing [13]’	20
2.2.1 Introduzione	21
2.2.2 Il lavoro del drone	22
2.2.3 Analisi e conclusioni	23
2.3 Sbirciando nel Futuro con ‘A Conceptual Design of a Firefighter Drone’ [2]	23
2.3.1 Introduzione	24
2.3.2 Descrizione e proposta di un drone	24
2.3.3 Analisi: risultati e conclusioni	26
2.4 Verso Nuove Scoperte con: ‘Quadcopter to locate & assist endangered person in a place of fire’	27
2.4.1 Introduzione	28
2.4.2 Design del drone	28
2.4.3 Il lavoro del drone	28
2.4.4 Analisi e conclusioni	30
2.5 Affrontando le Sfide degli approcci precedenti	30
3 Progettazione di un drone	33
3.1 Introduzione all’Answer Set Programming (ASP)	33
3.1.1 Sintassi ASP	34

3.1.2	La negazione	34
3.1.3	Vincolo di integrità	35
3.1.4	Semantica ASP	35
3.1.5	Varianti	35
3.2	Implementazioni del Software	35
3.3	Regole principali e loro funzionalità	36
3.4	Analisi e risultati dell'applicazione	39
3.4.1	Analisi dei fatti	40
3.5	Analisi dei Fatti Generati	44
3.5.1	Piano di Attività	44
3.5.2	Dettaglio delle Azioni	44
3.5.3	Azioni Pianificate e Interventi Effettuati	44
3.6	Drone: Design e Dimostrazione Visiva del Funzionamento	45
3.7	Analisi dei risultati ottenuti	46
4	Caso di studio	53
4.1	Introduzione e presentazione dell'articolo	53
4.1.1	Esperimenti	55
4.1.2	Risultati	56
4.1.3	Analisi degli esperimenti	57
5	Conclusioni	59
5.1	Conclusioni dello studio [1]	59
5.2	Valutazione dell'applicabilità nel proprio progetto	60
5.2.1	Prospettive future	61
5.2.2	Conclusioni finali	61
Bibliografia	63	
A Codice ASP del drone	65	

Capitolo 1

Introduzione

Nel capitolo introduttivo della mia tesi, affronterò il grave problema globale degli incendi boschivi, esaminando i loro impatti devastanti sull'ambiente naturale e sulle comunità umane, inclusi i rischi per la biodiversità, la qualità dell'aria e il patrimonio forestale. Successivamente, esplorerò una possibile soluzione innovativa attraverso l'utilizzo dei droni, che sono sempre più considerati una risorsa preziosa nella gestione e nell'estinzione degli incendi forestali. Discuterò anche dei benefici potenziali di questa tecnologia, come la capacità di monitorare rapidamente vaste aree, identificare focolai nascosti e coordinare le risorse di soccorso. Tuttavia, esaminerò anche i limiti e gli svantaggi associati all'uso dei droni, inclusi vincoli tecnologici e considerazioni pratiche nella loro implementazione efficace durante le operazioni di emergenza.

1.1 Il problema degli incendi forestali

Gli incendi boschivi rappresentano una seria minaccia per gli ecosistemi naturali per la comunità umana e animale. Questi eventi, alimentati da una combinazione di fattori naturali e attività umane irresponsabili, hanno conseguenze devastanti sull'ambiente, sulla biodiversità ma anche sulla sicurezza pubblica. Secondo delle statistiche più recenti, gli incendi forestali stanno diventando sempre più frequenti, soprattutto nelle regioni più calde. Infatti secondo uno studio [4] dai dati raccolti dal Corpo Forestale dello Stato fra gli incendi dal 2009 a maggio 2016 circa il 16,6% di questi incendi è avvenuto in Sicilia, seguita dalla Campania con il 14,6% e dalla Calabria con il 13,7%. Considerando invece la superficie bruciata, circa il 50% si concentra principalmente nelle regioni insulari italiane (e se consideriamo solo la Calabria, si arriva al 64%).

Per questo aumento del numero di incendi, diversi studi suggeriscono che l'aumento delle temperature globali potrebbe essere un fattore significativo in questo fenomeno. Secondo l'articolo [10] sono stati numerosi e diffusi gli incendi che hanno colpito la nostra penisola nel 2021, con cifre ufficiali che riflettono solo in parte la gravità di un fenomeno tra i più devastanti, chiaramente fuori controllo e ancora sottovalutato soprattutto per quanto riguarda la prevenzione. I danni provocati dagli incendi boschivi in Italia negli ultimi anni sono ingenti, in termini di perdita di biodiversità, di valore economico e di vite umane sacrificate. Gli incendi rappresentano un problema complesso che va affrontato con un cambio di approccio. È essenziale implementare una gestione più attenta del territorio e perfezionare le tecniche investigative e gli strumenti normativi per contrastare i reati, insieme a obiettivi a medio-lungo termine per rispondere alla sfida climatica e proteggere gli ecosistemi forestali sempre più fragili e soggetti a fenomeni e rischi naturali. È necessario anche aumentare il patrimonio arboreo seguendo i principi della gestione forestale sostenibile e responsabile, per mitigare gli effetti del cambiamento climatico.

Inoltre l'articolo continua sostenendo che la comunità scientifica concorda sul ruolo multifunzionale del nostro patrimonio verde e sottolinea l'importanza della mitigazione e dell'adattamento ai cambiamenti climatici che gli ecosistemi forestali sani possono offrire, minimizzando i danni e massimizzando i benefici per il pianeta e le persone. Per tale motivo è necessario adottare un nuovo paradigma, superando il modello attuale di prevenzione, cercando delle alternative più avvincenti e funzionali.

Il progetto "Tolleranza Zero" promosso dalla Regione Calabria riflette questo nuovo approccio, mettendo l'accento sull'importanza della prevenzione e della responsabilità nella gestione del territorio per contrastare gli incendi boschivi. Questo progetto si basa sull'uso di un drone che permette di individuare dei piromani, in modo da ridurre gli incendi nelle aree boschive della Calabria, con l'obiettivo di proteggere le risorse naturali.

1.2 Il drone come risorsa per contrastare gli incendi forestali

Gli incendi boschivi rappresentano una minaccia significativa per gli ecosistemi forestali, la biodiversità e per la sicurezza delle comunità. Negli ultimi anni, l'impiego dei droni si è rivelato un'innovativa risorsa nella lotta contro questo tipo di disastri ambientali. I droni offrono un potenziale enorme per la prevenzione, il monitoraggio e il controllo degli incendi forestali, contribuendo a migliorare l'efficacia e la sicurezza delle operazioni di spegnimento.

Il contrasto agli incendi è un compito impegnativo e rischioso. Attualmente, la lotta contro gli incendi avviene attraverso attrezzature antincendio operate manualmente, con il coinvolgimento indispensabile del personale antincendio sul campo. I vigili del fuoco si trovano ad affrontare gravi rischi fisici e mentali durante le operazioni di spegnimento degli incendi. Lo sviluppo di metodi efficaci per estinguere gli incendi con il minor numero possibile di vittime è di vitale importanza. È fondamentale esplorare come la tecnologia possa essere impiegata per gestire le crisi, come gli incendi boschivi o strutturali, garantendo al contempo la sicurezza pubblica. [14]

Recentemente, la ricerca sui sistemi UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ha suscitato crescente interesse in varie applicazioni civili e militari grazie alla loro capacità di operare autonomamente in ambienti complessi e pericolosi. Un UAV, o drone, è un sistema aereo che funziona senza la presenza di un pilota umano a bordo. I droni hanno guadagnato importanza fin dalla loro invenzione nel 1907, anticipando di un decennio la creazione del primo aeroplano. Possono volare autonomamente o essere pilotati a distanza, trasportando carichi utili adatti alle diverse esigenze e applicazioni. I droni multirotore, che dipendono da più eliche, sono particolarmente facili da costruire e più economici rispetto ad altre opzioni di droni. [14]

1.2.1 Funzionalità e vantaggi per i droni

Di seguito sono elencate alcune funzionalità e vantaggi:

Prevenzione I droni svolgono un ruolo fondamentale nella rilevazione anticipata degli incendi. Grazie alla loro capacità di volo a bassa quota e alla tecnologia avanzata incorporata, i droni possono individuare precocemente possibili sorgenti di incendio, come focolai causati da attività umane o fulmini. Questo permette alle squadre di soccorso di intervenire prontamente prima che gli incendi si propaghino, minimizzando i danni e i rischi per la sicurezza.

Monitoraggio e Rilevamento Durante un incendio boschivo, i droni sono essenziali per sorvegliare l'espansione delle fiamme e individuare le aree critiche. Grazie alle loro telecamere termiche e ai sensori avanzati, i droni possono fornire informazioni tempestive sul comportamento del fuoco, permettendo ai soccorritori di pianificare strategie di spegnimento più efficienti e sicure.

Mappatura e Analisi Anche dopo che l'incendio è stato domato, i droni possono essere utili. Infatti possono essere impiegati per mappare e analizzare l'area danneggiata. Questo permette di valutare l'entità dei danni, monitorare la rigenerazione naturale e supportare la pianificazione di interventi di ripristino e gestione del territorio.

Distribuzione di Risorse e Materiale Antincendio I droni possono essere impiegati anche per la distribuzione di risorse, come ventilatori manuali e altro materiale sanitario, consentendo interventi rapidi ed efficienti anche in zone difficilmente accessibili. Grazie alla loro capacità di volo preciso e alla possibilità di raggiungere luoghi remoti, i droni possono svolgere un ruolo cruciale nel fornire assistenza e supporto nelle situazioni di emergenza.

Riduzione del Rischio per l'Umano L'utilizzo dei droni contribuisce anche a ridurre il rischio per il personale di emergenza coinvolto nelle operazioni di spegnimento degli incendi. I droni possono esplorare e monitorare le aree pericolose, consentendo alle squadre di intervento di operare in condizioni più sicure e ben informate.

I droni antincendio possono essere dotati di diverse tecnologie che migliorano la loro efficacia e sicurezza durante le operazioni di spegnimento degli incendi. Di seguito sono elencate alcune tecnologie:

Telecamere termiche e sensori di calore: L'installazione di telecamere termiche e sensori di calore sui droni offre il vantaggio di individuare precocemente incendi e focolai, anche in presenza di fumi o oscurità. Questa capacità è fondamentale per una rapida individuazione degli incendi.

Sistemi di rilevamento dei gas e dei fumi: L'installazione di sensori in grado di rilevare gas infiammabili e fumi tossici sui droni consente ai vigili del fuoco di monitorare i rischi per la salute e la sicurezza e di adottare misure preventive appropriate. Questo approccio aiuta anche a prevenire potenziali futuri incendi attraverso la tempestiva identificazione e gestione dei pericoli ambientali.

Sistemi di illuminazione a LED: L'installazione di luci a LED sui droni consente di illuminare le aree interessate dagli incendi durante la notte o in condizioni di scarsa visibilità. Questo miglioramento della visibilità facilita e rende più precise le operazioni di soccorso e monitoraggio durante le emergenze.

Sistemi di estinzione (spray d'acqua o schiuma): L'installazione di sistemi di spruzzatura sui droni consente di erogare acqua, schiuma o altri agenti estinguenti direttamente sulla zona interessata dall'incendio. Questo permette un intervento rapido e efficace senza esporre il personale umano a rischi aggiuntivi.

Sistemi di comunicazione e trasmissione dati: L'installazione di sistemi di comunicazione bidirezionali e capacità di trasmissione dati in tempo reale sui droni permette ai vigili del fuoco di ricevere informazioni cruciali sull'evoluzione dell'incendio e di coordinare efficacemente le operazioni di emergenza. Questo miglioramento della comunicazione consente una risposta più rapida e coordinata alle situazioni di incendio, migliorando complessivamente l'efficacia delle operazioni di soccorso.

1.2.2 Vantaggi dei Droni rispetto agli Approcci Tradizionali

In seguito i vantaggi dei droni rispetto agli approcci tradizionali nelle operazioni di contrasto agli incendi:

Rapidità di Intervento: I droni forniscono un'occasione speciale per intervenire prontamente durante gli incendi. Possono essere impiegati quasi istantaneamente una volta individuato un incendio, consentendo una risposta tempestiva. Questo è particolarmente benefico per contrastare la rapida propagazione delle fiamme in zone difficili da raggiungere con mezzi terrestri.

Accesso a Zone Inaccessibili: Le zone montane, boschive o isolate spesso pongono notevoli sfide agli operatori umani e ai mezzi convenzionali. I droni possono perlustrare questi luoghi inaccessibili e offrire una panoramica dettagliata dell'area colpita dall'incendio, consentendo agli operatori di prendere decisioni ben ponderate sulla strategia di spegnimento.

Monitoraggio Continuo: I droni sono capaci di garantire un costante monitoraggio dell'andamento dell'incendio. Possono effettuare voli regolari sull'area, raccogliendo informazioni in tempo reale riguardo al comportamento del fuoco, alle variazioni nelle condizioni del vento e alle aree più critiche che necessitano di intervento tempestivo.

Riduzione del Rischio per il Personale: Le attività di lotta agli incendi comportano spesso rischi significativi per il personale umano coinvolto. I droni offrono la possibilità di ridurre tali rischi, poiché possono condurre missioni di sorveglianza e estinzione senza che gli operatori debbano esporsi direttamente al pericolo.

Precisione e Efficienza: I droni sono equipaggiati con sofisticate tecnologie di navigazione e sensori, permettendo un'accuratezza superiore nella individuazione degli incendi e nell'orientamento degli operatori di spegnimento. Questo si traduce in una più elevata efficacia nel controllo degli incendi e nel razionale utilizzo delle risorse.

Adattabilità e Versatilità: I droni possono essere adattati per affrontare una varietà di situazioni e contesti. Possono trasportare diversi tipi di carichi utili, come liquidi, schiume o sostanze chimiche estinguenti, a seconda delle necessità specifiche dell'incendio e del terreno circostante.

1.2.3 Sfide e Limitazioni dei Droni Antincendio

Di seguito sono elencate le limitazioni dei droni:

Autonomia Limitata: Una delle principali sfide dei droni antincendio è rappresentata dalla limitata autonomia delle batterie. Le batterie al litio comunemente impiegate nei droni hanno una durata di volo limitata, che generalmente varia da 20 a 40 minuti a seconda del modello del drone e del carico trasportato. Questo costituisce un vincolo sulla copertura dell'area e sulla durata delle operazioni di sorveglianza e spegnimento degli incendi. Il problema dell'autonomia diventa particolarmente critico nelle operazioni su vasta scala o in zone remote, dove la rifornitura o la ricarica delle batterie può essere problematica.

Capacità di Carico Limitata: I droni antincendio hanno una capacità di trasporto limitata rispetto ai mezzi convenzionali come gli elicotteri o gli aerei antincendio. La quantità di liquido antincendio o altri agenti estinguenti che un drone può trasportare è vincolata dalle sue dimensioni e dalle prestazioni del motore. Questo limite può influire sull'efficacia dei droni durante le operazioni di spegnimento degli incendi su vasta scala o in caso di incendi di grandi dimensioni.

Condizioni Ambientali Avverse: Le situazioni meteorologiche avverse, come forti venti, intense precipitazioni o nebbia densa, possono influenzare negativamente le capacità operative dei droni antincendio. I droni sono soggetti a limitazioni di volo durante condizioni atmosferiche avverse per ragioni di sicurezza, il che potrebbe compromettere la loro efficacia nel rispondere a specifiche situazioni di emergenza.

Regolamenti e Normative: Ci sono leggi e regolamenti rigorosi che regolano l'impiego dei droni, soprattutto nei settori pubblici e in situazioni di emergenza come gli incendi. Questi regolamenti possono influenzare le attività dei droni antincendio, ad esempio stabilendo limiti sull'altezza massima di volo, sulle aree in cui è consentito operare, sull'utilizzo di specifici agenti estinguenti, e su altri aspetti relativi alla sicurezza e alla privacy. Rispettare questi regolamenti è fondamentale per garantire la sicurezza delle operazioni e per evitare potenziali rischi o controversie legali.

Complessità delle Operazioni: Le attività con droni antincendio richiedono competenze specifiche e una pianificazione dettagliata. La sincronizzazione tra droni e operatori umani, l'elaborazione dei dati raccolti e l'analisi delle informazioni possono essere complesse e richiedere ulteriori investimenti in termini di addestramento e infrastrutture di supporto.

1.2.4 Le considerazioni etiche e ambientali

Le considerazioni morali e ambientali legate all'impiego dei droni contro gli incendi richiedono un esame approfondito per assicurare che queste tecnologie vengano utilizzate in modo responsabile e sostenibile. Di seguito, esploriamo più dettagliatamente tali considerazioni:

Riservatezza e Sicurezza dei Dati: L'utilizzo dei droni per il monitoraggio e la gestione degli incendi può sollevare dubbi riguardo alla protezione della riservatezza e dei dati. Le telecamere e altri sensori sui droni possono raccogliere informazioni sensibili sulle persone e sulle proprietà. È fondamentale stabilire normative e regolamenti chiari sull'utilizzo, la conservazione e la condivisione dei dati raccolti dai droni per proteggere la riservatezza dei cittadini e garantire la sicurezza delle informazioni.

Impatto sull'Ambiente: L'impiego continuato dei droni antincendio può influire sull'ambiente, sia in termini di consumo energetico che di materiali utilizzati nella fabbricazione dei droni stessi. Le emissioni legate all'energia impiegata per far volare i droni e i residui di materiali come plastica e batterie devono essere valutati e mitigati. Inoltre, è essenziale considerare l'impatto ecologico delle operazioni di estinzione degli incendi sul terreno e sulla vegetazione circostante.

Effetti Collaterali Non Voluti: Durante le operazioni antincendio, i droni possono avere impatti collaterali indesiderati sull'ambiente circostante. Ad esempio, il rumore prodotto dai droni potrebbe disturbare la fauna selvatica o causare stress agli animali. È cruciale condurre valutazioni ambientali approfondite e considerare gli effetti a lungo termine sull'ecosistema locale prima di estendere l'uso dei droni nelle operazioni antincendio.

Contesto e Importanza del Problema: Assicurare un accesso equo e universale alle tecnologie dei droni per combattere gli incendi è essenziale per la sicurezza e la protezione di tutte le comunità. Le risorse finanziarie e logistiche richieste per implementare e gestire i droni non dovrebbero creare disparità tra le zone urbane e rurali o tra regioni sviluppate e in via di sviluppo. È importante promuovere politiche inclusive che permettano a tutte le comunità di trarre vantaggio dalle potenzialità dei droni nella gestione degli incendi.

1.2.5 Analisi del Problema e Obiettivi della Ricerca

Dopo un'analisi approfondita delle limitazioni dei metodi tradizionali nella gestione degli incendi nel corso di questo capitolo, diventa evidente l'importanza di sviluppare nuove strategie innovative. L'obiettivo principale è quello di superare le inefficienze e le sfide incontrate nei metodi convenzionali, introducendo l'uso dei droni come un ausilio fondamentale per le operazioni di gestione degli incendi. Questo nuovo approccio mira a migliorare la tempestività, l'efficacia e la sicurezza delle operazioni di emergenza, fornendo un nuovo strumento avanzato e versatile per contrastare gli incendi in modo più efficace e mirato. In questo contesto, l'integrazione dei droni rappresenta un passo significativo verso l'innovazione e il miglioramento delle pratiche nel settore della gestione degli incendi.

Capitolo 2

Esplorando l'Utilizzo dei Droni: Lo stato dell'arte

In questo capitolo, esaminerò una serie di articoli scientifici che offrono uno sguardo approfondito sullo stato dell'arte nell'utilizzo dei droni per la gestione degli incendi forestali. Questi articoli forniscono una panoramica sulle tecnologie, strategie e le migliori pratiche con l'impiego dei droni per il monitoraggio, la prevenzione e lo spegnimento degli incendi. In particolare, esploreremo le innovazioni recenti, le sfide affrontate e le prospettive future nel campo, basate sulle ricerche più attuali e autorevoli.

2.1 Tra Scoperte e Innovazioni: ‘Forest Firefighting Using Drone and Artificial Intelligence [7]’

Questo studio [7] ha esaminato l’impiego dei droni con l’intelligenza artificiale, in particolare le reti neurali convoluzionali (CNN) nel campo del deep learning, hanno dimostrato notevoli risultati nei compiti visivi, inclusa la classificazione delle immagini. Esistono diverse proposte basate su CNN per il rilevamento degli incendi, ad esempio utilizzando reti come FireCNN addestrate su database di fuoco e non fuoco, o metodi che estraggono regioni di fiamma per l’addestramento delle CNN.

Questo studio introduce tre approcci distinti per il rilevamento degli incendi: l’utilizzo del modello VGG-16 preaddestrato per la classificazione delle immagini di fuoco e fumo, l’impiego di Faster R-CNN per individuare fuoco e fumo su immagini annotate, e l’incorporazione dell’algoritmo YOLO per il rilevamento in tempo reale. I modelli sono stati ampiamente testati sia in ambienti virtuali 3D che in contesti reali per valutare le loro prestazioni. Le sezioni del documento sono organizzate per descrivere il framework di rilevamento degli incendi utilizzando i tre algoritmi e presentare i risultati ottenuti, concludendo con le considerazioni finali sull’intero studio.

2.1.1 Primo approccio

L’articolo proposto presenta un framework basato su reti neurali convoluzionali (CNN) per la classificazione di immagini, con particolare enfasi sul rilevamento degli incendi boschivi. Le CNN sono strutture di apprendimento profondo progettate per elaborare immagini e video, composte da strati convoluzionali, di pooling e completamente connessi, che consentono di estrarre e interpretare caratteristiche visive dalle immagini. In questo studio, viene utilizzata l’architettura avanzata VGG-16, nota per la sua precisione nella classificazione delle immagini.

Il modello VGG-16 viene addestrato utilizzando trasferimento di apprendimento su un dataset specifico sugli incendi boschivi, raccolto da fonti online tra cui Kaggle. Questo dataset comprende 21.929 immagini divise in tre categorie: Fuoco, Fumo e Non fuoco. Inizialmente, il modello aveva difficoltà a distinguere tra immagini di tramonti (confuse con il fuoco) e immagini di nebbia (confuse con il fumo), portando all’aggiunta della categoria "No Fuoco" per migliorare la precisione.

Il processo di addestramento è stato eseguito su un cluster HPC con specifiche hardware avanzate, tra cui processori Intel Xeon e una scheda grafica NVIDIA Quadro K5000. Il modello è stato addestrato per 10 epoche con immagini di input di dimensioni 224x224 e un batch size di 32.

I risultati dell’addestramento sono riportati in due tabelle: la prima mostra l’accuracy e la perdita ottenute alla fine del processo di addestramento, mentre la seconda fornisce precisione, richiamo e score F1 per ciascuna classe durante la fase di testing.

In conclusione, l’articolo descrive un approccio dettagliato e rigoroso basato su CNN per il rilevamento degli incendi boschivi, evidenziando l’importanza del trasferimento di apprendimento e della raccolta di dataset bilanciati per migliorare le prestazioni del modello.

	Train	Test
Accuracy	0.9917	0.9744
Loss	0.01	0.18

Figura 2.1: Table 1: Accuracy and loss values.[7]

	Fire	Smoke	No Fire
Precision	0.94	0.99	0.92
Recall	0.94	0.98	0.96
F1 score	0.94	0.99	0.94

Figura 2.2: Table 2: Precision,Recall, and F1 score of each class[7]

2.1.2 Secondo approccio

Il framework proposto, Faster R-CNN, è un sistema avanzato per il rilevamento degli oggetti che opera in due fasi distinte. Nella prima fase, un modello pre-addestrato come VGG, ResNet o Inception viene impiegato per estrarre le caratteristiche salienti da un’immagine di input, generando così una mappa delle caratteristiche. Questa mappa viene utilizzata successivamente dalla Region Proposal Network (RPN) per identificare le regioni di interesse (Region of Interest - ROI), indicando sia la rilevanza dell’oggetto che la sua posizione.

Nella seconda fase, le regioni di interesse individuate sono utilizzate per ritagliare specifiche caratteristiche dalla mappa delle caratteristiche iniziale tramite una procedura di ROI pooling. Le caratteristiche estratte da ciascuna regione di interesse sono quindi elaborate attraverso il resto della rete per la classificazione e il raffinamento della posizione dell’oggetto.

Nel contesto dell’articolo, il modello Faster R-CNN utilizza ResNet-50 come "backbone" per l’estrazione delle caratteristiche. È stato addestrato e valutato utilizzando un database annotato appositamente dedicato al rilevamento di fuoco e fumo, dove le immagini sono state etichettate con informazioni sulla classe dell’oggetto (fuoco o fumo) e la sua posizione.

Il processo di addestramento ha coinvolto la suddivisione del database annotato in set di addestramento e test. Per affrontare le sfide legate all’ambiente di addestramento degli oggetti su un cluster HPC, è stato adottato l’uso di Google Colab con TensorFlow e ResNet-50.

Il modello è stato valutato sia in un ambiente virtuale 3D simulato sia in scenari reali, compiendo test su sfondi verdi per simulare le condizioni delle foreste. Complessivamente, i risultati dimostrano che il modello addestrato con Faster R-CNN è in grado di classificare e localizzare con elevata precisione istanze di fuoco e fumo, rivelando efficacia sia in ambienti simulati che in contesti reali di rilevamento degli incendi boschivi.

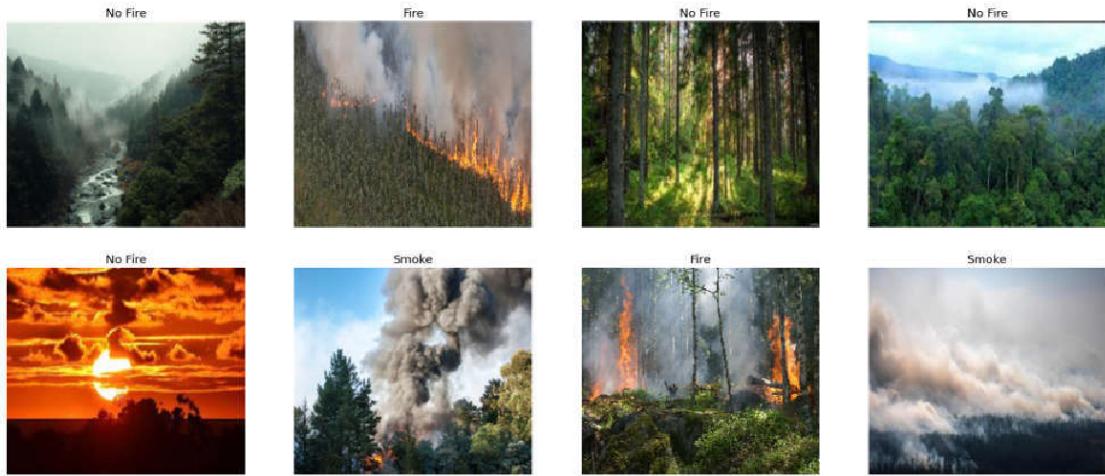


Figura 2.3: un label ed images prediction[7]

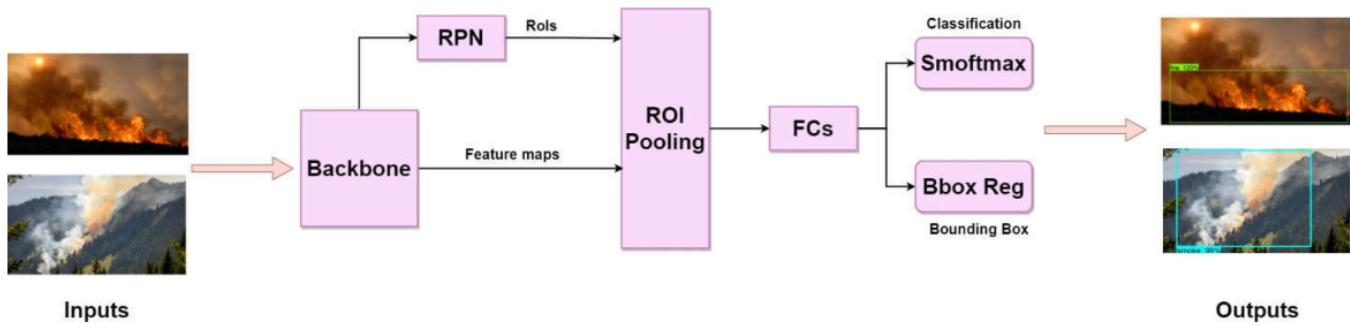


Figura 2.4: Fire and Smok e detecti on using Faster R-CNN[7]

2.1.3 Terzo approccio

L’articolo prosegue presentando il terzo approccio, che riguarda l’utilizzo di YOLO (You Only Look Once) come rilevatore di oggetti per identificare istanze di fuoco e fumo. YOLO è un sistema noto per il rilevamento in tempo reale degli oggetti, che suddivide l’immagine di input in una griglia e predice una scatola di delimitazione e una classe per gli oggetti in ciascuna cella della griglia.

L’architettura di YOLO è stata ispirata dal modello GoogLeNet, ma utilizza strati di riduzione 1×1 seguiti da strati convoluzionali 3×3 . Il modello YOLO-V8, l’ultima versione disponibile al momento dello studio, è stata addestrata per riconoscere fuoco e fumo utilizzando lo stesso dataset di immagini usato per altri rilevatori di oggetti.

Durante l’addestramento su Google Colab per oltre 200 epoch, con una risoluzione delle immagini di input di (640,640) e un batch size di 8, sono state monitorate tre tipi di perdite: Box_loss, cls_loss e dfl_loss. La Box_loss misura la discrepanza tra la scatola di delimitazione predetta e quella reale, la cls_loss valuta la discrepanza tra la classe predetta e quella reale, mentre la dfl_loss tiene conto della gestione delle classi sbilanciate nel modello.

Le prestazioni del modello sono state valutate utilizzando metriche di precisione, richiamo e media della precisione media (mAP) su diverse categorie di oggetti e soglie di Intersezione sopra Unione (IoU). Complessivamente, YOLO-V8 si è dimostrato

efficace nel riconoscere con precisione istanze di fuoco e fumo sia in simulazioni 3D che in situazioni reali di rilevamento di incendi boschivi.

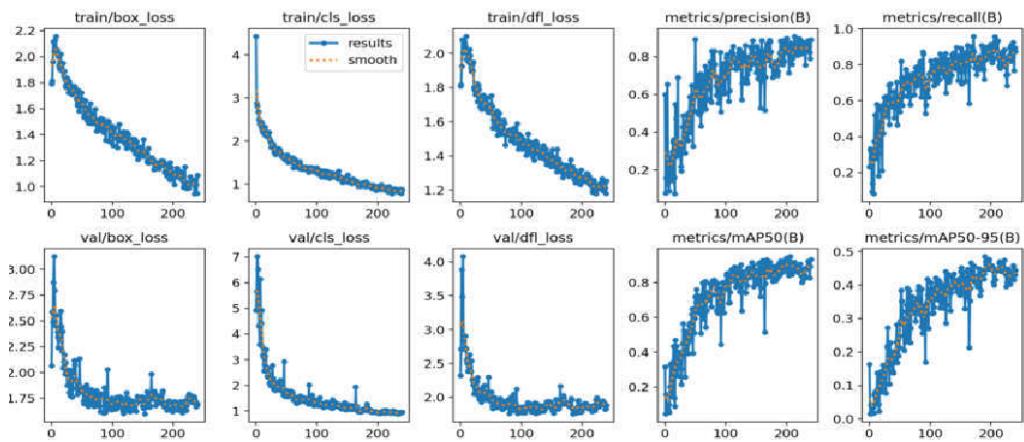


Figura 2.5: losses evolution during training and validation[7]



Figura 2.6: Test YOLO model on 3D virtual environment[7]



Figura 2.7: Test YOLO model on real word[7]

2.1.4 Conclusioni

In conclusione, questa ricerca propone l'utilizzo di tre approcci per il rilevamento in tempo reale degli incendi boschivi: CNN, Faster R-CNN e YOLO-v8. Le reti neurali convoluzionali (CNN) sono efficaci per la classificazione delle immagini ma meno adatte al rilevamento in tempo reale, risultando idonee per l'analisi delle immagini di fuoco e fumo acquisite.

D'altra parte, per il rilevamento in tempo reale, YOLO e Faster R-CNN emergono come le migliori opzioni in termini di precisione e velocità. Grazie a queste tecniche, siamo riusciti a ottenere un rilevamento preciso e rapido degli incendi boschivi, contribuendo a individuare gli incendi nelle loro fasi iniziali.

2.2 Scoprendo Nuovi Orizzonti con: ‘Forest Fire-Fighting Monitoring System Based on UAV team and Remote Sensing [13]’

Questo studio [13] che presenterò è un sistema di sorveglianza per le operazioni tattiche di gestione degli incendi boschivi utilizzando una flotta di veicoli aerei senza pilota e tecniche di rilevamento remoto. Si analizzano le funzioni e le missioni del sistema, oltre alla sua architettura. Vengono descritti gli algoritmi per l’elaborazione delle immagini e il rilevamento remoto, proponendo un metodo per integrare i dati in un modello di propagazione dell’incendio all’interno di un sistema di supporto decisionale in tempo reale per la gestione degli incendi boschivi. L’impiego combinato di monitoraggio automatico e tecniche di rilevamento remoto con un modello approssimativo di propagazione dell’incendio vedremo che riesce a garantire l’efficienza necessarie per la previsione e la gestione degli incendi.

2.2.1 Introduzione

L’articolo mette in risalto che il numero dell’intensità degli incendi boschivi siano in costante aumento, diventando più estesi, pericolosi e difficili da gestire. Le operazioni di risposta agli incendi boschivi sono complesse e spesso basate su osservazioni visive e stime soggettive. Tuttavia, le osservazioni visive sono limitate dall’ambiguità e dalle condizioni pericolose, mentre le misurazioni strumentali sono costose e difficili da eseguire in tempo reale. Per affrontare questa sfida, è necessario sviluppare sistemi di supporto decisionale in tempo reale (DSS) per le operazioni di risposta agli incendi boschivi, utilizzando moderni metodi di telerilevamento, sistemi di informazione geografica (GIS) e veicoli aerei senza pilota. L’obiettivo è sviluppare strumenti di monitoraggio online e sistemi diagnostici per gestire gli incendi boschivi in tempo reale, considerando la complessità e l’imprevedibilità di questi eventi.

Il testo discute l’importanza di individuare e spegnere rapidamente gli incendi boschivi per ridurre i danni. Dopo l’individuazione di un incendio, il decisore deve valutare vari parametri come la posizione del fuoco, le dimensioni del sito, e altri dettagli importanti sulla mappa del terreno per pianificare una risposta efficace agli incendi.

Il tasso di propagazione del fuoco è cruciale per comprendere il comportamento dell’incendio, ma ottenere stime precise in tempo reale tramite sistemi automatizzati o modelli computazionali è difficile a causa dell’incertezza e della complessità dei dati.

Nel contesto reale, l’obiettivo non è la precisione assoluta nelle stime dei parametri, ma la credibilità delle previsioni sullo sviluppo dell’incendio. Si propone l’uso di telerilevamento avanzato per ottenere informazioni dinamiche sulla posizione del fuoco e stime plausibili dei suoi parametri, integrando queste informazioni in un modello approssimativo di propagazione degli incendi.

L’obiettivo del lavoro è sviluppare un sistema di monitoraggio tattico degli incendi basato su multi-UAV (aeromobili a pilotaggio remoto), combinando il telerilevamento da diverse fonti con un modello GIS (Sistema informativo geografico) per valutare il terreno e integrandolo con il modello di propagazione del fuoco.

L’architettura del sistema include la definizione delle funzioni e delle missioni del sistema, la selezione degli UAV e dei sensori appropriati, e l’organizzazione delle tecniche di telerilevamento e di elaborazione delle immagini per fornire una risposta in tempo reale al problema degli incendi boschivi.

2.2.2 Il lavoro del drone

L’articolo prosegue illustrando il sistema di monitoraggio tattico degli incendi boschivi basato su multi-UAV ha lo scopo di svolgere diverse funzioni chiave per gestire gli incendi forestali in modo efficace:

- Rilevamento dell’incendio: Questo sistema individua potenziali incendi, riconosce gli incendi attivi e avvia il monitoraggio dell’incendio per fornire informazioni utili per la gestione.
- Monitoraggio dell’incendio: Determina la posizione e l’estensione dell’incendio, tracciando la sua evoluzione nel tempo attraverso osservazioni continue.
- Diagnosi dell’incendio: Fornisce dettagli sulle caratteristiche dell’incendio, aiutando a stimare parametri critici per comprendere la sua dinamica.
- Prognosi dell’incendio: Prevede l’evoluzione futura dell’incendio in tempo reale, consentendo una pianificazione più precisa delle operazioni di emergenza.

Il sistema utilizza un gruppo diversificato di UAV per individuare, seguire e analizzare gli incendi boschivi, al fine di fornire informazioni tempestive e precise ai responsabili delle decisioni per la gestione degli incendi. Le operazioni del sistema si suddividono tipicamente in tre fasi: ricerca, conferma e monitoraggio dell’incendio, con ciascun UAV svolgendo missioni specifiche in ogni fase.

Le principali tipologie di missioni per gli UAV includono:

- Missione di pattugliamento: Sorveglianza dell’area per individuare eventuali incendi.
- Missione di conferma: Verifica dell’incendio individuato.
- Missione di monitoraggio: Osservazione continua dell’incendio confermato per analizzare le sue dinamiche.

Il sistema implica l’uso di UAV diversi con vari sensori, gestiti da un centro di comando a terra che integra comunicazioni, elaborazione dei dati geografici (GIS) e un sistema di supporto decisionale (DSS). Questo centro di comando aiuta a coordinare le attività di monitoraggio e risposta agli incendi in tempo reale.

La struttura di base del sistema comprende una flotta di UAV, un’infrastruttura di supporto a terra, algoritmi specializzati per il telerilevamento e l’elaborazione delle immagini, insieme a un centro di comando dedicato. L’obiettivo finale è migliorare l’efficacia delle operazioni antincendio fornendo informazioni dettagliate e tempestive agli operatori sul campo.

2.2.3 Analisi e conclusioni

Il sistema di controllo integrato a bordo degli UAV è stato prototipato utilizzando il microcontrollore embedded STM32F429 (180 MHz Cortex M4, 2Mb di Flash/256Kb di RAM interna, QSPI Flash N25Q512). Il centro di controllo utilizzava due server HP ProLiant ML350 (Intel Xeon E5-2620, 8 core fino a 3 GHz). Il sistema è stato testato con un team di multi-UAV (3 droni per le missioni di pattugliamento, 1 elicottero per la missione di conferma e 1 octocopter per la missione di monitoraggio). È stato utilizzato un modello approssimativo di propagazione dell’incendio per calcolare il tasso di propagazione dell’incendio e ottenere altri parametri necessari per la presa di decisioni, nonché la posizione del fronte dell’incendio sulla mappa del terreno. Le telecamere di tutti gli UAV sono state calibrate con precisione.

Sono stati condotti esperimenti di simulazione variando la dimensione della cella da 5 m a 25 m e il numero di livelli di discretizzazione negli algoritmi di elaborazione delle immagini. I risultati ottenuti riflettono che il collo di bottiglia è il significativo carico computazionale del sistema di controllo integrato a bordo degli UAV. Un ulteriore aumento della potenza di elaborazione è limitato dalle caratteristiche disponibili e richiede di spostare parte dell’elaborazione delle immagini al centro di comando a terra. Tuttavia, il sistema sviluppato ha dimostrato una probabilità soddisfacente di rilevamento corretto degli incendi boschivi (circa il 92%) in condizioni quasi in tempo reale (tempo di elaborazione inferiore a 2 minuti) con una dimensione della cella di 10 m e 16 livelli di discretizzazione del colore. Utilizzando il sistema sviluppato, è stata raggiunta un’accuratezza elevata (fino al 96%) nella previsione della propagazione dell’incendio per vari tipi di terreno e condizioni meteorologiche.

In conclusione, è stato presentato un sistema di monitoraggio basato su multi-UAV per operazioni tattiche di spegnimento degli incendi boschivi. Sono stati descritti le funzioni, le missioni e l’architettura del sistema, così come i tipi di UAV e i sensori utilizzati. Sono state presentate tecniche di telerilevamento e di elaborazione delle immagini. È stata proposta l’integrazione dei dati nel modello di propagazione dell’incendio in tempo reale per il sistema di supporto decisionale nella risposta agli incendi boschivi. L’approccio innovativo consiste nell’ottenere stime indirette di parametri utili per il modello di propagazione dell’incendio tramite tecniche di telerilevamento e di elaborazione delle immagini proposte. Questo consente ai decisori di calcolare importanti parametri degli incendi e fare previsioni sulla base del modello approssimativo di propagazione degli incendi.

2.3 Sbirciando nel Futuro con ‘A Conceptual Design of a Firefighter Drone’ [2]

In questa sezione, approfondirò un articolo scientifico [2] con informazioni che riguardano anche gli l’articoli [5],[15],[6],[12], focalizzandomi sulle informazioni più significative e rilevanti.

Questo documento presenta il design meccatronico di un drone antincendio. Gli aeromobili senza pilota sono noti da molti anni e presentano caratteristiche che li rendono adatti a diverse applicazioni. Attualmente, questi dispositivi stanno diventando sempre più popolari e la loro utilità si sta rapidamente diffondendo in molteplici settori. Questo studio si concentra sull’implementazione di un dispositivo a basso costo che può contribuire al controllo degli incendi. Grazie a questo sistema meccatronico, è possibile individuare e estinguere gli incendi tempestivamente senza mettere a rischio la vita umana. Questi droni possono assistere i vigili del fuoco nella gestione degli incendi in edifici di grandi dimensioni. Viene fornita una breve descrizione del sistema meccatronico proposto, insieme agli esperimenti che ne dimostrano le funzionalità principali.

2.3.1 Introduzione

L’articolo presenta un progetto di design meccatronico per un drone antincendio, concentrandosi sull’applicazione di veicoli aerei senza pilota (UAV) per il monitoraggio e la gestione degli incendi forestali. Si fa riferimento al contesto di Città del Messico, affrontando annualmente circa 500 incendi boschivi con impatti significativi sull’ambiente e sulla sicurezza delle persone.

La sfida principale è rappresentata dalla difficoltà di raggiungere tempestivamente le aree interessate dagli incendi, a causa del traffico cittadino e delle limitazioni operative dei mezzi tradizionali come gli elicotteri utilizzati per trasportare acqua sul luogo dell’incendio.

L’articolo propone l’utilizzo di droni per il monitoraggio e la risposta agli incendi, sfruttando la loro velocità, autonomia e capacità di accesso a luoghi altrimenti inaccessibili. L’obiettivo è combinare la funzionalità di un drone con la capacità di estinguere gli incendi, consentendo un intervento mirato e rapido per contenere l’area danneggiata.

Il design proposto prevede l’utilizzo di un hexacopter controllato a distanza, equipaggiato con un sistema di rilascio manuale per scaricare bombe estintori. Questa soluzione mira a ridurre il rischio di propagazione dell’incendio e a fornire supporto operativo ai vigili del fuoco.

Il contributo principale di questo lavoro risiede nella capacità di trasportare e rilasciare con precisione sfere estintori su obiettivi specifici mediante l’uso di droni. Si intende dimostrare la fattibilità di questo approccio attraverso la realizzazione di un prototipo di drone antincendio.

2.3.2 Descrizione e proposta di un drone

In questa sezione l’articolo propone un prototipo di drone inserendo delle informazioni specifiche di quest’ultimo.

Il drone proposto è un esacottero con una capacità di sollevamento di 13 chilogrammi, sviluppato e costruito per trasportare carichi in grado di spegnere un fuoco su un’area di 10 metri quadrati e rilasciarli in una zona specifica.



Figura 2.8: Black box diagram of the proposal.[2]

Il diagramma della scatola nera mostrato (Figura 2.1) rappresenta il modello del sistema come un design input-output, senza entrare nei dettagli dei componenti interni, evidenziando così la funzionalità principale della proposta.

Per l’implementazione del drone, sono stati selezionati i componenti in base agli obiettivi del progetto, tra cui controller di volo e motori, trasmettitore e ricevitore, eliche e batteria. Il drone è un esacottero controllato da un trasmettitore e ricevitore wireless connesso a un sistema GPS. I carichi vengono rilasciati tramite un dispenser progettato per mantenere stabile il baricentro del drone quando perde peso, azionato da un servomotore controllato dallo stesso trasmettitore del drone. Il sistema di comunicazione utilizzato è il RC TGY-I6, un trasmettitore e ricevitore radio a 6 canali, come mostrato nella Figura 3, che permette di modellare le parti interne del sistema.

Il feedback per l’utente è fornito tramite un display collegato al trasmettitore e ricevitore e altri sensori installati sul drone, tra cui un lettore di temperatura e una videocamera GoPro, insieme ai sensori integrati sul NAZA (altimetro, giroscopio, GPS).

Il peso complessivo del drone con il carico è di circa 7 kg, considerando due bombole estintori da 1,5 kg ciascuna. Un fattore di sicurezza del 1,2 è stato applicato, portando il peso approssimativo a 8,5 kg. Durante la progettazione e la configurazione del drone, sono stati considerati sia i fattori interni come la potenza dei motori, le eliche e il tipo di batteria, sia le condizioni esterne che influenzano il volo, come le variazioni atmosferiche durante un incendio.

La densità dell’aria a temperatura ambiente (20°C) è di $1,204 \text{ kg/m}^3$, ma diminuisce a temperature più elevate. Supponendo che il drone volerà in condizioni di temperatura fino a 1000°C , la densità diminuisce a $0,25 \text{ kg/m}^3$, e sono stati calcolati i requisiti di sollevamento aggiuntivo necessari per mantenere la stabilità del drone utilizzando il principio di Archimede.

La spinta totale del drone esacottero con i motori brushless selezionati è di 13 kg, corrispondente ai requisiti di progetto. La configurazione a più rotorri consente di gestire eventuali guasti ai motori, aumentare il carico totale e fornire maggiore stabilità, particolarmente importante durante il rilascio dei carichi quando la massa del drone cambia significativamente.

2.3.3 Analisi: risultati e conclusioni

Nella prima fase, gli autori hanno implementato il prototipo come mostrato nella Figura 2.2. Come evidenziato, il drone è configurato come un esacottero con il



Figura 2.9: Black box diagram of the proposal.[2]

dispenser montato sotto la struttura. Durante le prove, sono state testate diverse dimensioni di eliche per identificare quelle che garantivano maggiore stabilità durante il volo. Il prototipo dell’articolo ha dimostrato una maggiore compatibilità con eliche da 8 pollici. Di seguito sono presentati i risultati ottenuti durante i test:

- La reattività del radiocomando è stata praticamente istantanea. Il dispenser è stato attivato per rilasciare il carico in verticale, e la media dei tempi di risposta è stata di 0,95 secondi.
- La figura 5 mostra l’area coperta dai carichi in relazione all’altezza raggiunta dal drone. Durante questo test è stata analizzata la relazione tra l’altezza del drone e l’estensione dell’area coperta. Con un’altitudine maggiore, l’area di copertura aumenta significativamente.
- L’uso percentuale della potenza in relazione all’altezza (in cm) è riportato nella figura 6.

I risultati (fig. 2.3) indicano che con il 70% della potenza dei motori, il drone potrebbe raggiungere un’altezza di 30 metri. Tuttavia, per motivi di sicurezza gli

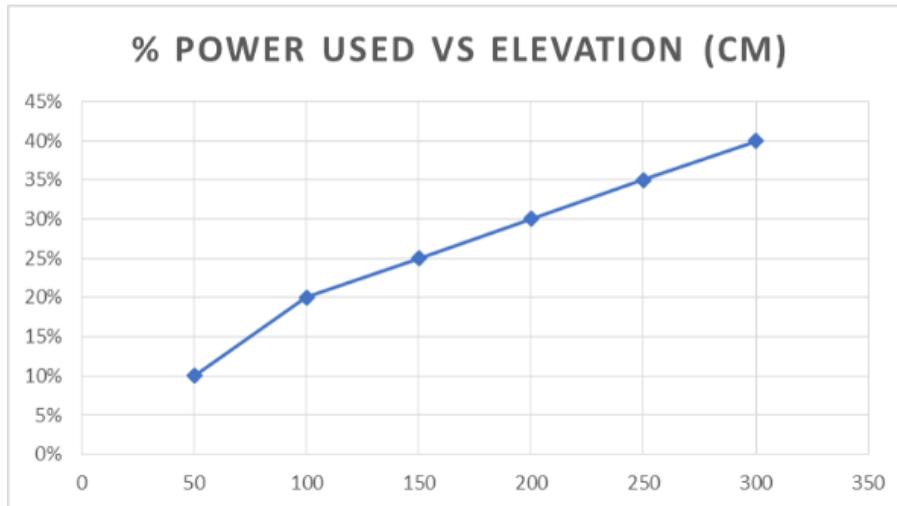


Figura 2.10: Black box diagram of the proposal [2]

autori durante le prove, hanno mantenuto il volo a 3 metri, corrispondenti al 40% della potenza.

Questo articolo si propone di presentare un progetto concettuale di drone destinato a supportare i vigili del fuoco durante le operazioni di spegnimento degli incendi. I droni vengono impiegati in varie aree operative, tra cui ricerca e salvataggio, sicurezza, sorveglianza, scienza e ricerca. L’introduzione di un drone come strumento per i vigili del fuoco apre nuovi orizzonti di studio e contribuisce a migliorare la qualità della vita. Questa proposta di drone si differenzia dalle altre per essere una soluzione economica che non solo consente di sorvolare le aree danneggiate, ma anche di interagire direttamente con l’incendio, controllandolo e fungendo da ausilio per i vigili del fuoco.

Con i risultati ottenuti dagli esperimenti, gli obiettivi del progetto possono essere confermati, garantendo che il drone raggiunga l’altezza desiderata, mantenga la stabilità durante il volo e copra efficacemente l’area necessaria per gestire un incendio.

2.4 Verso Nuove Scoperte con: ‘Quadcopter to locate & assist endangered person in a place of fire’

In questo paragrafo parlerò di un articolo scientifico [9] focalizzandomi anche qui su informazioni più significative e rilevanti. Questo articolo parla dei droni quadricottero che sono veicoli aerei senza pilota (UAV) dotati di quattro eliche. Questo articolo espone il funzionamento e il design di base del quadricottero utilizzato dai vigili del fuoco. L’obiettivo di questo documento è illustrare questo concetto in modo da supportare le squadre dei vigili del fuoco e apportare benefici all’umanità. Tale tecnologia sarà fondamentale nell’individuare persone in pericolo intrappolate da fuoco e fumo, permettendo di salvarle in sicurezza.

2.4.1 Introduzione

I pompieri possono impiegare il drone antincendio per individuare persone intrappolate in incendi pericolosi. Il drone antincendio può raggiungere zone altrimenti inaccessibili durante un incendio per localizzare e salvare persone. Le persone possono essere individuate tramite una telecamera termica, in grado di rilevare la loro posizione grazie alla bassa temperatura corporea nell’ambiente infuocato. Questo drone antincendio può essere controllato dall’operatore pompiere e diventare un componente della squadra di soccorso. Il drone antincendio può accedere rapidamente ai piani superiori di un edificio in meno tempo rispetto a quanto richiederebbe portare un vigile del fuoco fino a quel livello utilizzando una gru. Inoltre, il drone trasporterà una coperta ignifuga e una piccola pompa antincendio, utili per proteggere le persone dal fuoco fino all’arrivo dell’assistenza dei pompieri.

I droni quadricottero sono veicoli aerei senza pilota (UAV) dotati di quattro eliche. Trovano impiego principalmente nell’ambito militare per esplorare specifiche aree del terreno. L’obiettivo di questa applicazione è descrivere il concetto di drone antincendio in modo che possa essere utilizzato in collaborazione con le squadre dei vigili del fuoco, apportando benefici all’umanità. Il suo obiettivo è quello di individuare delle persone in pericolo intrappolate dal fuoco e dal fumo, garantendo la loro salvezza in sicurezza e in tempi brevi.

2.4.2 Design del drone

Nelle immagini seguenti, tratte dallo stesso articolo, viene illustrato il design del drone. Nella Figura 2.4 possiamo osservare il quadricottero con la telecamera termica: indispensabile per rilevare la presenza di persone o oggetti attraverso la percezione del calore emanato, particolarmente utile durante operazioni di ricerca e soccorso in ambienti ostili come incendi o situazioni di emergenza. Nell’immagine 2.5 possiamo osservare il drone che trasporta un carico, questo è un esempio, infatti di un possibile trasporto di trasporto di sostanze ospedaliere.

2.4.3 Il lavoro del drone

L’articolo prosegue illustrando che l’elicottero dei pompieri viene fatto volare nella zona dell’incendio (Area infuocata). Un operatore controlla il drone utilizzando la



Figura 2.11: Black box diagram of the proposal.[2]



Figura 2.12: Trasportatore di quadricottero.[2]

tecnologia wireless RC dal camion dei vigili del fuoco, senza alcun rischio personale. Quindi in questo caso si tratta di un drone controllato a distanza.

Una telecamera montata sul drone fornisce una visione in diretta della situazione. La telecamera sul quadricottero è utilizzata per controllare la direzione (l'operatore può vedere lo streaming live sullo schermo del telecomando). La telecamera termica trasmette in tempo reale tutte le immagini all'operatore, che prende decisioni basate su queste informazioni.

Utilizzando i dati termici ricevuti, l'operatore della telecamera individua gli esseri umani a causa della bassa temperatura corporea rispetto all'ambiente infuocato e fumoso (il corpo umano è distintivo perché non sono presenti altre fonti di calore oltre agli esseri umani).

Il drone trasporta una coperta antincendio e pompe estintore sull'apposito vassolo di trasporto. Questi articoli proteggono gli esseri umani dal fuoco.

Si mette in risalto come il Quadcopter dei pompieri viene impiegato per individuare o localizzare persone intrappolate in una casa o edificio in fiamme al fine di salvare vite in pericolo. Trovare una persona al 12° piano rappresenta una sfida

ardua per i pompieri e richiede molto tempo, il che potrebbe portare a incidenti. In queste circostanze, questo dispositivo aereo è estremamente utile. Può inoltre anche raggiungere zone altrimenti inaccessibili durante un incendio per localizzare persone e soccorrerle. Un altro vantaggio è sicuramente quello di essere molto intuitivo e adatto a chiunque.

Riesce a trasportare anche una coperta altamente resistente al fuoco e una piccola pompa antincendio aiutando le persone a proteggersi dalle fiamme fino all'arrivo del team di soccorso.

2.4.4 Analisi e conclusioni

Questo articolo introduce una nuova applicazione del Quadcopter per individuare e assistere persone in pericolo intrappolate in edifici in fiamme. Inoltre, illustra le diverse parti e i vantaggi di questo dispositivo aereo. Oltre ai molteplici benefici sopra riportati, il drone è utile anche per le persone con disabilità fisiche che possono far parte del team dei pompieri controllando questo dispositivo. In futuro, mediante l'utilizzo di algoritmi di intelligenza artificiale e apprendimento automatico, i Quadcopter potrebbero soccorrere persone intrappolate nel fuoco senza richiedere intervento umano.

2.5 Affrontando le Sfide degli approcci precedenti

Nel panorama della gestione degli incendi boschivi, i progressi tecnologici hanno portato all'introduzione per il monitoraggio e il controllo delle emergenze ambientali. Tuttavia, molte di queste proposte affrontano diverse sfide che ne compromettono l'efficacia e la tempestività nell'affrontare gli incendi stessi.

Tra i limiti identificati negli approcci precedenti, l'impiego di reti neurali convoluzionali (CNN), Faster R-CNN e YOLO-v8, introdotti dal primo articolo, per il rilevamento in tempo reale degli incendi boschivi emerge come una sfida significativa. Sebbene queste reti siano state efficaci nella classificazione delle immagini, hanno dimostrato limiti nell'affrontare il rilevamento in tempo reale, compromettendo la velocità di risposta in scenari di emergenza critica.

Inoltre nel secondo articolo, i sistemi di sorveglianza basati su multi-UAV hanno affrontato una sfida significativa correlata al carico computazionale del sistema di controllo integrato sui droni. Questo ostacolo ha rallentato la velocità di elaborazione e risposta del sistema, riducendo la sua efficacia nel gestire incendi boschivi in rapida evoluzione.

Allo stesso modo anche nel terzo articolo, droni hanno incontrato limitazioni riguardanti la capacità di rilevamento e risposta in tempo reale agli incendi. Nonostante questi droni abbiano dimostrato di poter raggiungere le altezze desiderate e mantenere la stabilità durante il volo, la loro efficacia nel rispondere prontamente agli incendi in tempo reale è rimasta una sfida non completamente superata.

In risposta a queste sfide, attraverso l'impiego di ASP, il nostro sistema di controllo dei droni antincendio è in grado di adattarsi dinamicamente alle mutevoli condizioni dell'ambiente, consentendo una risposta tempestiva e mirata agli incendi boschivi. Inoltre, l'approccio ASP offre un notevole vantaggio in termini di gestione del carico computazionale, consentendo una distribuzione efficiente delle risorse di elaborazione tra il drone stesso e il centro di controllo a terra.

D'altro canto, l'utilizzo di ASP per il controllo del drone potrebbe conferire al dispositivo una maggiore autonomia nel prendere decisioni in tempo reale, in modo che possa elaborare autonomamente le informazioni e agire conformemente a una serie di condizioni e regole predefinite. Ciò riduce la dipendenza da comunicazioni costanti con un operatore remoto, come illustrato nel quarto articolo di questo capitolo.

Capitolo 3

Progettazione di un drone

In questo capitolo presenterò un'applicazione che ho sviluppato per la gestione degli incendi attraverso l'impiego di un drone.

In un'epoca in cui le catastrofi naturali rappresentano una minaccia sempre più pressante per l'ambiente e per le comunità umane, l'utilizzo di tecnologie avanzate diventa essenziale per mitigare i danni e garantire la sicurezza delle persone.

L'implementazione di un sistema di gestione degli incendi basato su droni è stato realizzato attraverso il linguaggio di programmazione ASP (Answer Set Programming). Questo capitolo esplora in dettaglio l'architettura, le funzionalità e l'efficacia di tale sistema, offrendo un'analisi della soluzione proposta e delle sfide incontrate durante il processo di sviluppo.

Nel corso di questo capitolo, saranno esplorati i dettagli tecnici del software implementato, comprese le sue funzionalità chiave, le scelte di progettazione e le metodologie di valutazione impiegate per garantirne l'affidabilità e l'efficacia.

In conclusione, questo capitolo si propone di offrire una visione dettagliata e critica del software implementato, contribuendo così alla comprensione e all'avanzamento delle soluzioni tecnologiche per la gestione degli incendi e delle emergenze connesse.

3.1 Introduzione all'Answer Set Programming (ASP)

L'Answer Set Programming (ASP) è un paradigma di programmazione dichiarativa utilizzato principalmente nel campo dell'intelligenza artificiale. A differenza di altri linguaggi di programmazione, che specificano esplicitamente l'algoritmo per risolvere un problema, ASP consente ai programmatore di dichiarare le condizioni in cui una soluzione è accettabile e lascia al solver la determinazione dei modelli che soddisfano tali condizioni. Questo perché si basa sulla rappresentazione dei problemi attraverso regole logiche e sulla ricerca di soluzioni come 'insiemi di risposte' (answer sets), che corrispondono ai modelli stabili delle regole definite.

3.1.1 Sintassi ASP

La sintassi di base di ASP comprende atomi, regole e fatti. Gli atomi rappresentano proposizioni atomiche o predicati. Le regole definiscono relazioni tra gli atomi. I fatti sono affermazioni che sono sempre vere e possono essere utilizzati come input per la definizione dei modelli.

```
%Questi fatti dichiarano semplicemente che esistono tre
attivita colazione , studio e palestra .
```

```
attivita ( colazione ) .
```

```
attivita ( studio ) .
```

```
attivita ( palestra ) .
```

```
%Queste regole stabiliscono le condizioni per svolgere
ciascuna attivita
```

```
fare ( colazione ) :- mattina , non _ pranzato .
```

```
fare ( studio ) :- pomeriggio , colazione _ fatta .
```

```
fare ( palestra ) :- sera , colazione _ fatta , studio _ fatto .
```

```
%Questi atomi rappresentano i vari stati o condizioni che
possono essere veri o falsi .
```

```
mattina .
```

```
pomeriggio .
```

```
sera .
```

```
non _ pranzato .
```

```
colazione _ fatta .
```

```
studio _ fatto .
```

3.1.2 La negazione

La negazione in ASP si afferma esplicitamente che un fatto non è vero. È importante notare che la negazione non implica l'assenza di informazioni nel contesto dell'ASP, ma piuttosto l'affermazione esplicita che un fatto non è presente. Nell'esempio sotto riportato in questo caso q non verrà generato, perché esiste p.

```
p .
```

```
q :- not p .
```

3.1.3 Vincolo di integrità

I vincoli di integrità sono regole senza testa come quella sotto riportata, impongono una condizione che deve essere soddisfatta affinché il modello sia accettabile. Le regole di integrità vengono utilizzate per imporre restrizioni sulle possibili soluzioni nel modello stabile. In questo caso il modello viene considerato non soddisfatto.

```
p.  
:- not p.
```

3.1.4 Semantica ASP

La semantica in ASP fornisce un quadro formale per interpretare e valutare i programmi ASP e si basa sui seguenti punti:

1. Modelli stabili: Un modello stabile è un insieme di atomi che soddisfa tutte le regole del programma. In altre parole, un modello stabile rappresenta una soluzione accettabile per il problema. Possono coesistere più soluzioni accettabili.
2. Logica non monotona: ASP è basato su una logica non monotona, il che significa che l'aggiunta di nuove informazioni può portare alla revisione dei modelli stabili esistenti.
3. Assenza di contraddizioni: Nei modelli stabili di ASP non devono esserci contraddizioni. Un modello stabile deve essere coerente e non può contenere atomi che rendano vere sia una regola che la sua negazione.

3.1.5 Varianti

Una delle varanti di ASP è DLV. DLV è stato sviluppato presso l'Università di Calabria. È stato creato da un gruppo di ricerca guidato dal professor Nicola Leone, che è uno dei pionieri nel campo dell'Answer Set Programming (ASP). Oltre a supportare tutta la sintassi di ASP, DLV introduce nuove funzionalità come somme, conteggi, medie.

3.2 Implementazioni del Software

Le regole ASP rappresentano il cuore del software implementato per la gestione degli incendi da parte dei droni. Queste regole sono progettate per guidare il comportamento del drone durante le operazioni di sorveglianza e gestione degli incendi, consentendo al sistema di prendere decisioni in tempo reale e di adattarsi dinamicamente alle mutevoli condizioni ambientali.

Le regole sono suddivise in diverse categorie, ciascuna con uno specifico obiettivo e funzionalità. Ad esempio, alcune regole sono responsabili della definizione dello stato attuale del drone e delle attività che deve svolgere, come il decollo iniziale, il sorvolo dell'area interessata dall'incendio e il ritorno alla base quando la batteria è scarica. Queste regole consentono al drone di operare in modo autonomo e coordinato, garantendo un utilizzo efficiente delle risorse disponibili.

Altre regole gestiscono la pianificazione delle azioni da intraprendere per gestire gli incendi in base alle informazioni disponibili, come la posizione degli incendi, le condizioni meteorologiche e la presenza di persone o animali nell'area interessata. Queste regole permettono al drone di valutare la situazione e di adottare strategie efficaci per spegnere gli incendi e proteggere le persone e l'ambiente circostante.

Inoltre, alcune regole sono progettate per affrontare specifiche situazioni o problemi che possono sorgere durante le operazioni di gestione degli incendi, come la presenza di più incendi nelle vicinanze o la necessità di coordinare le azioni del drone con i soccorritori per gli umani o animali. Queste regole consentono al sistema di adattarsi dinamicamente alle condizioni del terreno e alle esigenze emergenti, garantendo una risposta rapida ed efficace alle emergenze.

Complessivamente, le regole ASP svolgono un ruolo cruciale nel garantire il funzionamento efficiente e sicuro del sistema di gestione degli incendi tramite drone, consentendo al sistema di adattarsi in modo intelligente alle mutevoli condizioni ambientali e alle esigenze operative.

Per visionare le regole ASP relative all'implementazione del drone, si rimanda all'appendice A.

3.3 Regole principali e loro funzionalità

Il codice ASP implementato per la gestione degli incendi da parte del drone è organizzato in diverse regole che definiscono il comportamento del drone in varie situazioni. Di seguito, vengono fornite spiegazioni delle principali regole e dei concetti chiave:

Regola di partenza del drone

stato(partenza, T) :- attivita(partenza), tempo(T), not batteria(low, T).

Questa regola definisce lo stato iniziale del drone quando inizia la sua attività di gestione degli incendi. Il drone parte allo STATO 0, purché la batteria non sia scarica.

Regola per il sorvolo dell'area

stato(sorvoloDellArea, V) :- stato(partenza, T), V = T+1.

Questa regola definisce lo stato successivo del drone, che è quello di iniziare a sorvolare l'area interessata dagli incendi. Questo avviene al tempo successivo al tempo di partenza.

Regola per la gestione degli incendi

stato(gestioneIncendio, T)|stato(sorvoloDellArea, T) :- stato(_, V), T = V + 1, statiMassimi(S), T < S.

Questa regola indica lo stato in cui il drone decide l'azione da intraprendere per gestire un incendio allo stato T. Il drone può decidere di gestire l'incendio o di continuare a sorvolare l'area.

Regole per individuare due incendi vicini: nel caso esistono due incendi vicini, vengono gestiti in ordine di gravità

- *distanza(X, Y, X1, Y1, D) :- coordinateIncendiChePossiamoGestire(X, Y), coordinateIncendiChePossiamoGestire(X1, Y1), D = (X - X1)² + (Y1 - Y)², X ≠ X1, Y ≠ Y1.*
- *distanzaQuadrata(X1, X2, X, Y, D1) :- distanza(X1, X2, X, Y, D), D < 0, D1 = D * -1.*
- *distanzaQuadrata(X1, X2, X, Y, D1) :- distanza(X1, X2, X, Y, D), D >= 0, D1 = D.*

Queste regole verificano se ci sono due incendi nelle vicinanze e, in caso affermativo, garantiscono che venga gestito il più grave dando priorità perciò all'incendio con un livello di allerta alto.

Regola per inviare informazioni ai pompieri riguardo la direzione del getto dell’acqua

- $\text{direzioneAcqua}(X, Y, V, D) : - \text{azione}(\text{gestioneIncendio}, V, X, Y),$
 $\text{vento}(X, Y, D, _).$
- $\text{direzioneAcquaFraDueOre}(X, Y, V, D) : -$
 $\text{azione}(\text{gestioneIncendio}, V, X, Y),$
 $\text{vento}(X, Y, D, _).$

Con questa regola è possibile inviare le informazioni ai pompieri per comunicare la direzione del getto dell’acqua rispetto all’incendio.

Regola per inviare informazioni ai pompieri riguardo la direzione del getto dell’acqua

- $\text{informazioniPerISoccorritori}(X, Y, V, D, C, T, U) : -$
 $\text{azione}(\text{gestioneIncendio}, V, X, Y), \text{direzioneAcqua}(X, Y, V, D),$
 $\text{condizioneMeterologica}(X, Y, C), \text{temperatura}(X, Y, T),$
 $\text{umiditaInPercentuale}(X, Y, U).$
- $\text{informazioniPerISoccorritoriNelleDueOreSuccessive}(X, Y, V, D2, C, T, U)$
 $: - \text{azione}(\text{gestioneIncendio}, V, X, Y),$
 $\text{direzioneAcquaFraDueOre}(X, Y, V, D2),$
 $\text{condizioneMeterologicaNelle2OreSuccessive}(X, Y, C),$
 $\text{temperaturaNelle2OreSuccessive}(X, Y, T),$
 $\text{umiditaInPercentualeNelle2OreSuccessive}(X, Y, U).$

Con questa regola è possibile inviare delle informazioni riguardanti: vento, condizione metereologica, temperatura e umidità e nel tempo corrente e dopo due ore.

Regola per inoltrare una richiesta di ambulanze per persone e animali

- $\text{chiamataSoccorsoInoltrata}(X, Y, V, N) : - \text{azione}(\text{gestioneIncendio}, V, X, Y),$
 $\text{presenzaUmaniNellAreaLimitrofaDellIncendio}(X, Y, N), N > 0.$
- $\text{chiamataSoccorsoVeterinarioInoltrata}(X, Y, V, N) : -$
 $\text{azione}(\text{gestioneIncendio}, V, X, Y),$
 $\text{presenzaAnimaliNellAreaLimitrofaDellIncendio}(X, Y, N), N > 0.$
- $\text{invioVentilatoriManuali}(X, Y, N) : - \text{richiestaDiVentilatori}(X, Y, N),$
 $\text{azione}(\text{gestioneIncendio}, X, Y).$

Le prime due regole consentono di inoltrare la richiesta di ambulanze per persone o di assistenza veterinaria per animali, in base alle necessità rilevate dal drone. Nell’ultima regola, invece, è possibile richiedere l’invio di ventilatori manuali o altri dispositivi medici attraverso un drone appositamente attrezzato per questo scopo.

Regola per definire lo stato di allerta di un incendio

- $statoDiAllerta(alto, X, Y, V) : -azione(gestioneIncendio, V, X, Y), vento(X, Y, N), temperatura(X, Y, T), umiditaInPercentuale(X, Y, U), dimensioneDellIncendioInEttari(X, Y, D), N > 19, T > 28, U < 7, D > 70.$
- $statoDiAllertaFuturo(alto, X, Y, V) : -azione(gestioneIncendio, V, X, Y), ventoNelle2OreSuccessive(X, Y, N), temperaturaNelle2OreSuccessive(X, Y, T), umiditaInPercentualeNelle2OreSuccessive(X, Y, U), dimensioneDellIncendioInEttari(X, Y, D), N > 19, T > 28, U < 7, D > 70.$

Queste due regole consentono di determinare quando attivare lo stato di allerta, nel tempo corrente o nelle successive due ore.

Regola per la richiesta di canadair

- $richiestaDiCanadairInoltrata(X, Y, V) : -azione(gestioneIncendio, V, X, Y), statoDiAllerta(alto, X, Y, V).$
- $richiestaDiCanadairInoltrata(X, Y, V) : -azione(gestioneIncendio, V, X, Y), statoDiAllertaFuturo(alto, X, Y, V).$

Queste due regole determinano le condizioni per le quali viene effettuata una richiesta di Canadair per contrastare un incendio. La prima regola, stabilisce le circostanze in cui viene dichiarato uno stato di allerta che richiede l'intervento di un canadair. La seconda regola, verifica la presenza di questo stato di allerta in basi ai dati ambientali future e attiva l'invio dei mezzi aerei di soccorso.

Regola per la gestione della batteria

$durataBatteria(low, S) : -stato(T), statiMassimi(S), T = S - 1.$

Queste regole definiscono il comportamento del drone quando la batteria è scarica, indicando il momento in cui il drone deve tornare alla base per la ricarica.

3.4 Analisi e risultati dell'applicazione

In questa sezione, verranno presentati in dettaglio tutti i risultati ottenuti attraverso l'implementazione e l'esecuzione della mia applicazione ASP per la gestione degli incendi. I dati riportati includono informazioni metereologiche, condizioni ambientali e attività operative relative agli incendi individuati nelle aree specifiche.

I risultati sono organizzati per ciascun incendio attivo, fornendo una descrizione completa delle condizioni iniziali e delle previsioni a breve termine. Saranno illustrate anche le attività di gestione pianificate in risposta a ciascun incendio, comprese le richieste di soccorso e intervento.

Questa sezione offre una analisi dettagliata delle informazioni rilevanti per comprendere lo stato corrente degli incendi e le strategie adottate per gestirli in modo efficace.

3.4.1 Analisi dei fatti

Nelle righe sottostanti riporto i fatti che vengono dati in input in modo tale poi da poter analizzare e valutare output dell'applicazione:

Analisi dei Dati del Primo Incendio: Coordinate (437,442) Il primo incendio è stato individuato alle coordinate (437,442) con le seguenti condizioni ambientali e caratteristiche rilevate:

- *Condizioni Meteorologiche:*
 - Sotto una condizione di "soleggiato".
 - Temperatura misurata di 30°C.
 - Umidità relativa al 5%.
- *Ventilazione:*
 - Il vento soffia da est con una velocità di 25 nodi.
 - Previsione di vento verso est nelle successive due ore, con una previsione di 20 nodi.
- *Dimensione dell'Incendio:*
 - L'incendio copre un'area di 120 ettari.
- *Impatto sull'Area Circostante:*
 - Presenza di 5 individui nelle vicinanze dell'incendio.
- *Interventi Pianificati:*
 - È stata pianificata l'invio di mezzi di spegnimento presso queste coordinate.
- *Chiamate Effettuate:*
 - Chiamate di soccorso sono state inoltrate, considerando le condizioni ambientali e il potenziale impatto sull'area circostante.

Analisi dei Dati del Secondo Incendio: Coordinate (1093,615) Il secondo incendio è stato individuato alle coordinate (1093,615) con le seguenti condizioni ambientali e caratteristiche rilevate:

- *Condizioni Meteorologiche:*
 - Sotto una condizione di "soleggiato".
 - Temperatura misurata di 30°C.
 - Umidità relativa al 5%.
- *Ventilazione:*
 - Il vento soffia da est con una velocità di 25 nodi.
 - Previsione di vento verso est nelle successive due ore, con una previsione di 20 nodi.
- *Dimensione dell'Incendio:*
 - L'incendio copre un'area di 120 ettari.
- *Impatto sull'Area Circostante:*
 - Presenza di 5 individui nelle vicinanze dell'incendio.
- *Interventi Pianificati:*
 - È stato pianificato l'invio di mezzi di spegnimento presso queste coordinate.
- *Chiamate Effettuate:*
 - Chiamate di soccorso sono state inoltrate, considerando le condizioni ambientali e il potenziale impatto sull'area circostante.

Analisi dei Dati del Terzo Incendio: Coordinate (598,468) Il terzo incendio è stato individuato alle coordinate (598,468) con le seguenti condizioni ambientali e caratteristiche rilevate:

- *Condizioni Meteorologiche:*
 - Sotto una condizione di "nuvoloso".
 - Temperatura misurata di 20°C.
 - Umidità relativa al 4%.
- *Ventilazione:*
 - Il vento soffia da ovest con una velocità di 27 nodi.
 - Previsione di vento verso est nelle successive due ore, con una previsione di 21 nodi.
- *Dimensione dell'Incendio:*
 - L'incendio copre un'area di 110 ettari.

- *Impatto sull'Area Circostante:*

- Nessuna presenza segnalata di umani o animali nelle vicinanze dell'incendio.

- *Interventi Pianificati:*

- È stata pianificata l'invio di mezzi di spegnimento presso queste coordinate.

- *Chiamate Effettuate:*

- Chiamate di soccorso sono state inoltrate, considerando le condizioni ambientali e il potenziale impatto sull'area circostante.

Analisi dei Dati del Quarto Incendio: Coordinate (267,424) Il quarto incendio è stato individuato alle coordinate (267,424) con le seguenti condizioni ambientali e caratteristiche rilevate:

- *Condizioni Meteorologiche:*

- Sotto una condizione di "nuvoloso".
 - Temperatura misurata di 20°C.
 - Umidità relativa al 4%.

- *Ventilazione:*

- Il vento soffia da ovest con una velocità di 27 nodi.
 - Previsione di vento verso est nelle successive due ore, con una previsione di 21 nodi.

- *Dimensione dell'Incendio:*

- L'incendio copre un'area di 110 ettari.

- *Impatto sull'Area Circostante:*

- Presenza di 1 animale nelle vicinanze dell'incendio.

- *Interventi Pianificati:*

- È stato pianificato l'invio di mezzi di spegnimento presso queste coordinate.

- *Chiamate Effettuate:*

- Chiamate di soccorso sono state inoltrate, considerando le condizioni ambientali e il potenziale impatto sull'area circostante.
 - È stata inoltrata una richiesta di ventilatori manuali.

Analisi dei Dati del Quinto Incendio: Coordinate (61,447) Il quinto incendio è stato individuato alle coordinate (61,447) con le seguenti condizioni ambientali e caratteristiche rilevate:

- *Condizioni Meteorologiche:*

- Sotto una condizione di "nuvoloso".
 - Temperatura misurata di 20°C.
 - Umidità relativa al 4%.
- *Ventilazione:*
 - Il vento soffia da ovest con una velocità di 27 nodi.
 - Previsione di vento a est nelle successive due ore, con una previsione di 21 nodi.
 - *Dimensione dell'Incendio:*
 - L'incendio copre un'area di 110 ettari.
 - *Impatto sull'Area Circostante:*
 - Presenza di 3 individui nelle vicinanze dell'incendio.
 - *Interventi Pianificati:*
 - È stato pianificato l'invio di mezzi di spegnimento presso queste coordinate.
 - *Chiamate Effettuate:*
 - Chiamate di soccorso sono state inoltrate, considerando le condizioni ambientali e il potenziale impatto sull'area circostante.

3.5 Analisi dei Fatti Generati

In questa sezione, esamineremo i fatti relativi alle azioni intraprese dal drone durante la gestione degli incendi riportati.

3.5.1 Piano di Attività

Il drone ha seguito un piano di attività suddiviso in diversi stati:

- **Partenza (Stato 0):** Il drone è partito dalla base per raggiungere la zona degli incendi.
- **Sorvolo dell'Area (Stati 1, 4, 6, 8):** Durante questi stati, il drone ha sorvolato l'area degli incendi per monitorare la situazione e raccogliere informazioni.
- **Gestione dell'Incendio (Stati 2, 3, 5, 7, 9):** Il drone è intervenuto attivamente per gestire gli incendi, adottando azioni specifiche come spegnimento o controllo delle fiamme.
- **Ritorno alla Base (Stato 10):** Dopo aver completato le attività di gestione degli incendi, il drone è tornato alla base.

3.5.2 Dettaglio delle Azioni

Le azioni specifiche intraprese durante la fase di gestione degli incendi sono state le seguenti:

- **Stato 2 - Gestione dell'Incendio a Coordinate (437, 442):** Il drone ha agito per gestire l'incendio in questa posizione.
- **Stato 3 - Gestione dell'Incendio a Coordinate (267, 424):** Il drone ha svolto attività di gestione dell'incendio in questa posizione.
- **Stato 5 - Gestione dell'Incendio a Coordinate (61, 447):** Il drone ha affrontato l'incendio in questa specifica area.
- **Stato 7 - Gestione dell'Incendio a Coordinate (598, 468):** Il drone ha lavorato per gestire l'incendio in questa posizione.
- **Stato 9 - Gestione dell'Incendio a Coordinate (1093, 615):** Il drone è intervenuto per gestire l'incendio in queste coordinate.

3.5.3 Azioni Pianificate e Interventi Effettuati

Il drone ha pianificato e eseguito diverse azioni per contrastare gli incendi individuati:

- **Invio Mezzi di Spegnimento:** Sono stati inviati mezzi di spegnimento presso le seguenti coordinate:
 - Coordinate (437,442)
 - Coordinate (1093,615)

- Coordinate (598,468)
 - Coordinate (267,424)
 - Coordinate (61,447)
- **Chiamate di Soccorso e Veterinario:** Il drone ha inoltrato chiamate di soccorso e veterinario alle seguenti coordinate:
 - Coordinate (437,442), 5 persone coinvolte
 - Coordinate (61,447), 3 persone coinvolte
 - Coordinate (1093,615), 1 animale coinvolto
 - Coordinate (267,424), 1 animale coinvolto
 - **Richiesta di Mezzi Aerei (Canadair):** Il drone ha richiesto l'intervento di Canadair presso le seguenti coordinate:
 - Coordinate (437,442)
 - Coordinate (1093,615)
 - Coordinate (598,468)
 - Coordinate (267,424)
 - Coordinate (61,447)
 - **Richiesta di Ventilatori:** È stata inoltrata una richiesta di ventilatori presso le coordinate (267,424) per gestire specifiche esigenze nell'area.
 - **Stati di Allerta:** Il drone ha generato stati di allerta in determinate coordinate:
 - Coordinate (437,442), Stato 2: È stato segnalato un livello di allerta alto durante lo stato 2, indicando condizioni critiche nelle vicinanze di questo incendio.
 - Coordinate (1093,615), Stato 9: È stato segnalato un livello di allerta alto durante lo stato 9, indicando ulteriori preoccupazioni per questa area specifica.

3.6 Drone: Design e Dimostrazione Visiva del Funzionamento

Nel prosieguo di questa sezione, presenteremo una serie di immagini che illustrano le varie fasi di intervento del drone durante la gestione degli incendi. Queste immagini mostrano il drone mentre svolge diverse attività, come il sorvolo dell'area interessata, la gestione degli incendi, l'invio di soccorsi ed il supporto agli individui e agli animali colpiti. Ogni immagine fornisce un'importante testimonianza visiva delle capacità e delle funzionalità del drone nell'ambito della risposta agli incendi.

Nella Figura 3.1 è possibile osservare il drone mentre inizia le operazioni al tempo 1, iniziando con il sorvolo dell'area.

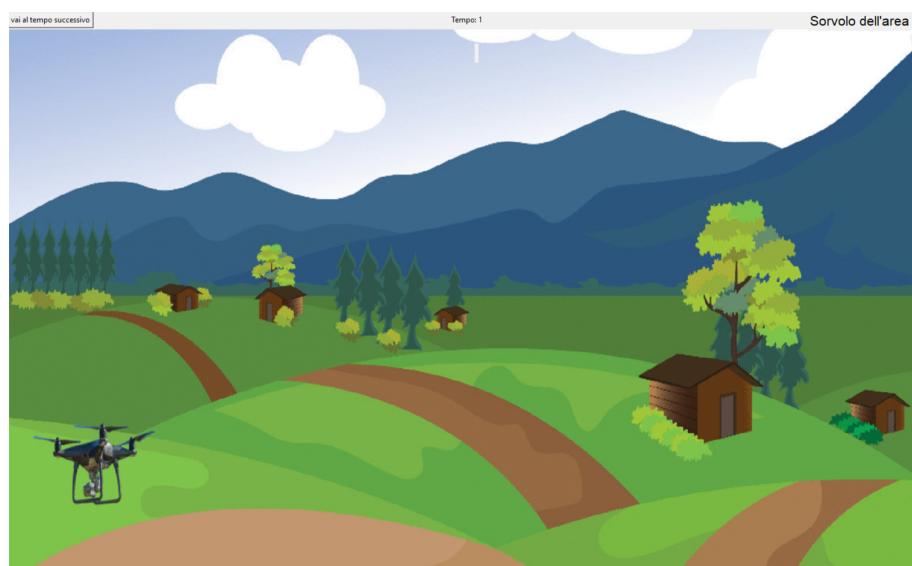


Figura 3.1: Drone al tempo 1

Nella figura 3.2 possiamo vedere il drone che ha individuato gli incendi alle coordinate (437, 442) e (267, 424). Inizia con il gestire l'incendio alle coordinate (437, 442), in quanto quest'ultimo è l'incendio con lo stato di allerta alto. Per la gestione di questo incendio il drone procede con la richiesta dei mezzi di soccorso per lo spegnimento dell'incendio, la richiesta di un'ambulanza per la presenza di persone e la richiesta di canadair.

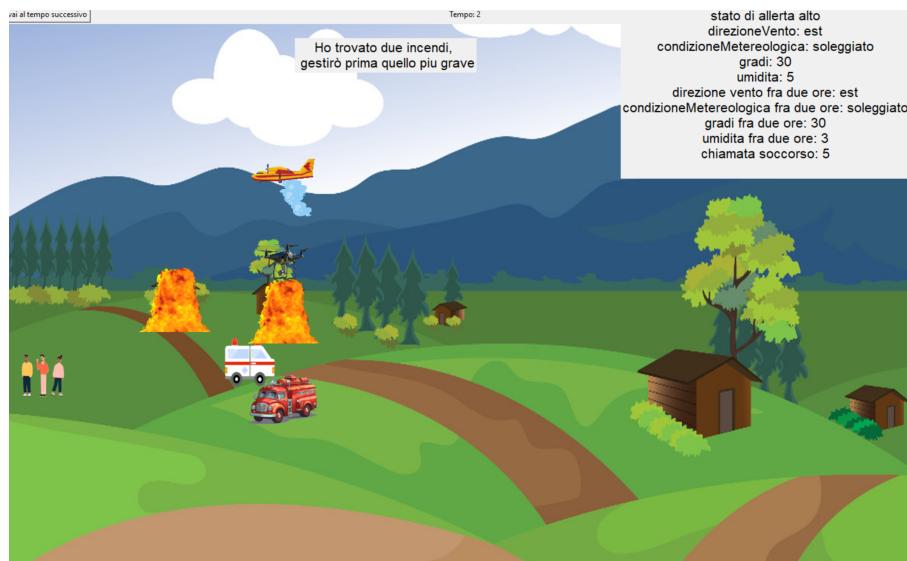


Figura 3.2: Drone al tempo 2

Nella figura 3.3 possiamo vedere che il drone inizia con il gestire l'incendio alle coordinate (267, 424). Per la gestione di questo incendio il drone procede con la richiesta dei mezzi di soccorso per lo spegnimento dell'incendio, la richiesta di un'ambulanza per la presenza di animali e la richiesta del drone che trasporta materiale medico.



Figura 3.3: Drone al tempo 3

Al tempo 4 il drone torna a sorvolare l'area circostante.

Nella figura 3.4 possiamo vedere il drone al tempo 5, che ha individuato l'incendio alle coordinate (61, 447), inizia perciò la gestione di questo incendio che procede con la richiesta dei mezzi di soccorso per lo spegnimento dell'incendio, la richiesta di un'ambulanza per la presenza di persone.



Figura 3.4: Drone al tempo 5

Al tempo 6 il drone torna a sorvolare l'area circostante.

Nella figura 3.5 possiamo vedere che il drone individua l'incendio alle coordinate (598, 468) e procede con la richiesta dei mezzi di soccorso per lo spegnimento dell'incendio.

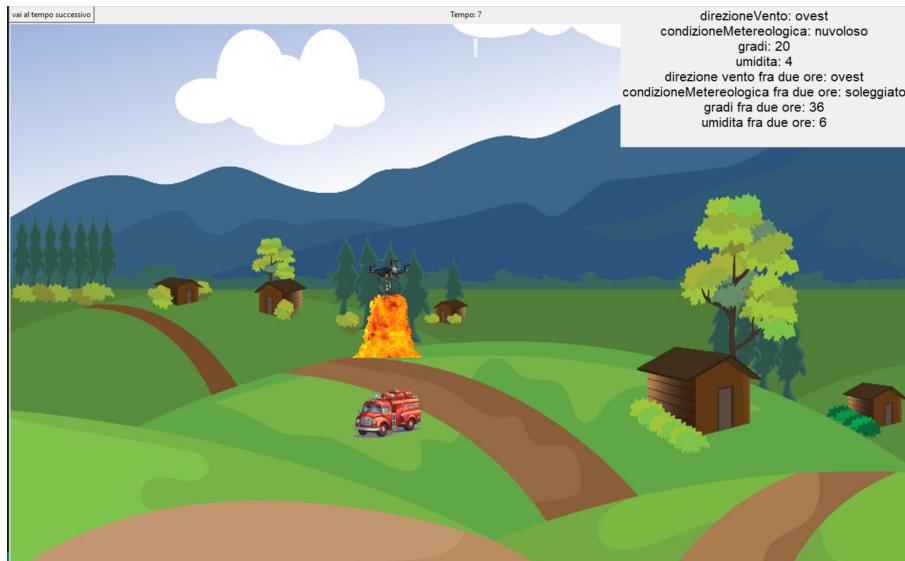


Figura 3.5: Drone al tempo 7

Al tempo 8 il drone torna a sorvolare l'area circostante.

Nella figura 3.6 possiamo vedere il drone che ha individuato gli incendi alle coordinate (1093, 615). Per la gestione di questo incendio il drone procede con la richiesta dei mezzi di soccorso per lo spegnimento dell'incendio, la richiesta di un'ambulanza per la presenza di animali e la richiesta di canadair.

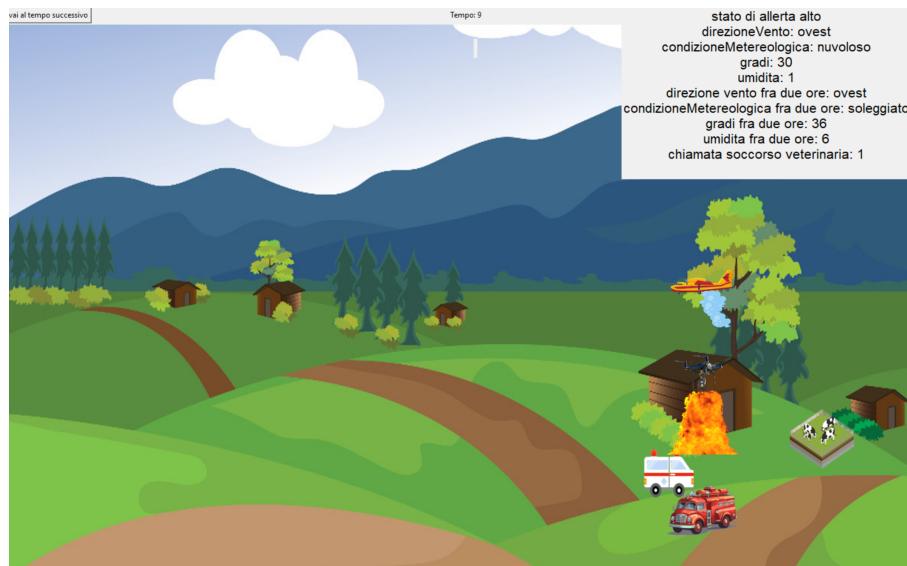


Figura 3.6: Drone al tempo 9

Al tempo 10 il drone alla base per ricaricarsi.

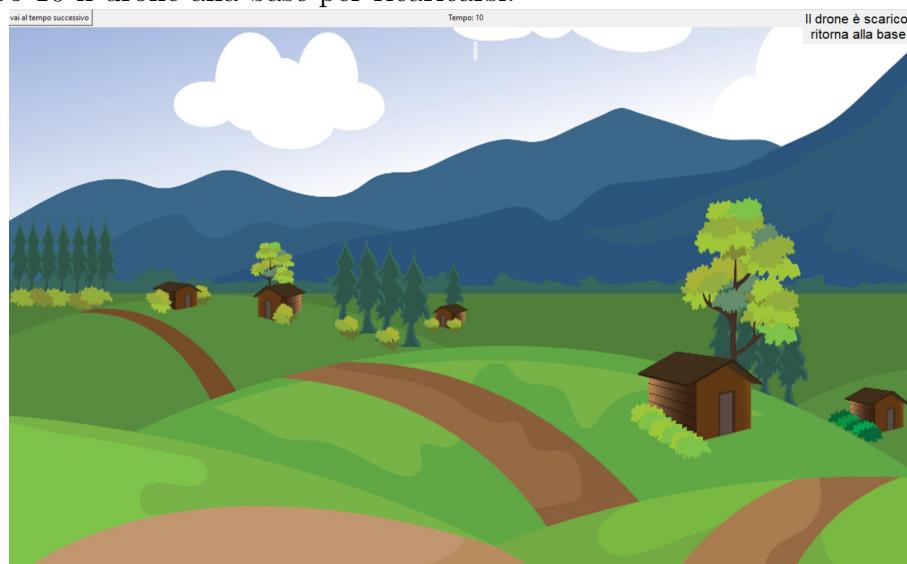


Figura 3.7: Drone al tempo 10

3.7 Analisi dei risultati ottenuti

Il software sviluppato in ASP ha permesso di simulare e analizzare le azioni intraprese dal drone durante la gestione degli incendi in diverse situazioni. Di seguito, vengono esaminati i principali risultati e le considerazioni emerse dall'analisi dei dati raccolti.

Efficienza delle Azioni Pianificate: Le azioni pianificate dal drone, come le chiamate di soccorso e le richieste di mezzi aerei come i Canadair, sono state essenziali per la risposta agli incendi. Il drone ha coordinato l'invio di mezzi di spegnimento presso le aree colpite dagli incendi e ha fornito supporto attraverso chiamate di soccorso umano e veterinario in base alle necessità rilevate. Questo dimostra una gestione olistica delle emergenze, tenendo conto delle persone e degli animali coinvolti.

Risposta agli Incendi: La tempestività e l'efficacia della risposta del drone agli incendi individuati sono state positive. Le azioni di gestione degli incendi hanno contribuito a contenere le fiamme e a proteggere le persone e gli animali nelle vicinanze. Inoltre, il drone ha individuato contemporaneamente due incendi vicini. In queste situazioni, ha coordinato prima l'incendio in cui aveva lo stato di allerta alto. Questo è avvenuto per l'incendio alle coordinate (437,442) nello stato 2 e per l'incendio alle coordinate (267,424) nello stato 3. Per gli altri incendi, il drone ritorna a sorvolare l'area prima di gestirne uno nuovo.

Impatto sull'Area Circostante: Le azioni del drone hanno avuto un impatto significativo sull'area circostante, specialmente considerando la presenza di individui e animali nelle vicinanze degli incendi. Le chiamate di soccorso e le attività di gestione degli incendi hanno contribuito a garantire la sicurezza delle persone e degli animali colpiti, evidenziando la necessità e la prontezza di intervento. In situazioni di emergenza, il drone ha richiamato con successo un altro drone per fornire ventilatori manuali o medicinali, come avvenuto nell'incendio con coordinate (267,424).

Livello di Allerta e Monitoraggio: I livelli di allerta generati dal drone durante le diverse fasi di gestione degli incendi sono stati cruciali per informare e guidare le decisioni di intervento. Tuttavia, è importante valutare ulteriormente l'efficacia di tali livelli di allerta e ottimizzare la loro implementazione per migliorare la reattività e la precisione delle risposte agli incendi.

Valutazione Complessiva delle Prestazioni: In conclusione, il sistema ha dimostrato di avere buone capacità operative nella gestione degli incendi e nella sicurezza di persone e animali coinvolti.

Sviluppi futuri del drone L'introduzione di un sistema di sfere estinguenti come parte integrante del progetto rappresenta un avanzamento significativo nelle operazioni antincendio. Questo sistema, ispirato alle tecnologie descritte nell'articolo [1], sfrutta le sfere estinguenti per ottimizzare le operazioni antincendio.

Le sfere estinguenti, equipaggiate con agenti spegnenti, vengono rilasciate strategicamente dai droni dopo aver identificato le aree critiche attraverso il telerilevamento. Utilizzando dati in tempo reale e algoritmi di analisi, i droni determinano i

punti migliori per il rilascio delle palle estinguenti, garantendo un'efficace soppressione degli incendi. Questa integrazione tecnologica mira a migliorare l'efficienza e la precisione delle operazioni di spegnimento degli incendi, contribuendo a proteggere le risorse naturali e la sicurezza delle comunità.

Integrare queste tecnologie avanzate nei droni rappresenta un passo avanti nella lotta agli incendi, consentendo un intervento più rapido e più efficace, utile soprattutto condizioni ambientali complesse.

Nel capitolo successivo presenterò l'articolo per valutare l'efficacia dell'integrazione delle sfere estinguenti nel progetto che ho sviluppato.

Capitolo 4

Caso di studio

Nel contesto delle crescenti sfide legate alla gestione degli incendi e alla necessità di adottare approcci innovativi per il loro spegnimento, è emersa una nuova prospettiva nell'ambito dell'utilizzo dei droni. Questo capitolo esplorerà un articolo che introduce un'innovativa modalità di soppressione degli incendi mediante l'impiego di droni per il lancio di sfere estinguenti.

L'articolo [1] presenta un drone dotato di diverse funzionalità simili a quelle del mio drone che ho sviluppato. Questa affinità mi motiva a esaminare più da vicino la modalità con cui la funzionalità delle sfere estinguenti potrebbe essere implementata con successo nel mio contesto.

Inoltre, per verificare l'efficacia di questa innovativa strategia di soppressione degli incendi, introdurrò le capacità delle sfere estinguenti di spegnere incendi, permettendo così di validare l'utilità pratica di questa tecnologia nell'ambito delle operazioni antincendio basate su droni.

La discussione successiva si concentrerà sull'analisi dettagliata dell'articolo e sui risultati dei test e considerazioni critiche per il futuro sviluppo delle capacità di spegnimento degli incendi basate su droni.

4.1 Introduzione e presentazione dell'articolo

L'articolo [1] che presenterò rappresenta un'importante innovazione, come già evidenziato in precedenza. Esploreremo ora in dettaglio le principali conclusioni e scoperte presentate nell'articolo.

Il documento illustra varie applicazioni tecniche degli UAS per la soppressione degli incendi, inclusa la proposta di utilizzare droni per il lancio di sfere estinguenti. Questa innovativa strategia offre un potenziale significativo per migliorare l'efficienza e la precisione delle operazioni antincendio, riducendo al contempo i rischi per il personale e l'ambiente circostante.

Prima di arrivare a questa conclusione ci sono stati diversi studi precedenti. Questo significa che il primo gruppo di studi ha utilizzato o suggerito l'utilizzo dell'acqua come agente per spegnere gli incendi. Uno di questi studi è stato condotto da Lockheed Martin, che ha dimostrato un sistema collaborativo includente un drone ed un elicottero. I punti critici individuati sono stati attaccati dall'elicottero con il lancio di acqua [11]. Altre società, come Aerones, Nitrofirex, e Singular Aircraft, hanno anche lavorato allo sviluppo di sistemi di droni che impiegano l'acqua per estinguere incendi su edifici o in zone selvatiche. Phan e Liu (2008) hanno proposto un sistema che comprende un dirigibile, un UAS e veicoli terrestri senza pilota (UGV). Il dirigibile, che rappresenta il livello più alto della gerarchia, elabora un piano di missione utilizzando modelli dinamici di incendi, UAS e UGV. Invia comandi agli UAS e agli UGV per dirigersi verso punti specifici per sopprimere l'incendio. Questo sistema non è stato testato nella pratica, ma sono stati pianificati test di simulazione che non sono ancora stati eseguiti.[3]. Qin et al. [8] hanno sviluppato un UAS capace di gestire in modo autonomo le operazioni di raccolta dell'acqua, il suo trasporto fino al punto specifico dell'incendio e il rilascio sull'area interessata. Il sistema è stato testato con successo in condizioni esterne sia serene che ventose [33]. Tuttavia, considerando un possibile utilizzo su larga scala di questi due concetti in futuro, focalizzati sul rilascio di acqua, sorgono molti dubbi su come gli UAS possano individuare fonti d'acqua per raccogliere il liquido e rispondere all'incendio tempestivamente. Nonostante i sistemi funzionino bene in teoria, sarebbero pratici solo se l'incendio si verificasse in un'area non remota vicino a una grande fonte d'acqua. Inoltre, i danni potenziali causati dall'acqua agli edifici non sono trascurabili.

L'approccio di ricerca degli autori dell'articolo [1] mira a utilizzare contemporaneamente tre tecnologie emergenti: gli UAS, il telerilevamento e le palline estinguenti per combattere gli incendi boschivi. Il sistema proposto comprende:

1. UAS da ricognizione per individuare incendi localizzati e monitorare il rischio di incendi boschivi che si avvicinano a edifici, recinzioni o squadre antincendio tramite telerilevamento.
2. UAS di comunicazione per stabilire ed estendere il canale di comunicazione tra gli UAS da ricognizione e gli UAS antincendio
3. un UAS antincendio che si sposta autonomamente verso i waypoint per rilasciare palline estinguenti (soppressori ecologici attivati dal calore)

Questo lavoro descrive la fase iniziale della ricerca, caratterizzata da esperimenti controllati finalizzati a valutare l'efficacia e l'efficienza delle palline estinguenti.

4.1.1 Esperimenti

L'articolo prosegue nel descrivere una serie di esperimenti controllati condotti in collaborazione con i vigili del fuoco locali per valutare l'efficacia delle palline estinguenti per combattere gli incendi in edifici e boschi. Nella prima fase degli esperimenti, sono stati accesi incendi simulati di diversi tipi (Classe A e Classe B) all'interno di una cella dimostrativa antincendio. Le palline estinguenti sono state utilizzate per sopprimere gli incendi, e la loro efficienza è stata misurata registrando il tempo necessario per attivare l'effetto estinguente.

Fire Classification	Application of the Ball
Class A	Wall Mount
Class B	Direct Throw
Class A	Wall Mount
Class B	Wall Mount
Class B	Wall Mount
Class A	Direct Throw
Class A	Direct Throw
Class B	Direct Throw

Figura 4.1: Experimental design used for the fire-extinguishing balls experiment. [1]



Figura 4.2: (a) 'Class A' fire in the demonstration cell for the case study[1]



Figura 4.3: ‘Class B’ fire in the demonstration cell for the controlled experiments.[1]

La seconda fase degli esperimenti si è concentrata sugli incendi di erba corta codificati come in fig 4.1. Gli incendi di erba corta si diffondono rapidamente, per tale motivo due incendi di erba corta sono stati avviati sotto la supervisione diretta dei vigili del fuoco locali per le sperimentazioni. Quando l’incendio ha raggiunto un diametro di circa un metro, è stata inserita una pallina estinguente da 0,5 kg, come mostrato nella Figura 4.5 per il breve esperimento sull’incendio d’erba. Entrambe le prove sono state condotte nel pomeriggio alla stessa ora per garantire condizioni di temperatura e umidità uniformi. Se la pallina estinguente non avesse spento l’incendio o se il fuoco avesse superato un’area di circa due metri di diametro senza essere estinto, i vigili del fuoco avrebbero usato metodi tradizionali.

4.1.2 Risultati

Di seguito sono riportati i risultati dell’articolo: La pallina estinguente AFO è stata rapida nell’attivazione per entrambe le classificazioni degli incendi, ma non ha dimostrato efficacia quando fissata a un supporto a muro, impiegando in media 290,9 secondi per esplodere. Non è riuscita a spegnere in modo efficace l’incendio dell’edificio, poiché l’incendio riprendeva pochi secondi dopo l’esplosione della pallina. Di conseguenza, i vigili del fuoco hanno dovuto utilizzare mezzi tradizionali per estinguere l’incendio e prevenire danni alla cella dimostrativa.

A differenza degli esperimenti sugli incendi degli edifici, il team di ricerca ha ottenuto risultati incoraggianti per gli incendi boschivi. Il modello AFO ha impiegato approssimativamente lo stesso tempo per esplodere, e l’incendio dell’erba corta è stato completamente estinto in entrambe le prove. La Figura 4.5 mostra l’incendio dell’erba corta prima e dopo le esplosioni. L’incendio è stato completamente soppresso grazie alla pallina estinguente. Considerando che la pallina utilizzata in questo esperimento era la versione più economica e più piccola disponibile sul mercato, riteniamo che l’assistenza ai vigili del fuoco durante gli incendi boschivi con palline estinguenti sia promettente per il futuro. La pallina da 0,5 kg ha estinto un cerchio di incendio di 1 m di diametro nei nostri esperimenti, mentre si afferma che le palline da 1,3 kg possano estinguere un raggio di 1,3 m.

Fire Classification	Application of the Ball	Time to Activate (seconds)	Success/Failure
Class A	Wall Mount	250.8	Failure
Class B	Direct Throw	3.6	Failure
Class A	Wall Mount	360.5	Failure
Class B	Wall Mount	321.3	Failure
Class B	Wall Mount	230.9	Failure
Class A	Direct Throw	4.1	Failure
Class A	Direct Throw	3.8	Failure
Class B	Direct Throw	4.3	Failure

Figura 4.4: Experimental Data. [1]



Figura 4.5: in the first figure a short fire on the grass before the explosion; in the second figure short grass fire after explosion. [1]

4.1.3 Analisi degli esperimenti

L'articolo descrive i risultati di esperimenti controllati per valutare l'efficacia delle palline estinguenti nell'estinguere gli incendi. Gli esperimenti sono parte di un progetto di ricerca che mira a sviluppare un sistema di droni che utilizza telerilevamento e palline estinguenti per combattere gli incendi boschivi. I risultati indicano che le palline estinguenti potrebbero essere efficaci se utilizzate da droni in modo ottimale per spegnere gli incendi. La ricerca continua per migliorare il sistema, sviluppando piattaforme per droni, aggiornando il meccanismo di rilascio e valutando l'efficacia su diversi tipi di vegetazione. Nonostante le limitazioni negli esperimenti, si è dimostrato che le palline estinguenti più piccole non sono efficaci per gli incendi di classe A o B, ma esistono palline più grandi che potrebbero essere più efficaci. La ricerca futura si concentrerà su ulteriori studi per sviluppare un sistema più avanzato per la lotta agli incendi boschivi con l'ausilio dei droni.

L'analisi dell'articolo sull'uso di droni per il lancio di sfere estinguenti ha evidenziato risultati promettenti e applicazioni pratiche nel contesto degli incendi boschivi. La dimostrazione della efficacia di questa tecnologia nel contenimento degli incendi apre interessanti prospettive per valutare l'integrazione di questa tecnologia nel mio drone antincendio. La possibilità di utilizzare droni per il lancio di sfere estinguenti rappresenta un passo significativo verso soluzioni più efficienti e rapide nella gestione degli incendi boschivi.

Capitolo 5

Conclusioni

5.1 Conclusioni dello studio [1]

Lo studio presentato nel capitolo precedente che ha esaminato l'articolo [1] propone un innovativo approccio di soppressione degli incendi mediante l'utilizzo di droni per il lancio di sfere estinguenti. Dai risultati dell'analisi condotta, emerge che l'integrazione di sfere estinguenti nei droni potrebbe rappresentare un'efficace strategia per migliorare le operazioni antincendio, specialmente in contesti boschivi.

L'integrazione delle sfere estinguenti potrebbe non solo migliorare l'efficacia nel combattere gli incendi, ma anche ottimizzare le prestazioni complessive del drone antincendio, consentendo al drone di agire più rapidamente e con maggiore precisione nelle situazioni di emergenza. Un'altra conseguenza diretta sarebbe quella di ridurre la necessità di esporre il personale umano a situazioni pericolose durante le operazioni di spegnimento degli incendi. Ciò contribuirebbe a migliorare la sicurezza e a minimizzare i rischi associati alle attività antincendio.

Inoltre, nei contesti di incendi boschivi, raggiungere rapidamente le aree colpite può essere estremamente critico. I mezzi convenzionali, come i camion dei pompieri, potrebbero impiegare un tempo considerevole per raggiungere zone remote o difficili da accesso. Questo ritardo potrebbe permettere all'incendio di propagarsi e amplificarsi, aggravando ulteriormente la situazione. Il vantaggio di avere droni dotati di sfere estinguenti è la capacità di dispiegare rapidamente e direttamente nelle zone critiche, senza dover aspettare l'arrivo di mezzi terrestri. Questo approccio tempestivo può essere determinante nel contenere l'espandersi delle fiamme e nel prevenire danni più gravi alla flora, alla fauna e alle risorse naturali presenti nell'area boschiva.

5.2 Valutazione dell'applicabilità nel proprio progetto

Considerando i risultati e le conclusioni dell'articolo, è evidente che l'introduzione di sfere estinguenti nel mio progetto di drone antincendio potrebbe comportare significativi vantaggi nell'aumentare l'efficacia e la velocità delle operazioni di soppressione degli incendi. L'esperienza descritta nell'articolo fornisce una solida base per valutare e integrare questa innovativa tecnologia nel contesto specifico del mio progetto.

Inoltre, potrei considerare l'inclusione di sfere 0,5 kg che come riportato nell'esperimento dell'articolo ha estinto un incendio di 1 m e utilizzare invece sfere di 1,3 kg per incendi di raggio 1,3. Si valuterà in futuro la possibilità di aumentare le dimensioni delle sfere per avere dei risultati migliori in caso di incendi di grande dimensioni. Questo processo implicherebbe, inevitabilmente anche un potenziamento del drone per consentire il trasporto di un peso maggiore fino a 2 kg circa, necessario per il trasporto delle sfere di dimensioni più grandi. Tale evoluzione tecnologica potrebbe rappresentare un passo importante per ottimizzare le capacità del drone antincendio e massimizzare l'efficacia delle operazioni di spegnimento degli incendi.

5.2.1 Prospettive future

Le prospettive future includono la fase di sviluppo e sperimentazione di droni attrezzati con sfere estinguenti, al fine di testarne l'efficacia in scenari realistici e complessi. Questa fase potrebbe comprendere ulteriori prove sul campo e ottimizzazioni tecniche per garantire il successo e la scalabilità dell'implementazione di questa soluzione innovativa.

5.2.2 Conclusioni finali

In conclusione, l'integrazione di sfere estinguenti nei droni rappresenta un'opportunità promettente per migliorare le capacità di soppressione degli incendi e per affrontare con efficacia le sfide legate alla gestione degli incendi. Questo studio fornisce un solido fondamento per la continua ricerca e sviluppo di soluzioni innovative nel campo della tecnologia antincendio basata su droni.

Bibliografia

- [1] Burchan Aydin, Emre Selvi, Jian Tao, and Michael J. Starek. Use of fire-extinguishing balls for a conceptual system of drone-assisted wildfire fighting. 2019.
- [2] Alonso Cervantes, Paola García, Cesar Herrera, and Elizabeth Morales. A conceptual design of a firefighter drone. *15th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control*, 2018.
- [3] C.Phan and H.H.T Liu. A cooperative uav/ugv platform for wildfire detection and fighting. *System Simulation and Scientific Computing, 2008*, 2008.
- [4] datiallefiamme. Incendi boschivi dal 2009 a maggio 2016 in italia e il caso sicilia. *datiallefiamme*, 2016.
- [5] Van de Voorde, Momont Gautama, Ionescu, De Paepe, and Fraeyman. The drone ambulance [a-uas]: golden bullet or just a blank? 2017.
- [6] Deruyck, M., Wyckmans, Martens, and Joseph. Emergency ad-hoc networks by using drone mounted base stations for a disaster scenario. *Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 2016.
- [7] Bouguenna Ibrahim Farouk and Dahnoun Zolikh. Forest fire fighting using drone and artificial intelligence. *The first international Conference on Advances in Electronics, Control and Computer Technologie*, 2023.
- [8] Qin H, Cui J., Li, Biand Lanand Shan, Liu, Wang, Lin, Zhang, and Chen. A cooperative uav/ugv platform for wildfire detection and fighting. *Conference: 2016 12th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)*, 2016.
- [9] Abhishek Narayan Khanke and Prasad Narayan Khanke. Quadcopter to locate & assist endangered person in a place of fire. *2018 3rd International Conference for Convergence in Technology*, 2018.
- [10] legambiente. Il governo integrato degli incendi boschivi. *legambiente*, 2022.
- [11] Lockheed Martin. Lockheed martin conducts collaborative unmanned systems demonstration. 2015.
- [12] Ryan McCunea and Gregory R. Madeya. The cooperative hunters efficient and scalable drones swarm for multiple targets detection. 2013.

- [13] Vladimir Sherstjuk and Maryna Zharikova. Forest fire-fighting monitoring system based on uav team and remote sensing. *IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology*, 2018.
- [14] Dr. C.N. Sujatha, P. Sri Lakshmi, Y. Sushitha Reddy, and I. Mrudula Sai. Application of fire fighting drone in containment of small-scale fires. *JOURNAL OF CRITICAL REVIEWS*, 2020.
- [15] Van Tilburg. First report of using portable unmanned aircraft systems (drones) for search and rescue. 2017.

Appendice A

Codice ASP del drone

```
%il drone parte STATO 0
stato(partenza, T) :- attivita(partenza), tempo(T), not
batteria(low, T).

%la prima azione inizia a sorvolare area STATO 1
stato(sorvoloDellaArea, V) :- stato(partenza, T), V = T+1.

%dallo stato 2 decide l'azione che vuole svolgere
stato(gestioneIncendio, T) | stato(sorvoloDellaArea, T) :- stato(_,
V), T=V+1, statiMassimi(S), T < S.

numeroDiAzione(N) :- #count{V : stato(gestioneIncendio, V)} = N
.
{ coordinateIncendiChePossiamoGestire(X, Y) :
  incendioPresenteAlleCoordinate(X, Y) } = N :- numeroDiAzione(N).

1 { azione(gestioneIncendio, V, X, Y) : stato(
gestioneIncendio, V) } 1 :- coordinateIncendiChePossiamoGestire(X, Y).
:- azione(gestioneIncendio, V, X, Y), azione(gestioneIncendio,
V, X1, Y1), X1!=X, Y1!=Y.
:- azione(gestioneIncendio, V, X, Y), azione(gestioneIncendio
,V, X, Y1), Y1!=Y.
:- azione(gestioneIncendio, V, X, Y), azione(gestioneIncendio
,V, X1, Y), X1!=X.

%controlla se ci sono due incendi vicini se vicini svolgo
prima quello con allerta alto se ne esiste solo uno
distanza(X, Y, X1, Y1, D) :- coordinateIncendiChePossiamoGestire(
X, Y), coordinateIncendiChePossiamoGestire(X1, Y1), D = (X -
X1)^2 + (Y1 - Y)^2, X!=X1, Y!=Y1.

distanzaQuadrata(X1, X2, X, Y, D1) :- distanza(X1, X2, X, Y, D), D
```

```

<0, D1 = D*-1.
distanzaQuadrata(X1,X2,X,Y, D1):-distanza(X1,X2,X,Y, D) , D
>=0, D1 = D.

hoTrovatoDueIncendiViciniSoloUnoHaStatoDiAllertaAlto(X,Y,V,
X1,Y1,V1,D) :- azione(gestioneIncendio ,V, X, Y) , azione(
gestioneIncendio ,V1, X1, Y1) , distanzaQuadrata(X1,Y1,X,Y,
D) , D<=320, statoDiAllerta(alto ,X,Y,V) , not
statoDiAllerta(alto ,X1,Y1,V1) .

:- hoTrovatoDueIncendiViciniSoloUnoHaStatoDiAllertaAlto(X,Y,V
,X1,Y1,V1,D) , statoDiAllerta(alto ,X,Y,V) , not
statoDiAllerta(alto ,X1,Y1,V1) , V1<V.

%nel caso individua un incendio allo stato T svolge delle
%azioni per gestirlo
pianifica(invia_mezzi_spegimento ,X,Y) :- azione(
gestioneIncendio ,V, X, Y) .

direzioneAcqua(X,Y,V,D):- azione(gestioneIncendio ,V, X, Y) ,
vento(X,Y,D,_).

direzioneAcquaFraDueORe(X,Y,V,D):- azione(gestioneIncendio ,V,
X, Y) , vento(X,Y,D,_).

informazioniPerISoccorritori(X,Y,V,D,C,T,U) :- azione(
gestioneIncendio ,V,X,Y) , direzioneAcqua(X,Y,V,D) ,
condizioneMeterologica(X,Y,C) , temperatura(X,Y,T) ,
umiditaInPercentuale(X,Y,U) .

informazioniPerISoccorritoriNelleDueOreSuccessive(X,Y,V,D2,C
,T,U) :- azione(gestioneIncendio ,V, X, Y) ,
direzioneAcquaFraDueORe(X,Y,V,D2) ,
condizioneMeterologicaNelle2OreSuccessive(X,Y,C) ,
temperaturaNelle2OreSuccessive(X,Y,T) ,
umiditaInPercentualeNelle2OreSuccessive(X,Y,U) .

chiamataSoccorsoInoltrata(X,Y,V,N):- azione(gestioneIncendio
,V, X, Y) , presenzaUmaniNellAreaLimitrofaDellIncendio(X,Y
,N) , N>0 .

chiamataSoccorsoVeterinarioInoltrata(X,Y,V,N):- azione(
gestioneIncendio ,V, X, Y) ,
presenzaAnimaliNellAreaLimitrofaDellIncendio(X,Y,N) , N>0 .
statoDiAllerta(alto ,X,Y,V) :- azione(gestioneIncendio ,V, X,
Y) , vento(X,Y,_,N) , temperatura(X,Y,T) ,
umiditaInPercentuale(X,Y,U) ,

```

dimensioneDellIncendioInEttari(X,Y,D) , N>19, T>28, U<7,D >70 .

statoDiAllertaFuturo(alto,X,Y,V) :- azione(gestioneIncendio , V, X, Y) , ventoNelle2OreSuccessive(X,Y,_,N) , temperaturaNelle2OreSuccessive(X,Y,T) , umiditaInPercentualeNelle2OreSuccessive(X,Y,U) , dimensioneDellIncendioInEttari(X,Y,D) , N>19, T>28, U<7, D >70.

richiestaDiCanadairInoltrata(X,Y,V) :- azione(gestioneIncendio ,V, X, Y) , statoDiAllerta(alto ,X,Y,V) .
 richiestaDiCanadairInoltrata(X,Y,V) :- azione(gestioneIncendio ,V, X, Y) , statoDiAllertaFuturo(alto ,X,Y, V) .

%Regola che individua il numero di incendi presenti
 numeroDiIncendiIndividuati(N):-#count{X,Y : incendioPresenteAlleCoordinate(X,Y)} = N.

%non voglio che ci siano due gestioniIncendi in due stati consecutivi perche per individuare l'incendio successivo deve prima sorvolare area
 :- azione(gestioneIncendio ,V, X, Y) , azione(gestioneIncendio ,T, X1, Y1) , T=V+1, not hoTrovatoDueIncendiViciniSoloUnoHaStatoDiAllertaAlto(X,Y, V,X1,Y1,T,_) .
 :- azione(gestioneIncendio ,V, X, Y) , stato(sorvoloDellaArea ,T) , T=V+1, C>T, hoTrovatoDueIncendiViciniSoloUnoHaStatoDiAllertaAlto(X,Y, V,X1,Y1,C,_) .

%regola per massimizzare il numero di incendi individuati
 :- stato(sorvoloDellaArea ,T) , stato(sorvoloDellaArea ,V) , T=V +1, numeroDiAzione(N) , N < NI , numeroDiIncendiIndividuati (NI) .

invioVentilatoriManuali(X,Y,N):- richiestaDiVentilatori(X,Y, N) , azione(gestioneIncendio ,_, X, Y) .

%la mia batteria di scarica al tempo T max e quindi tornerna alla base
 durataBatteria(low ,S):- stato(_,T) , statiMassimi(S) , T=S-1.

stato(ritornoAllaBase , S) :- durataBatteria(low ,S) .

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine a tutti coloro che hanno contribuito nel percorso dei miei studi.

In primo luogo, vorrei ringraziare il mio relatore, il Professor *Gian Luca Pozzato*, per la sua costante guida, il supporto prezioso e i consigli illuminanti. La sua competenza e dedizione sono state fondamentali per il successo di questo lavoro.

Sono profondamente grato alla mia famiglia, che mi ha sostenuto in ogni fase di questo percorso accademico. Grazie ai miei *genitori*, per la loro pazienza, comprensione e per aver creduto sempre in me, mio fratello *Salvatore*, che è stato una fonte costante di amore. Non vedo l'ora di celebrare il tuo successo accademico: il prossimo a laurearsi sei tu!

Un ringraziamento speciale al mio compagno, *Rosario*, per il suo amore, la sua pazienza e il suo sostegno incondizionato durante tutto questo periodo. La tua presenza è stata per me una forza fondamentale.

Desidero ringraziare, inoltre le mie zie: *zia Piera e zia Maria* per il loro affetto e supporto.

Un pensiero speciale va ai miei nonni:

Nonno Gennaro e nonna Maria, grazie per avermi trasmesso i vostri valori e la vostra forza, che continuano a guidarmi ogni giorno.

Nonna Teresa e nonno Salvatore, grazie per il vostro amore, la vostra saggezza e il vostro prezioso sostegno.

Ringrazio con tutto il cuore mia cugina Veronica per essere stata presente sempre.

A tutti voi, il mio più sentito grazie.

