

**POLITECNICO DI TORINO**

Collegio di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

**Tesi Magistrale in Ingegneria Aerospaziale**



**Modello parametrico di stima dei costi di una  
flotta di velivoli antincendio**

Candidato

Fabio Casamassima 303933

Relatore

Professor Marco Fioriti

Aprile 2024



## **ABSTRACT**

With the increase in wildfires linked to climate change and deliberate causes, the need to modernize and make more efficient the various limited European resources becomes more apparent. It is crucial to analyze and control all costs related to wildfires. There is a lack of clarity on the overall costs required by firefighting operations, often considered only as extinguishing costs, such as personnel, vehicles, and equipment, neglecting expenses related to the natural-geographical context in which the fire spreads. The study develops a model capable of extracting personnel, aircraft, and equipment of any kind for wildfire operations, in order to determine the total costs of missions.

By analyzing multiple reports from firefighting teams, due to the complexity of the phenomenon, various analyses were conducted using multi-parameter regression, from which several equations were extracted. These equations were then implemented in an algorithm, developed in Matlab, including specific parameters of multi-parameter regression, such as the fire spread area, location, vegetation present, and season. With the algorithm, it is possible to determine, based on the aforementioned parameters, the personnel, equipment, and aircraft needed for the operation, providing estimates of firefighting operation costs. This approach can be applied to a wide range of scenarios, allowing more efficient planning of the various resources used in an operation and their costs.

The study and its results can be useful for further academic research in the field, advancing studies in the cost efficiency and resource optimization of firefighting operations. Additionally, they can contribute to the practical resolution of firefighting operations, as the algorithm is capable of operating in real-time to manage ongoing emergencies.



## ABSTRACT

Con l'aumento degli incendi boschivi collegati ai cambiamenti climatici e a cause dolose, emerge sempre di più la necessità di ammodernare ed efficientare le diverse e limitate risorse europee, oltre che analizzare e controllare tutti i costi legati agli incendi. Vi è una mancanza di chiarezza sui costi complessivi richiesti dalle operazioni antincendio, spesso considerati unicamente come i costi di spegnimento, ovvero personale, mezzi e attrezzature, trascurando le spese legate al contesto natural-geografico in cui si espande l'incendio. Lo studio sviluppa un modello in grado di poter ricavare il personale, i velivoli e i mezzi di qualunque genere di operazione antincendio boschiva, al fine di determinare i costi totali delle missioni.

Analizzati molteplici report di squadre di Vigili del Fuoco, per via della complessità del fenomeno, sono state condotte molteplici analisi mediante regressione multi-parametro dalle quali sono state estratte diverse equazioni. Le equazioni sono state poi implementate in un algoritmo, sviluppato su Matlab, comprendente i parametri specifici della regressione multi-parametro, ovvero l'area di espansione dell'incendio, la zona, la vegetazione presente e la stagione dell'anno. Grazie all'algoritmo si è in grado di determinare, partendo dai sopracitati parametri, il personale, i mezzi e i velivoli necessari per l'operazione, fornendo stime dei costi dell'operazione antincendio. Questo approccio può essere applicato ad una vasta gamma di scenari, consentendo una pianificazione più efficiente delle diverse risorse impiegabili in una operazione e il loro costo.

Lo studio e i suoi risultati prodotti possono essere utili per sviluppare ulteriori ricerche accademiche del settore, in modo da far avanzare gli studi nel campo dell'efficientamento dei costi e delle risorse nelle operazioni antincendio; inoltre possono contribuire alla risoluzione pratica delle operazioni antincendio, essendo l'algoritmo in grado di operare in tempo reale per poter gestire le emergenze in corso.



# **INDICE**

<b>ABSTRACT.....</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DELLE TABELLE.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DELLE FIGURE.....</b>	<b>XI</b>
<b>1. Introduzione.....</b>	<b>1</b>
1.1 Incendi boschivi.....	1
1.2 Cambiamenti climatici.....	2
1.3 Impatti economici.....	3
1.4 Progetto COLOSSUS.....	6
1.5 Sistema di sistemi.....	7
1.6 Gli scopi della tesi.....	8
<b>2. Stato dell'arte degli incendi boschivi.....</b>	<b>9</b>
2.1 Fattori che influenzano il comportamento degli incendi.....	9
2.1.1 Il combustibile.....	10
2.1.2 La topografia.....	10
2.1.3 Il clima.....	11
2.2 Approcci tattici.....	12
2.2.1 Attacco diretto.....	12
2.2.2 Attacco indiretto.....	15
2.3 Operazioni aeree.....	18
2.3.1 Aeromobili ad ala fissa.....	19
2.3.2 Elicotteri.....	20
2.3.3 Velivoli in dotazione all'Italia.....	21
2.3.4 Aspirazione dell'acqua.....	24
2.3.5 Tipi di attacco all'incendio con mezzi aerei.....	25
2.4 Schiuma antincendio.....	31
<b>3. Modelli di stima dei costi per incendi boschivi.....</b>	<b>33</b>
3.1 Costi di estinzione.....	33
3.1.1 Operazioni di estinzione inferiore a due ore.....	33
3.1.2 Operazioni di estinzione maggiori di due ore.....	34
3.2 Stima del danno ambientale.....	36

3.2.1	<i>Funzione produttiva relativa ai prodotti legnosi</i> .....	36
3.2.2	<i>Funzione produttiva relativa ai prodotti non legnosi</i> .....	38
3.2.3	<i>Funzione turistico-ricreativa</i> .....	39
3.2.4	<i>Attività venatoria</i> .....	40
3.2.5	<i>Funzione protettiva</i> .....	41
3.2.6	<i>Protezione dai cambiamenti del clima</i> .....	42
3.2.7	<i>Valore naturalistico</i> .....	42
<b>4.</b>	<b>Il costo degli incendi</b> .....	<b>45</b>
4.1	<i>Costi di spegnimento</i> .....	45
4.1.1	<i>Personale</i> .....	46
4.1.2	<i>Mezzi</i> .....	50
4.1.3	<i>Attrezzature</i> .....	55
4.1.4	<i>Velivoli</i> .....	55
4.2	<i>Costi legati ai danni ambientali</i> .....	56
4.3	<i>Costi legati ai danni alle proprietà private</i> .....	57
4.4	<i>Costi legati all'emissione di CO2</i> .....	57
<b>5.</b>	<b>Sviluppo del modello di costo</b> .....	<b>61</b>
5.1	<i>European Forest Fire Information System (EFFIS)</i> .....	61
5.2	<i>Dati raccolti</i> .....	61
5.3	<i>Risultati tramite stima del rischio</i> .....	62
5.4	<i>Regressione lineare</i> .....	63
5.5	<i>Risultati</i> .....	64
5.5.1	<i>Regressione personale con estensione, zona, stagione e vegetazione</i> ....	65
5.5.2	<i>Regressione personale con estensione, zona e vegetazione</i> .....	67
5.5.3	<i>Regressione personale con zona, stagione e vegetazione</i> .....	68
5.5.4	<i>Regressione personale con estensione, zona, stagione, vegetazione e intercetta nulla</i> .....	70
5.5.5	<i>Regressione canadair CL-415 con estensione, zona, stagione e vegetazione</i> .....	71
5.5.6	<i>Regressione canadair CL-415 con estensione, zona e vegetazione</i> .....	73
5.5.7	<i>Regressione elicottero S64F con estensione, zona, stagione, vegetazione e intercetta nulla</i> .....	74

5.5.8	<i>Regressione elicottero S64F con estensione, zona, vegetazione e intercetta nulla.....</i>	76
<b>6.</b>	<b>Analisi .....</b>	<b>79</b>
<b>7.</b>	<b>Validazione del modello .....</b>	<b>83</b>
7.1	<i>Considerazioni e possibili sviluppi futuri .....</i>	86
	<b>Sitografia.....</b>	<b>87</b>
	<b>Appendix A.....</b>	<b>91</b>
	<b>Appendix B.....</b>	<b>109</b>
	<i>Lettura di un file .mat.....</i>	109
	<i>Lettura di un file Excel.....</i>	116



## ***LISTA DELLE TABELLE***

Tabella 1 - Costi diretti, indiretti e post-incendio .....	6
Tabella 2 - CL415 Caratteristiche .....	22
Tabella 3 – S64F Caratteristiche .....	24
Tabella 4 - Costi squadre antincendio .....	36
Tabella 5 - Tariffa oraria corpo nazionale dei vigili del fuoco italiano .....	47
Tabella 6 - Variazione numero vigili del fuoco in Europa .....	48
Tabella 7 - Tariffa oraria francese .....	48
Tabella 8 - Tariffa oraria tedesca .....	49
Tabella 9 - Tariffa oraria greca .....	49
Tabella 10 - Tariffa oraria spagnola .....	49
Tabella 11 - Tariffa oraria ungherese .....	50
Tabella 12 - Tariffa oraria mezzi .....	50
Tabella 13 - Tariffa oraria attrezzature .....	55
Tabella 14 - Tariffa oraria mezzi aerei .....	56
Tabella 15 - Tabella BEF .....	58
Tabella 16 - Dettaglio tabella BEF .....	59
Tabella 17 - Dati raccolti .....	62
Tabella 18 - Stima del rischio .....	63
Tabella 19 - Output riepilogo regressione con estensione, zona, stagione e vegetazione .....	66
Tabella 20 - Output residui regressione con estensione, zona, stagione e vegetazione .....	66
Tabella 21 -- Output riepilogo regressione con estensione, zona e vegetazione .....	67
Tabella 22 -- Output residui regressione con estensione, zona e vegetazione .....	68
Tabella 23 - Output riepilogo regressione zona, stagione e vegetazione .....	69
Tabella 24 - Output residui regressione zona, stagione e vegetazione .....	69
Tabella 25 - Output riepilogo regressione estensione, zona, stagione e vegetazione ma intercetta nulla .....	70
Tabella 26 - Output residui regressione estensione, zona, stagione e vegetazione ma intercetta nulla .....	71
Tabella 27 - Output riepilogo regressione CL415 estensione, zona, stagione e vegetazione .....	72
Tabella 28 - Output residui CL415 regressione estensione, zona, stagione e vegetazione .....	72
Tabella 29 - Output riepilogo regressione CL415 estensione, zona e vegetazione .....	73
Tabella 30 - Output residui CL415 regressione estensione, zona e vegetazione .....	74
Tabella 31 - Output riepilogo S64F regressione estensione, zona, stagione e vegetazione ma intercetta nulla .....	75
Tabella 32 - Output residui S64F regressione estensione, zona, stagione e vegetazione ma intercetta nulla .....	75
Tabella 33 - Output riepilogo S64F regressione estensione, zona e vegetazione ma intercetta nulla .....	76
Tabella 34 - Output residui S64F regressione estensione, zona e vegetazione ma intercetta nulla .....	77
Tabella 35 - Validazione modello - Caso Buti .....	84

Tabella 36 - Validazione modello - Caso Fermo.....	85
Tabella 37 - Validazione modello - Caso Caserta .....	85

## ***LISTA DELLE FIGURE***

Figura 1 - Numero di incendi boschivi e terre bruciate in EU.....	1
Figura 2 - Mappa dell'area interessata dall'incendio di Alexandroupolis.....	2
Figura 3 - Emissioni di CO2 da incendi boschivi.....	3
Figura 4 - Perdite economiche.....	4
Figura 5 - COLOSSUS.....	6
Figura 6 - Progetto COLOSSUS.....	8
Figura 7 - Erba e Cespugli.....	10
Figura 8 – Detriti di legname e Boschi.....	10
Figura 9 - Influenza della pendenza sull'incendio.....	11
Figura 10 - Attacco Diretto.....	13
Figura 11 - Flank direct attack.....	13
Figura 12 - Pinch direct attack.....	14
Figura 13 - Head direct attack.....	14
Figura 14 - Attacco indiretto.....	15
Figura 15 - Costruzione di linee di fuoco artificiali.....	16
Figura 16 - Attacco parallelo.....	17
Figura 17 - Attività per assicurare una zona completamente sicura.....	17
Figura 18 - Bruciature preventive.....	18
Figura 19 - Canadair CL415 in azione.....	19
Figura 20 - S64F in azione.....	21
Figura 21 - CL415.....	22
Figura 22 - Pescaggio CL415.....	23
Figura 23 – S64F.....	24
Figura 24 - Comunicazione DOS e velivoli.....	25
Figura 25 - V head attack.....	27
Figura 26 - Pinch attack aereo e da terra.....	27
Figura 27 - Combined tactics.....	28
Figura 28 - Hook pattern.....	29
Figura 29 - Rilascio di combustibile.....	30
Figura 30 - Creazione di due linee di controllo.....	30
Figura 31 - Organizzazione operativa.....	47
Figura 32 - Autopompa serbatoio.....	51
Figura 33 - Autobotte pompa.....	52
Figura 34 - CA/ESK.....	53
Figura 35 - Escavatore.....	53
Figura 36 - Pale meccaniche.....	54
Figura 37 - Bulldozer.....	55



# 1. Introduzione

## 1.1 Incendi boschivi

Nel corso degli ultimi decenni gli incendi forestali hanno iniziato a rappresentare sempre di più una grave minaccia per gli ecosistemi europei e per la sicurezza umana, mettendo a dura prova l'ambiente. Infatti, l'Europa ha assistito a un aumento significativo della frequenza e intensità degli incendi, che necessitano di soluzioni sempre più efficaci ed economiche. Sono molti i fattori responsabili di questo fenomeno, tra cui i cambiamenti climatici, la gestione inadeguata delle risorse e l'attività umana.

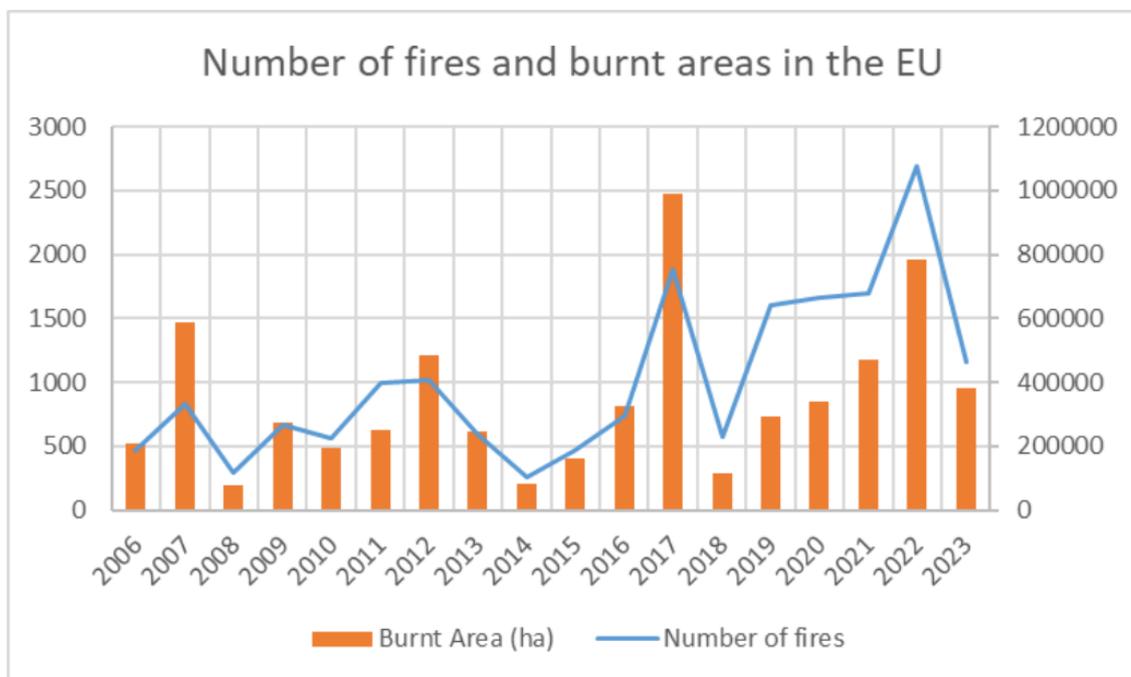


Figura 1 - Numero di incendi boschivi e terre bruciate in EU

In Europa sono stati registrati numerosi casi di incendi di grandi dimensioni che evidenziano la gravità della situazione. In particolare, nel 2023, un incendio di 94.000 ettari ha colpito la Grecia nelle vicinanze di Alexandroupolis. Si tratta del più grande incendio singolo registrato nell'Unione Europea, che ha causato la distruzione di oltre 62.000 ettari appartenenti ad una riserva naturale, con la perdita della biodiversità e ingenti danni economici per l'intera regione.

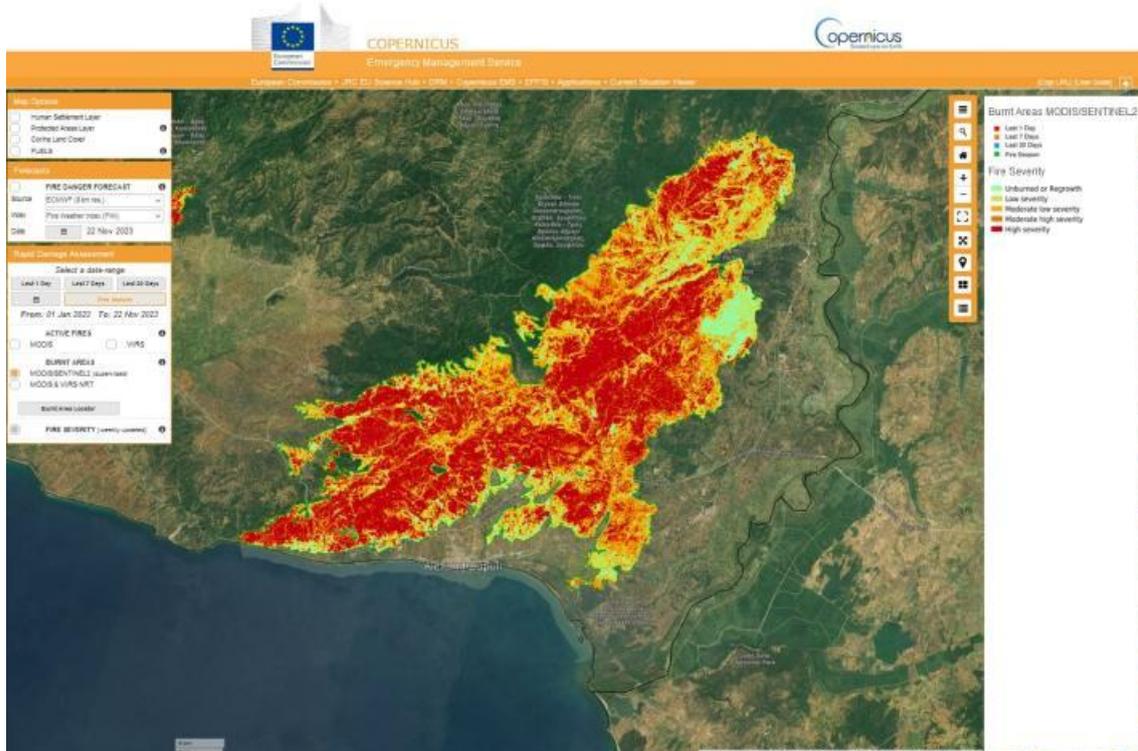


Figura 2 - Mappa dell'area interessata dall'incendio di Alexandroupolis

Anche l'Italia non è esente da questo triste fenomeno. Nel 2022, infatti, sono stati registrati 6.529 incendi, con un aumento del 9,1% rispetto al 2021, che hanno messo a rischio le comunità umane e generato consistenti spese per la soppressione e la gestione di questi fenomeni.

## 1.2 Cambiamenti climatici

Uno dei principali fattori che ha contribuito al peggiorare della situazione degli incendi forestali in Europa, e non solo, è rappresentato dai cambiamenti climatici. Uno studio del 2021 supportato da NOAA ha concluso che il cambiamento climatico è stato il principale motore dell'incremento delle condizioni meteorologiche favorevoli agli incendi. L'aumento delle temperature e la riduzione delle precipitazioni hanno creato condizioni favorevoli alla propagazione del fuoco, rendendo le foreste sempre più vulnerabili. L'aridità riduce l'umidità del combustibile superficiale, rendendolo più facilmente infiammabile.

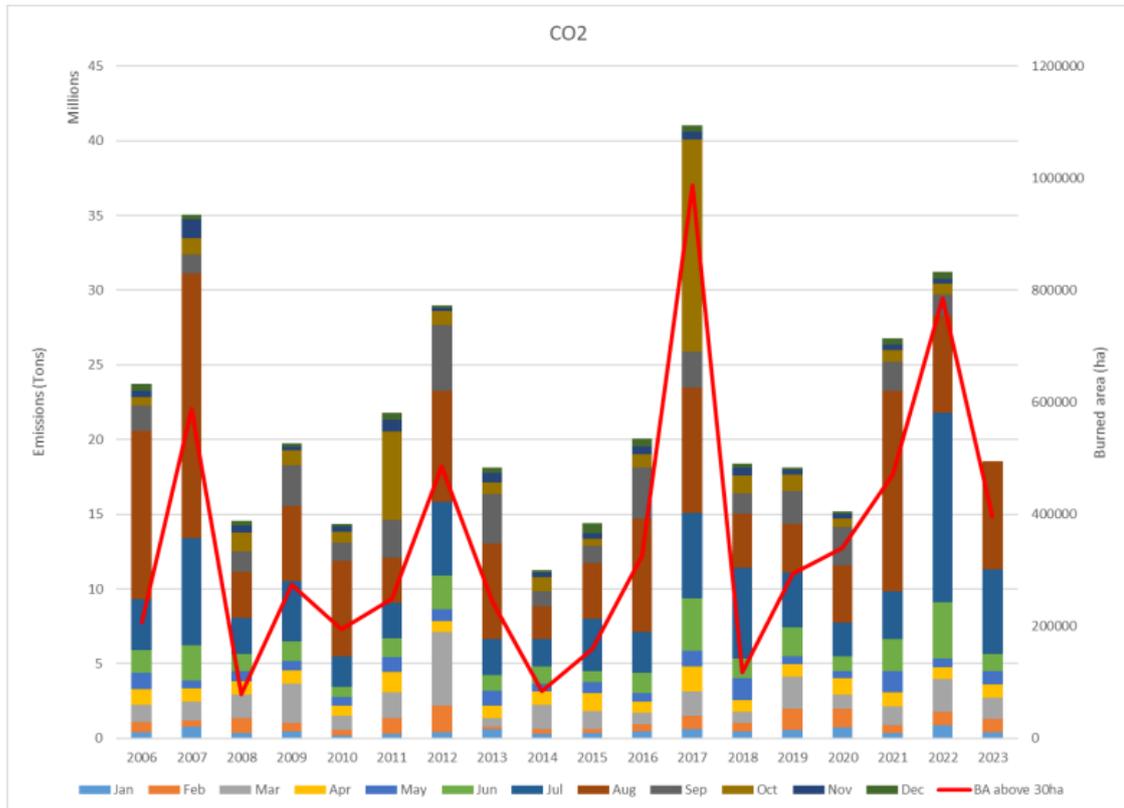


Figura 3 - Emissioni di CO2 da incendi boschivi

Dalla relazione sugli incendi boschivi in Europa, Medio Oriente e Nord Africa 2022 pubblicata dal Centro comune di ricerca della Commissione Europea, emerge che nel 2022, nell'UE sono bruciati quasi 900.000 ettari di terreni, emettendo circa 20 milioni di tonnellate di CO2 nell'atmosfera. Secondo il sistema EFFIS, il 2022 è il secondo anno peggiore dal 2000, preceduto solo dal 2017 con 1,3 milioni di ettari bruciati.

Nonostante la maggior parte degli incendi sia causata dall'azione umana, circa il 96%, i cambiamenti climatici li aggravano. In particolare, la relazione mette in risalto quanto la siccità protratta aumenterà in futuro con il riscaldamento globale, creando un circolo vizioso di incendi boschivi che emettono grandi quantità di CO2 nell'atmosfera, aggravando a loro volta il surriscaldamento globale.

### 1.3 Impatti economici

Gli incendi boschivi, oltre ad essere un fenomeno tragico e altamente distruttivo, colpiscono dritto nel cuore dell'economia delle parti interessate. Settori diversi come

l'agricoltura, l'immobiliare e il turismo risentono di questo fenomeno, e nel 2023 gli incendi hanno causato danni all'Europa per circa €4.1 miliardi di euro.

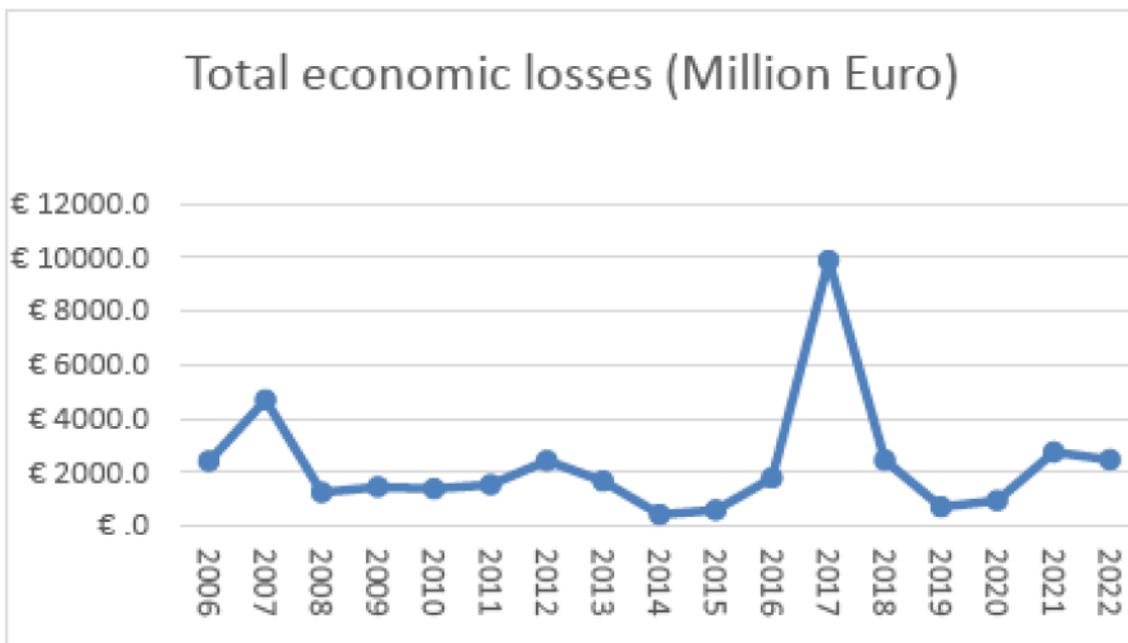


Figura 4 - Perdite economiche

Oltre ai costi economici dovuti alla distruzione di terreni e proprietà private, bisogna tenere in considerazione anche le spese legate alla soppressione degli incendi, al mantenimento delle flotte di velivoli e alle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera.

Quindi si può andare ad effettuare una prima distinzione tra costi diretti e perdite indirette. I costi diretti rappresentano i costi di spegnimento e danni immediati, ovvero danni a proprietà private e beni e se necessari costi di evacuazione, di medici, di interruzioni pubbliche e commerciali. I costi indiretti, invece, sono i più difficili da valutare dal momento che dipendono da diversi fattori ambientali, sociali ed economici che persistono dopo che l'incendio è stato spento. In questo contesto, Zybach et al. (2009) hanno compilato una panoramica delle categorie di costi associati agli incendi boschivi, suddivise in costi diretti, indiretti e post-incendio.

<b>CATEGORIE DI COSTO</b>	<b>DIRETTO</b>	<b>INDIRETTO</b>	<b>POST-INCENDIO</b>
<b>COSTI DI SOPPRESSIONE</b>	Salari, mezzi, attrezzature, servizi ed evacuazioni	Addestramento, attrezzature e manutenzione	Riparazioni, assistenza medica e riassortimento
<b>PROPRIETÀ</b>	Strutture, comunicazioni e trasporti, legnami e prodotti agricoli	Assicurazione e manutenzione	Riparazioni e sostituzioni
<b>VEGETAZIONE</b>	Legname, foraggio, agricoltura e habitat	Crescita di erbacce	Bonifica e ricoltura
<b>SANITÀ PUBBLICA</b>	Feriti, morti, ricoveri e attrezzature	Assicurazione sanitaria e formazione	Effetti sulla salute e costi delle cure
<b>FAUNA SELVATICA</b>	Habitat	Aumento popolazione pre-incendio	Effetti dovuti all'aumento della popolazione
<b>ACQUA</b>	Spegnimento della rete idrica	Investimenti nella rete idrica	Riparazioni e impatti sulla fornitura
<b>ARIA ED EFFETTI ATMOSFERICI</b>	Inquinamento	Effetti sulla salute e danni alle proprietà	Mitigazione della CO2 emessa
<b>EFFETTI LEGATI AL SUOLO</b>	Erosione	Investimenti pre-incendio	Bonifica e diminuzione della produttività
<b>RICREAZIONE ED ESTETICA</b>	Chiusure e danneggiamento dei beni culturali	Investimenti pre-incendio	Restauro dei beni culturali

<b>CATEGORIE DI COSTO</b>	<b>DIRETTO</b>	<b>INDIRETTO</b>	<b>POST-INCENDIO</b>
<b>ENERGIA</b>	Danni alla rete elettrica	Investimenti pre-incendio	Riparazioni
<b>PATRIMONIO</b>	Siti culturali/storici e sostegno alle imprese	Investimenti pre-incendio	Riparazioni e perdita di siti

*Tabella 1 - Costi diretti, indiretti e post-incendio*

### *1.4 Progetto COLOSSUS*

La crescente necessità di personale, mezzi e velivoli antincendio solleva una serie di sfide organizzative che richiedono un'attenzione particolare e la cooperazione internazionale.

COLOSSUS è un progetto finanziato dall'Unione Europea comprendente 14 partner diversi di 7 nazioni, il cui scopo è quello di sviluppare una metodologia di progettazione di sistema di sistemi, che per la prima volta consentirà l'ottimizzazione congiunta di aeromobili, operazioni e modelli di business. Le soluzioni specifiche risultanti per il trasporto intermodale e la lotta contro gli incendi boschivi, insieme ai metodi e agli strumenti sviluppati, saranno pubblicati apertamente al fine di favorire l'utilizzo per la ricerca e l'industria.



*Figura 5 - COLOSSUS*

COLOSSUS utilizza un approccio a 4 livelli per identificare le esigenze, le capacità e i requisiti di sistema nelle fasi iniziali del processo di sviluppo integrato del prodotto e per gestirli adeguatamente durante l'intero ciclo di sviluppo. A differenza degli approcci consolidati basati su design-to-cost (DTC) o design-to-value (DTV), l'accento è posto su una progettazione di sistema ben bilanciata che tiene conto, per quanto possibile, delle interdipendenze e delle interazioni dinamiche del nuovo sistema, prodotto o servizio con il mondo esterno. Questo approccio permette alla R&S europea nel settore dell'aviazione di sviluppare tecnologie e concetti di progettazione che favoriscano gli obiettivi strategici di alto livello dell'Unione Europea. Il progetto utilizza questo approccio per progettare due aerei multiruolo con configurazioni di idrovolante e eVTOL per la mobilità intermodale 4D e la soppressione aerea degli incendi boschivi.

### *1.5 Sistema di sistemi*

Con sistema di sistemi (SoS) si identifica un insieme di sistemi, che mantengono la propria identità, interconnessi che collaborano tra di loro per raggiungere un obiettivo finale comune. Il sistema di sistemi (SoS) può assumere diverse declinazioni a seconda della situazione in cui viene utilizzato, come ad esempio nel mondo militare, tecnologico, aziendale, etc.

Per andare a stimare i costi di SoS è necessario avere:

1. Chiarezza dell'argomento che si vuole stimare;
2. Parametri del modello di costo definiti;
3. Regole di conteggio stabilite per i fattori di dimensione.

In particolare, come prima fase bisogna identificare il mercato per il nostro modello di stima dei costi. Una volta identificato e comprese le richieste e necessità, si inizia il processo di creazione del modello vero e proprio. Successivamente vengono suddivisi i diversi sistemi in componenti più piccoli in modo tale da rendere più identificabili le diverse parti del SoS. Si continua andando a determinare le risorse e andando a valutare i rischi associati. Vengono ricavati i diversi costi diretti e indiretti e per finire viene effettuata un'analisi di sensibilità. Per concludere il modello viene validato e viene prodotta tutta la documentazione necessaria.

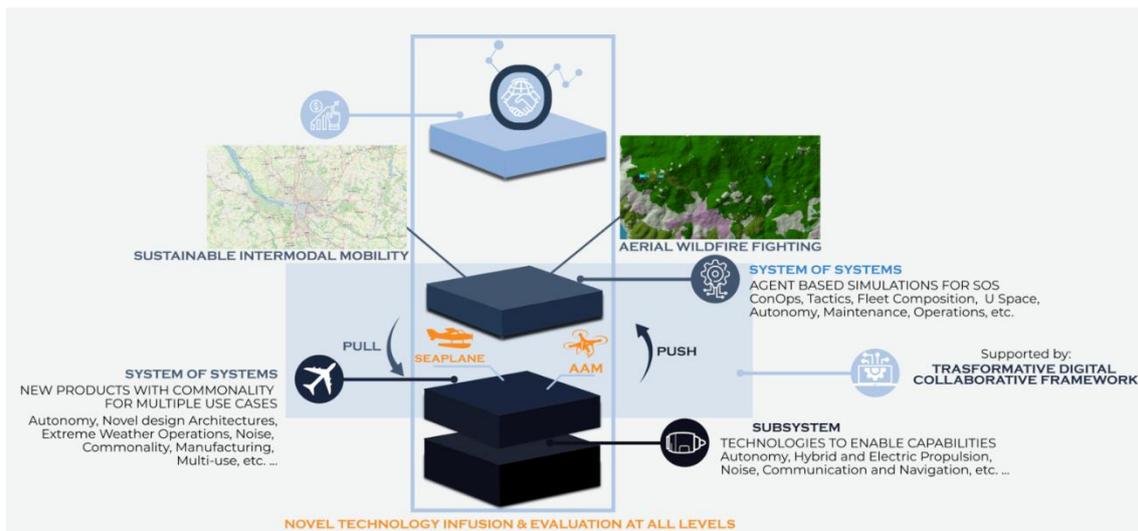


Figura 6 - Progetto COLOSSUS

## 1.6 Gli scopi della tesi

Lo scopo di questa tesi sarà quello di studiare i principali fattori che influenzano gli incendi boschivi, gli approcci di spegnimento e i diversi mezzi impiegati durante queste operazioni con una particolare attenzione ai costi. Questa tesi magistrale si pone l'obiettivo di ricavare un modello che ben si adatti al concetto di sistema di sistemi all'interno del progetto COLOSSUS. Il modello parametrico permetterà di ricavare il personale e i mezzi di intervento per la soppressione degli incendi, il loro costo diretto e il costo dei danni associati al fine di contribuire a una gestione più efficace ed economicamente più consapevole dell'intero sistema degli incendi boschivi.

Dopo una prima parte di introduzione, il corpo centrale della tesi sarà dedicato alla descrizione del lavoro svolto per la raccolta dei dati e per lo sviluppo del modello di stima del personale, dei mezzi e dei costi. Infine, saranno proposti alcuni casi esempio impiegati per la validazione del modello.

## **2. Stato dell'arte degli incendi boschivi**

La legge quadro nazionale 21 novembre 2000 n. 353 recita all'art. 2:

"Per incendio boschivo si intende un fuoco con suscettibilità ad espandersi su aree boscate, cespugliate o arborate, comprese eventuali strutture ed infrastrutture antropizzate poste all'interno delle predette aree, oppure su terreni coltivati o incolti e pascoli limitrofi a dette aree".

Gli incendi nelle zone boschive risultano essere più dinamici, di difficile previsione e generalmente richiedono più tempo, rispetto agli incendi cittadini, per essere spenti. La loro diffusione è facilitata dai carburanti facilmente infiammabili (foglie secche, rami secchi e resina), venti vigorosi e dalla conformazione del terreno portando anche un piccolo incendio piuttosto semplice a trasformarsi in un incendio dalle proporzioni devastanti.

Tipicamente, per via delle diverse agenzie presenti in azione, le comunicazioni radio possono risultare di difficile comprensione. Le difficoltà solitamente derivano dal numero di frequenze disponibili e dal numero di persone che cercano di utilizzare tali frequenze disponibili.

Con l'aumentare delle dimensioni di un incidente cresce anche la necessità di risorse aggiuntive per affrontarlo e con il continuo aumento delle risorse, aumenta anche la necessità di fornire loro assistenza e supporto sul campo e di sviluppare un'infrastruttura di gestione adeguata.

Quindi, affinché la situazione possa essere gestita in modo tale di giungere alla risoluzione del problema è necessario che sia ben chiare e definite le risorse, le squadre, le tattiche da mettere in atto e le gerarchie di comando.

### *2.1 Fattori che influenzano il comportamento degli incendi*

La propagazione degli incendi nelle zone boschive è fomentata da tre principali fattori: il combustibile, la topografia e il clima. Queste informazioni sono di fondamentale importanza per prepararsi alle fasi di soppressione con i giusti mezzi e per lo sviluppo della strategia generale da adottare.

### 2.1.1 *Il combustibile*

Con il termine combustibile si intende qualsiasi materiale in grado di prendere fuoco e bruciare, il quale può essere ulteriormente definito come materiale vegetale vivo o morto. In particolare, la comunità antincendio ha categorizzato i combustibili in quattro principali tipi:

- Erba: presente nella maggior parte delle aree, ma più dominante come combustibile nei pascoli;
- Arbusti (cespugli): presenti in quasi tutte le aree dell'Europa
- Detriti di legname: dominante nelle aree montuose;
- Boschi e macchia mediterranea: altamente infiammabili



*Figura 7 - Erba e Cespugli*



*Figura 8 – Detriti di legname e Boschi*

### 2.1.2 *La topografia*

La topografia descrive la conformazione della superficie terrestre, con i suoi rilievi e la posizione degli insediamenti umani. Ovvero, qualsiasi variazione di elevazione può alterare la propagazione. Infatti, gli incendi bruciano più rapidamente in salita che in

discesa questo perché i combustibili sopra l'incendio vengono in contatto più stretto con le fiamme in movimento verso l'alto.

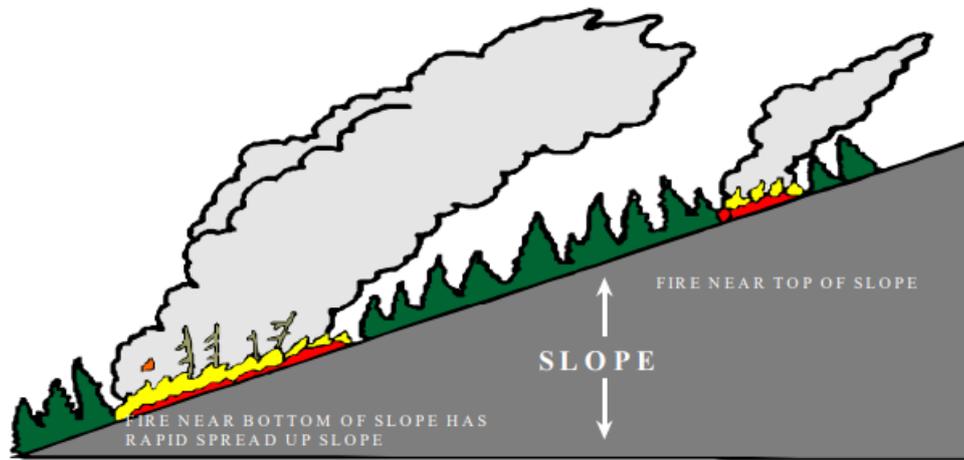


Figura 9 - Influenza della pendenza sull'incendio

Oltre a ciò, l'orientamento rispetto al sole di una pendenza determina generalmente la quantità di riscaldamento ricevuto dal sole e quindi la quantità, la condizione e il tipo di combustibili presenti. Sempre riguardo ai combustibili l'altezza del terreno risulta essere un fattore non trascurabile, a quote più basse sono esposti a temperature più elevate e si seccano prima durante l'anno rispetto a quelli a quote più elevate.

### 2.1.3 Il clima

Il clima rappresenta, per via della sua imprevedibilità, un fattore di difficile comprensione ma allo stesso tempo di estrema importanza nella lotta agli incendi.

La temperatura dei combustibili e del suolo dipende dalla quantità di radiazione solare. Una temperatura elevata comporta temperature dei combustibili più alte, rendendo più facile la combustione dei combustibili.

Il vento costituisce una delle influenze più importanti sul comportamento degli incendi, influenzando sia la combustione che la velocità di propagazione del fuoco. Questo è dato dal fatto che il vento comporta un aumento dell'apporto di ossigeno alle fiamme e trasporta scintille e fiamme in zone ancora non interessate dall'incendio.

## *2.2 Approcci tattici*

Le diverse tattiche di soppressione degli incendi boschivi hanno lo scopo principale di contenere e spegnere gli incendi, cercando di ridurre al minimo i danni ambientali ed economici sempre tenendo in considerazione la sicurezza della popolazione e del personale impiegato. Con il passare degli anni e dello sviluppo tecnologico, le strategie hanno subito sviluppi e cambiamenti introducendo tecniche sempre più avanzate, nuove tecnologie e una comprensione migliore degli incendi stessi.

La scelta della tattica migliore da impiegare dipende dai diversi fattori che influenzano il comportamento degli incendi stessi oltre alle risorse disponibili sul campo. Queste si suddividono principalmente in due categorie: attacco diretto e attacco indiretto.

### *2.2.1 Attacco diretto*

L'attacco diretto è una tattica utilizzata prevalentemente su incendi che bruciano in combustibili leggeri, o su incendi a bassa intensità accessibili ai vigili del fuoco, in modo tale che possano lavorare vicino al perimetro del fuoco. D'altro canto, non dovrebbe mai essere utilizzata su combustibili medi e/o pesanti o su incendi intensamente brucianti.

La prima fase di questa tipologia di attacco si basa sul posizionamento di risorse di soppressione e sulla selezione di un punto di ancoraggio direttamente sul fronte del fuoco dal quale si cerca di avanzare contendendo e spegnendo le fiamme in maniera immediata. Le fiamme vengono contrastate gettando su di esse terra o utilizzando acqua per creare una linea antincendio. La linea antincendio è costruita raschiando la vegetazione fino al suolo minerale.



Figura 10 - Attacco Diretto

Nello specifico, esistono tre metodi di attacco diretto:

- Iniziare con un punto di ancoraggio sicuro, sul retro del fuoco, e procedere intorno dai fianchi verso la testa dell'incendio. Questa tipologia di attacco è definita "Flank Attack"

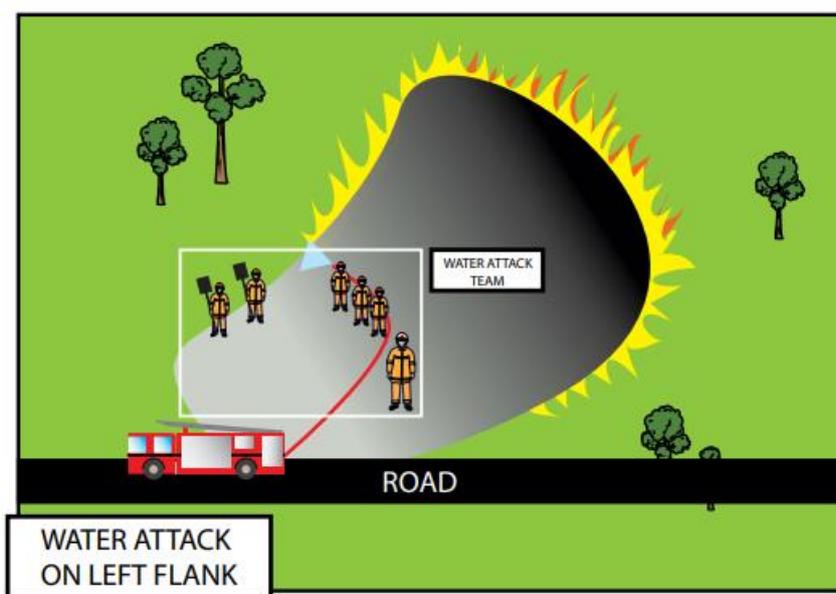


Figura 11 - Flank direct attack

- Nel caso il “Flank Attack” avvenga su entrambi i fianchi dell’incendio questa tattica prende il nome di “Pinch Attack”

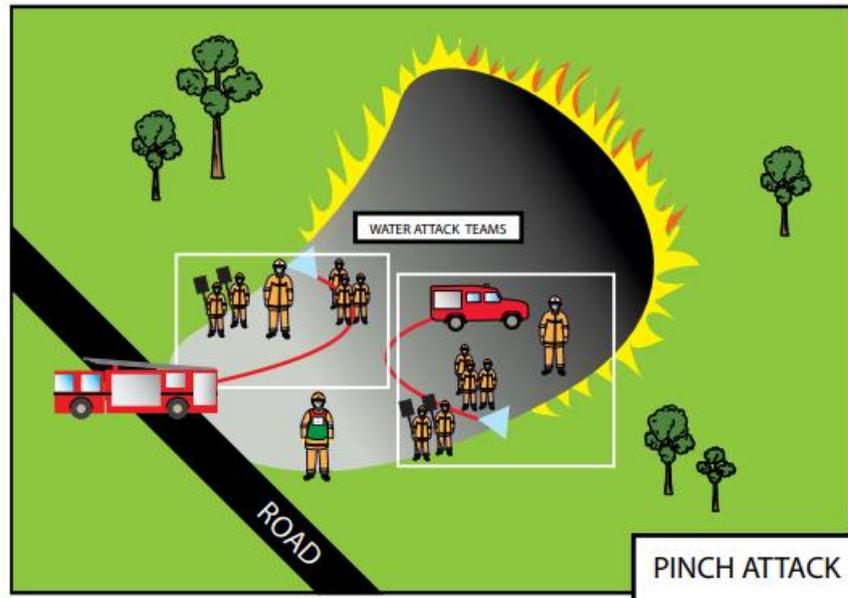


Figura 12 - Pinch direct attack

- Avanzare con le linee d'acqua dal retro attraverso l'area bruciata già attraversata dai combustibili leggeri, dividendo la testa e lavorando sui fianchi fino al retro. Questa tattica funziona bene sui combustibili leggeri che bruciano con bassa intensità. Questa tattica prende il nome di “Head Attack”.

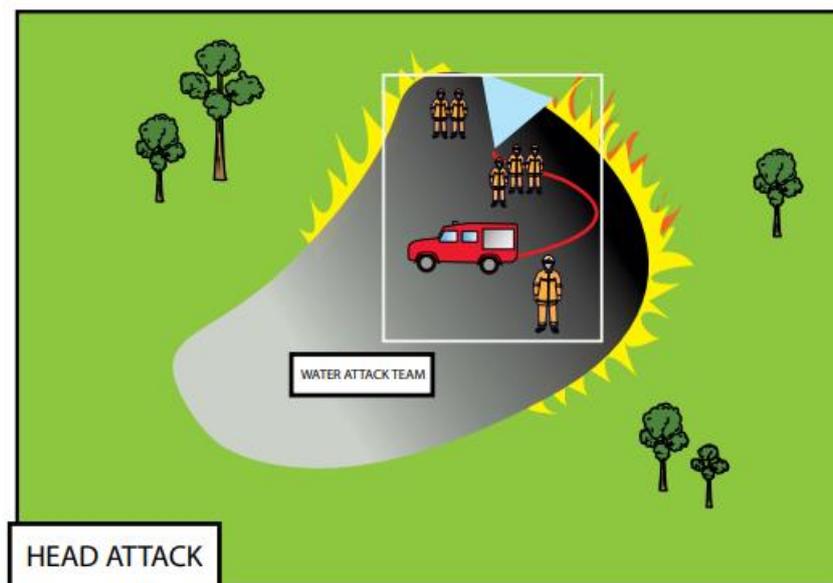


Figura 13 - Head direct attack

### 2.2.2 Attacco indiretto

L'attacco indiretto, invece, richiede la creazione di una linea di controllo situata a una considerevole distanza dal bordo attivo del fuoco. Questa tattica è tipicamente utilizzata su incendi caratterizzati da combustibili pesanti, alte intensità, o quando gli incendi sono situati in zone inaccessibili al personale e ai mezzi antincendio. Quindi questa tipologia di attacco viene utile quando risulterebbe troppo pericoloso effettuare operazioni sul bordo o sul perimetro del fuoco.

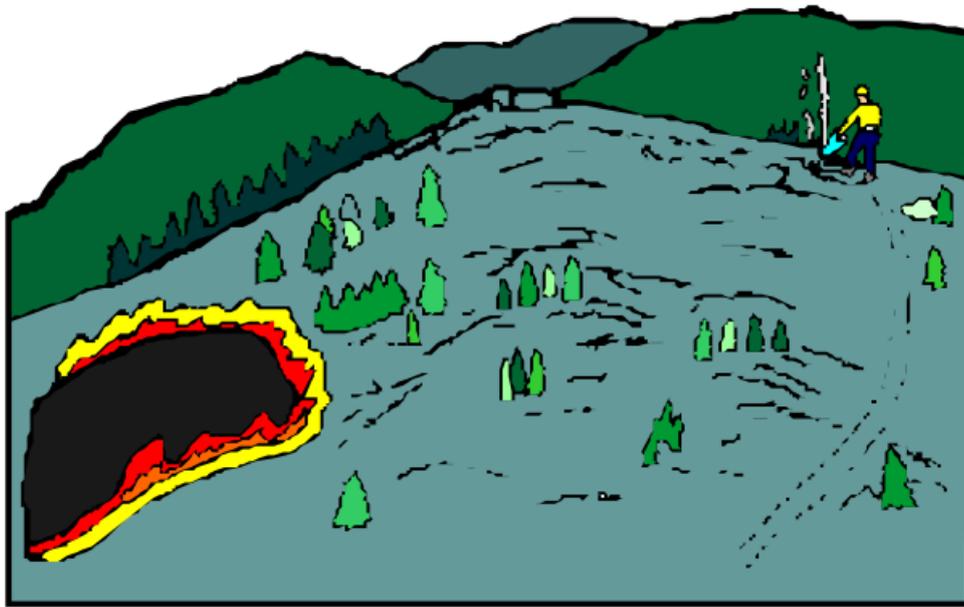


Figura 14 - Attacco indiretto

Nello specifico, esistono tre metodi di attacco diretto:

- Costruire linee di controllo manualmente, meccanicamente o tramite l'applicazione di acqua e/o ritardanti. Questa metodologia, quindi, sfrutta le barriere naturali e/o artificiali permettendo così di avere più controllo sul perimetro.

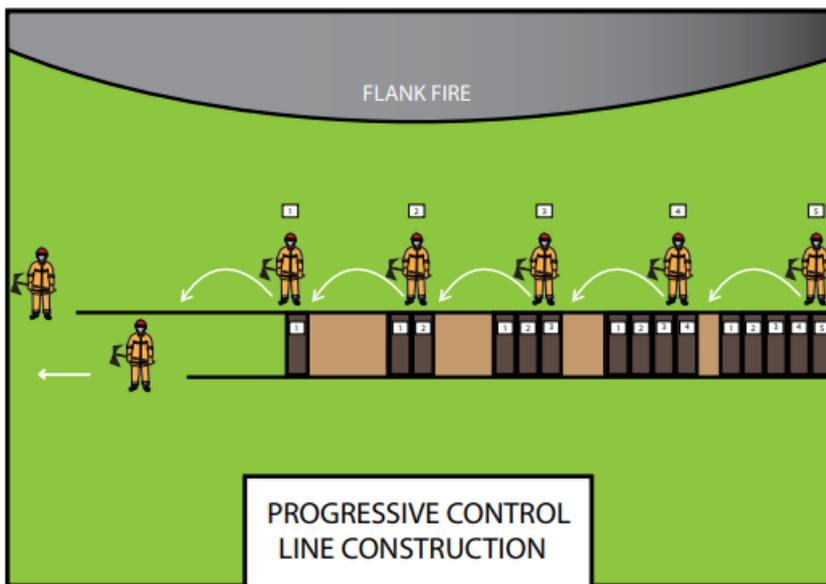
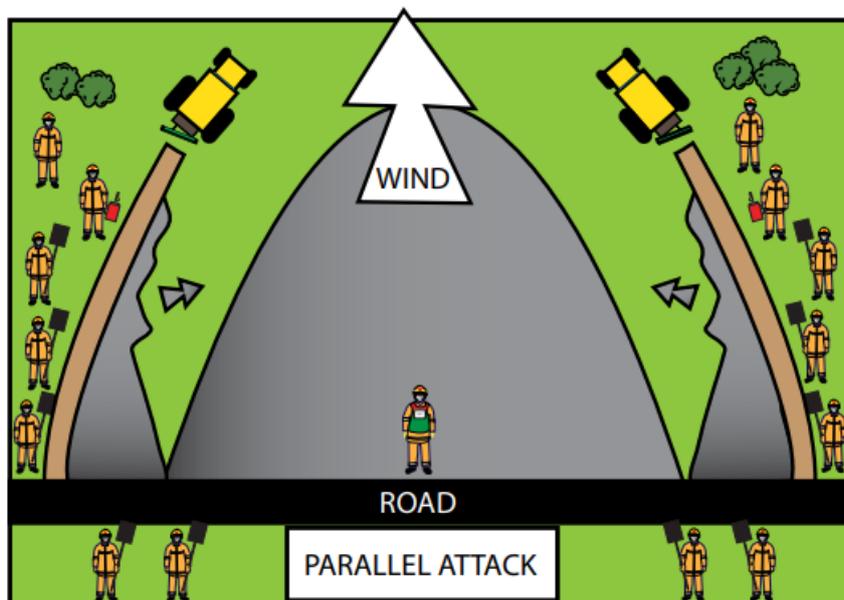


Figura 15 - Costruzione di linee di fuoco artificiali

- Attaccare le fiamme parallelamente ai fianchi dell'incendio in modo tale da accerchiare il fuoco e assicurare l'area tramite la costruzione di linee di controllo. Questa metodologia risulta molto efficiente contro incendi di elevata intensità.



*Figura 16 - Attacco parallelo*

- Estinguere completamente e assicurare le zone portate sotto controllo in modo tale da evitare la rinascita di fiamme da luoghi ritenuti già sicuri.



*Figura 17 - Attività per assicurare una zona completamente sicura*

- Realizzare una linea di fuoco tramite le cosiddette bruciature preventive, bruciando il combustibile tra la linea di fuoco e il bordo del fuoco, permettendo così un maggior controllo sull'andamento dell'incendio.

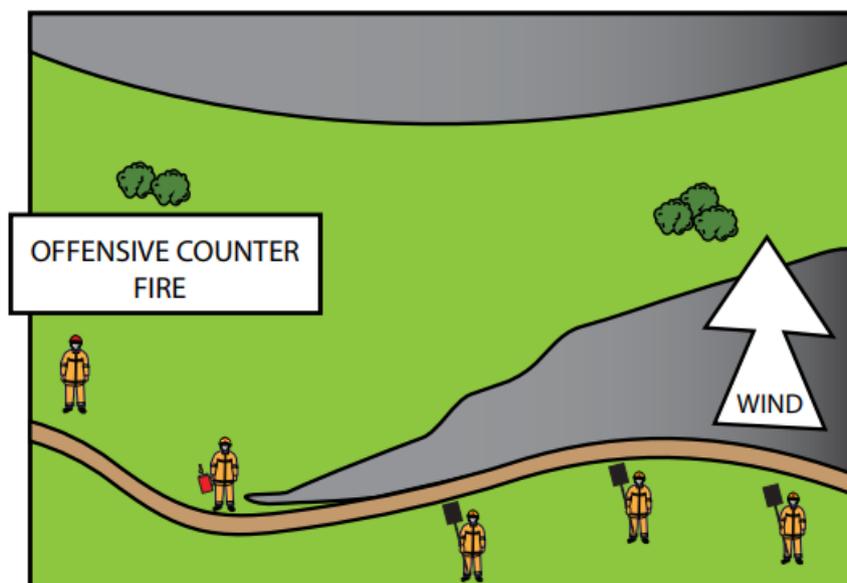


Figura 18 - Bruciature preventive

### 2.3 Operazioni aeree

L'utilizzo di mezzi aerei è diventato un elemento di fondamentale importanza nelle tattiche di soppressione degli incendi boschivi. Infatti, l'elevata capacità di carico e la possibilità di utilizzarli in zone di difficile accesso permette di fornire un supporto determinante alle squadre a terra impegnate nella lotta contro gli incendi.

Tuttavia, i mezzi aerei ad ala fissa e ad ala rotante devono essere utilizzati in maniera attenta e coordinata con le altre unità per contribuire a massimizzare l'efficacia complessiva delle operazioni di soppressione. Infatti, se l'intervento aereo non è seguito da un'efficace azione di terra, il suo operato verrà vanificato.

Come per la scelta delle tattiche anche la scelta del tipo di aeromobile da utilizzare dipende dai diversi fattori riguardanti le dimensioni dell'incendio, le condizioni meteorologiche e la tipologia del terreno.

Entrambe le tipologie di velivoli possono essere utilizzate per:

- Effettuare sgocciolamenti d'acqua, al fine di abbattere un punto caldo;
- Rilasciare schiuma e ritardanti di fiamma;
- Fornire protezione e alleggerire la pressione su un equipaggio di terra;
- Eseguire ricognizioni;

- Coordinare le operazioni dall'alto.

Come detto, la coordinazione nell'uso degli aeromobili è di estrema importanza. Gli aeromobili devono essere informati costantemente delle condizioni del fuoco, delle condizioni meteo e delle posizioni in cui sono presente le unità antincendio.

Nonostante il grande contributo che questi mezzi forniscono nella soppressione degli incendi bisogna tenere in considerazione il loro enorme costo di utilizzo e le complicazioni che possono sorgere.

### *2.3.1 Aeromobili ad ala fissa*

Gli aeromobili ad ala fissa, noti anche come air tanker, sono attrezzati con sistemi di sgancio di acqua e/o ritardante con lo scopo di andare a creare una striscia di fiamma che possa spegnere o rimuovere il calore dai combustibili che alimentano il fuoco. Quindi, il loro compito è quello di creare linee di controllo preventive o nell'abbattere le fiamme nelle prime fasi dell'incendio.

I piloti di questi mezzi sono altamente addestrati e in grado di “colpire” in modo altamente preciso le zone designate. Tuttavia, i pericoli nell'effettuare tali manovre con velivoli di queste dimensioni è elevato.



*Figura 19 - Canadair CL415 in azione*

L'Europa vuole aumentare la sua flotta di velivoli per la lotta agli incendi boschivi e in particolare ponendo l'attenzione sui velivoli Canadair. Al momento l'Europa possiede 41 esemplari di Canadair CL415 così suddivisi:

- Francia: 12
- Italia: 18
- Croazia: 6
- Grecia: 1
- Spagna: 4

L'investimento europeo porterà al dispiego di 12 nuovi Canadair che verranno distribuiti tra Croazia, Francia, Grecia, Italia, Portogallo e Spagna.

### 2.3.2 *Elicotteri*

Gli elicotteri rappresentano una scelta più facilmente manovrabile andando, però, a sacrificare le quantità di carico trasportabile. Per via della loro alta manovrabilità questi mezzi sono eccellenti per il rilascio di acqua e/o ritardante sui punti caldi a quote radicalmente più basse rispetto agli airtanker. Oltre a ciò, grazie alla possibilità di stazionare per lunghi periodi questi velivoli rappresentano un ottimo mezzo di ricognizione.

Tuttavia, anche gli elicotteri possono creare rischi per coloro che operano a terra. Infatti:

- Possono crearsi vortici che raggiungendo il suolo assumono la forma di un vento forte e turbolento in grado di portare un aumento delle fiamme o il superamento di una linea di controllo;
- Le cadute di ritardante o acqua possono ferire il personale che opera a terra;
- L'uso degli aeromobili nelle vicinanze di linee elettriche, cavi, torri e pali.



*Figura 20 - S64F in azione*

### *2.3.3 Velivoli in dotazione all'Italia*

L'Italia è una delle nazioni europee con la flotta più numerosa di mezzi aerei antincendio. I Vigili del Fuoco possono contare sull'aiuto di 18 Canadair CL415 (Velivolo ad ala fissa) e 6 Erickson S64F (Elicottero) stanziati nelle basi operative di Genova, Roma e Lamezia Terme, ma che nei periodi di maggiore attenzione vengono ridistribuiti su tutto il territorio nazionale. Gli stessi piloti dei vigili del fuoco sono addetti al pilotaggio degli elicotteri, mentre per il comando dei Canadair, che richiedono abilità e destrezza maggiore, l'Italia si affida alla società esterna Babcock.

I mezzi della flotta aerea sono coordinati dal COAU (Centro Operativo Aereo Unificato) del Dipartimento della Protezione Civile e sul direttamente sul campo dalla figura del DOS (Direttore delle Operazioni di Spegnimento), il quale dirige le operazioni di antincendio coordinando tutte le forze di terra e i mezzi aerei.

#### *Canadair CL-415*

Il Viking Air 415, noto come Canadair CL-415, è un aereo anfibia bimotores ad ala bassa multiruolo in servizio dal 1994 in grado di svolgere missioni di salvataggio e prevenzione del territorio. L'aereo, prodotto originariamente dall'azienda canadese Canadair, è attualmente prodotto dalla Bombardier Aerospace dagli anni 90 e dalla Viking Air Limited a partire dal 2016.

Il CL-415 monta 2 motori turboelica Pratt & Whitney Canada PW123AF e rappresenta l'unico scooper progettato specificamente per la lotta antincendio con un'autonomia fino a 3 ore. Grazie ai serbatoi situati sotto il pavimento della cabina e in testa ai lati della fusoliera riesce ad immagazzinare fino a 6160 litri di acqua con un tempo di riempimento di 9-12 secondi in circa 300-400 metri di flottaggio. Potenzialmente è in grado di prelevare acqua da tutti i siti con una profondità di almeno 2 metri ed una larghezza di almeno 90 metri.

<b>Lunghezza</b>	19,82 m
<b>Apertura alare</b>	28,60 m
<b>Superficie alare</b>	100,33 m <sup>2</sup>
<b>Peso max al decollo</b>	17.168 kg (dall'acqua), 19.890 kg (da terra)
<b>Capacità</b>	6160 L
<b>Potenza</b>	2x1775 kW
<b>Velocità massima</b>	376 km/h a 1530 m
<b>Autonomia</b>	2427 km
<b>Piloti</b>	2 + 1 tecnico

*Tabella 2 - CL415 Caratteristiche*



*Figura 21 - CL415*

In particolare, il ciclo operativo del Canadair può essere riassunto in 4 operazioni:

1. Pescaggio
2. Avvicinamento all'incendio e contatti con il DOS
3. Rotta di attacco e lancio
4. Allontanamento dall'incendio

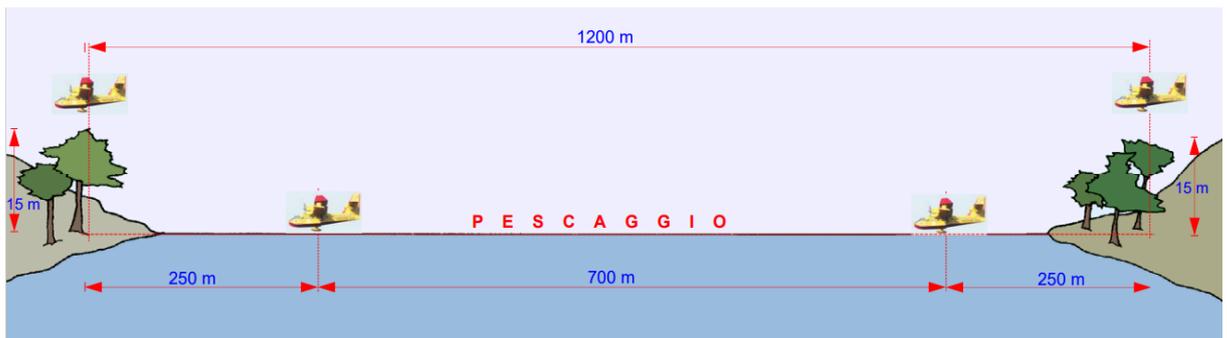


Figura 22 - Pescaggio CL415

### S64F

Il Sikorsky S-64 Skycrane, noto come Erickson Air Crane S-64, è un elicottero biturbina pesante con rotore a sei pale in servizio dal 1962 adatto al sollevamento di carichi molto pesanti. L'elicottero, prodotto originariamente dall'azienda americana Sikorsky, è attualmente prodotto dalla Erickson Air-Crane dagli anni 90.

Da allora, la Erickson è diventata il costruttore e il principale operatore di S-64 introducendo più di 1.350 varianti. In particolare, può essere installato un serbatoio da circa 8.031 litri con anche la possibilità di inserire liquido ritardante e 290 litri di foam (schiumogeno) da utilizzare per la lotta aerea antincendio.

Ha un'autonomia fino a 2,15 ore e il riempimento del serbatoio avviene tramite un tubo flessibile di aspirazione con pompa o tramite un secondo tubo fisso con pinna alla fine (sea snorkel) che carica sfruttando la velocità di traslazione dell'elicottero a 1 / 2 metri dal livello dell'acqua. in un tempo di 45 secondi. Oltre a ciò, il velivolo ha una capacità di sollevamento superiore a 4000 kg.

<b>Lunghezza</b>	21,41 m
<b>Altezza</b>	5,67 m
<b>Superficie rotore</b>	378,1 m <sup>2</sup>
<b>Peso max al decollo</b>	19.050
<b>Capacità</b>	9.070 kg
<b>Potenza</b>	2x3.555 kW
<b>Velocità massima</b>	203 km/h
<b>Autonomia</b>	370 km
<b>Piloti</b>	1

Tabella 3 – S64F Caratteristiche



Figura 23 – S64F

#### 2.3.4 Aspirazione dell'acqua

Un passaggio di fondamentale importanza nell'utilizzo di questi imponenti mezzi è la raccolta dell'acqua che richiede che un velivolo raccolga un grande volume d'acqua da una fonte come un fiume, un lago o un bacino artificiale. Il luogo designato deve essere caratterizzato da dimensioni tali per permettere questa operazione in totale sicurezza e nel minor tempo possibile, in modo tale da ottimizzare e ridurre al minimo i tempi di lontani dal fuoco.

### 2.3.5 Tipi di attacco all'incendio con mezzi aerei

Analogamente alle azioni di terra, anche la strategia di attacco con mezzi aerei si può suddividere in tre grandi categorie:

- Attacco diretto, in cui vengono effettuati lanci di spegnimento;
- Attacco indiretto, in cui vengono effettuati lanci di contenimento e lanci di protezione
- Bonifica, in cui vengono effettuati lanci di bonifica

Il responsabile della scelta della tattica da utilizzare è il direttore delle operazioni di spegnimento, il quale prenderà la decisione a seconda del:

- Tipo di incendio;
- Tipo di vegetazione;
- Condizioni meteo;
- Morfologia della zona;
- Ostacoli al volo;
- Tempo di rotazione (tempo tra un lancio e l'altro);
- Consistenza delle forze di terra;
- Pericolo per persone o manufatti;



Figura 24 - Comunicazione DOS e velivoli

### 2.3.5.1 Attacco diretto

L'attacco diretto rappresenta la tecnica più semplice e immediata, risultando estremamente efficace su incendi che interessano vegetazione radente, arbusti o aree pascolive. Questi incendi, caratterizzati da fiamme di intensità moderata, possono essere facilmente colpiti con l'acqua sganciata da un velivolo. Tuttavia, l'efficacia di questa tecnica dipende da diverse condizioni:

- **Morfologia del terreno:** la presenza di ostacoli potrebbe obbligare il pilota, per motivi di sicurezza, a non abbassarsi a sufficienza per evitare che l'acqua sganciata evapori prima di raggiungere il suolo;
- **Densità della vegetazione:** la presenza di vegetazione troppo fitta potrebbe bloccare l'acqua sulle chiome degli alberi, impedendo di raggiungere il sottobosco dove si sviluppa il fuoco radente;
- **Intensità della fiamma:** il calore sprigionato dalle fiamme negli incendi di chioma potrebbe essere così elevato da provocare l'evaporazione dell'acqua prima che essa riesca a raggiungere le fiamme stesse.

La procedura per questo tipo di attacco prevede una sequenza di lanci di acqua e/o ritardante direttamente sulle fiamme; questi lanci vengono ripetuti finché le fiamme non sono controllate, lasciando solo piccoli focolai residui. A questo punto, le squadre di terra intervengono per spegnere gli ultimi focolai e avviare le operazioni di bonifica.

Le tattiche principali di attacco diretto sono:

- “V head attack”, vengono effettuati due lanci rispettivamente sui due fianchi dell'incendio. Tipicamente, è consigliato effettuare questa tattica andando ad utilizzare due velivoli che rilasciano la quantità d'acqua necessaria in rapida successione.

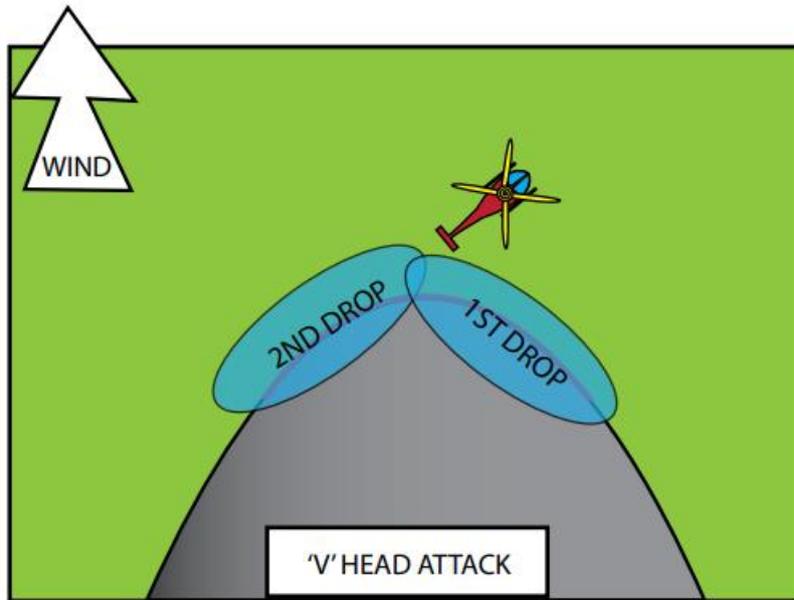


Figura 25 - V head attack

- “Pinch attack” aereo e da terra, vengono effettuati diversi lanci sul fianco dell’incendio mentre le squadre di terra operano sia sul lato interessato dall’azione dei velivoli sia sull’altro fianco.

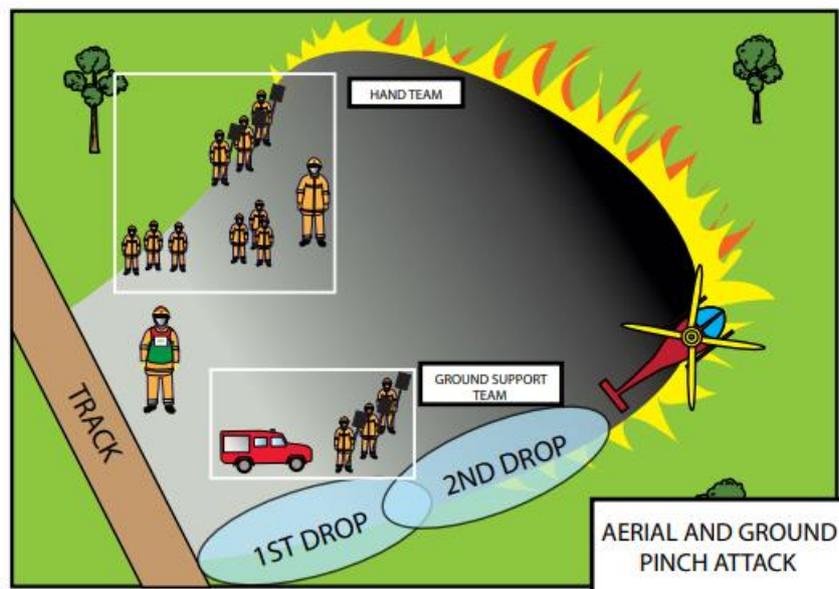


Figura 26 - Pinch attack aereo e da terra

- “Combined tactics”, vengono effettuate diverse attività aeree e da terra in contemporanea in ordine di raggiungere lo stesso obiettivo comune.

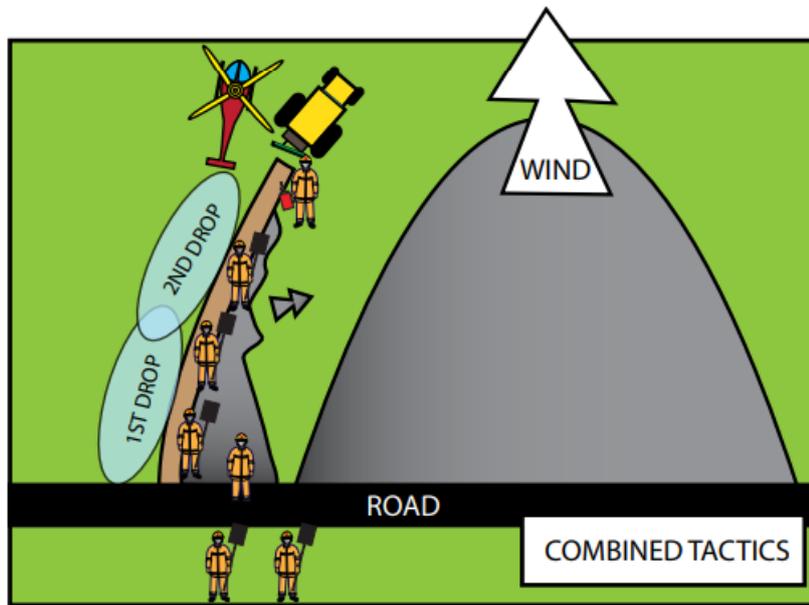


Figura 27 - Combined tactics

### 2.3.5.2 Attacco indiretto

L'attacco indiretto costituisce una tecnica avanzata che richiede una strategia più complessa rispetto a quella diretta. In particolare, si dimostra efficace su incendi radenti sotto la copertura arborea o su incendi di chioma. Questa tattica impiega lanci diretti sulle fiamme o nelle zone non ancora coinvolte dal fuoco tra le fiamme e le squadre a terra (fire-break). In seguito a tali interventi, le squadre a terra si posizionano lungo il fire-break, dove l'intensità del fuoco diminuisce, permettendo un attacco diretto.

Per attuare questa strategia, il direttore delle operazioni seleziona la zona più adatta per creare il fire-break. Al fine di scegliere tale zona, è necessario considerare:

- Una zona facilmente accessibile e sicura per le squadre a terra;
- Una zona in cui il mezzo aereo possa effettuare lanci da basse quote;
- Una zona con vegetazione più rada, quindi con un minor carico di combustibile.

Quindi, durante la procedura di questo tipo di attacco, vengono eseguiti lanci strategici di acqua e ritardante mirati a rallentare e smorzare l'intensità del fuoco, consentendo alle squadre a terra di organizzarsi efficacemente.

Le tattiche principali di attacco indiretto sono:

- “Hook pattern”, vengono effettuati rilasci d’acqua e/o ritardanti per creare linee di controllo sui fianchi dell’incendio

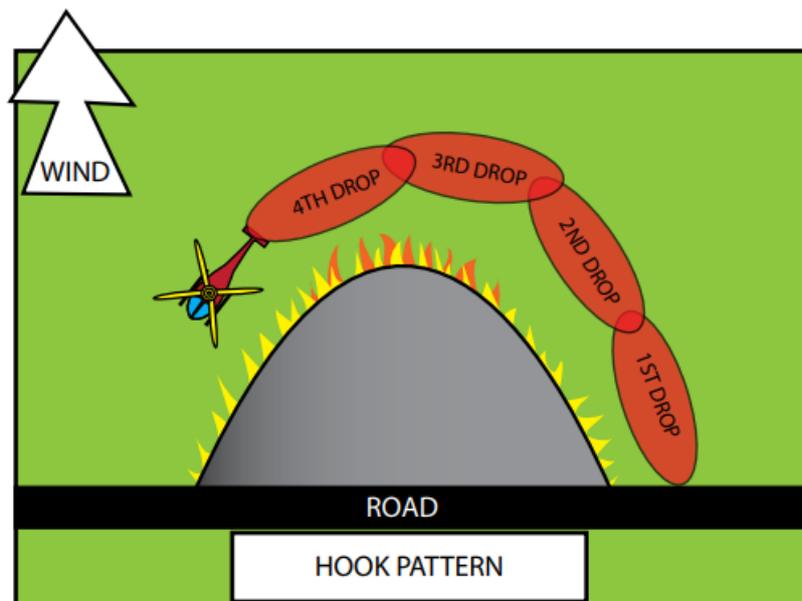


Figura 28 - Hook pattern

- Rilascio di ritardante per evitare che l’incendio si propaghi in zone caratterizzate da combustibile di maggiore infiammabilità.

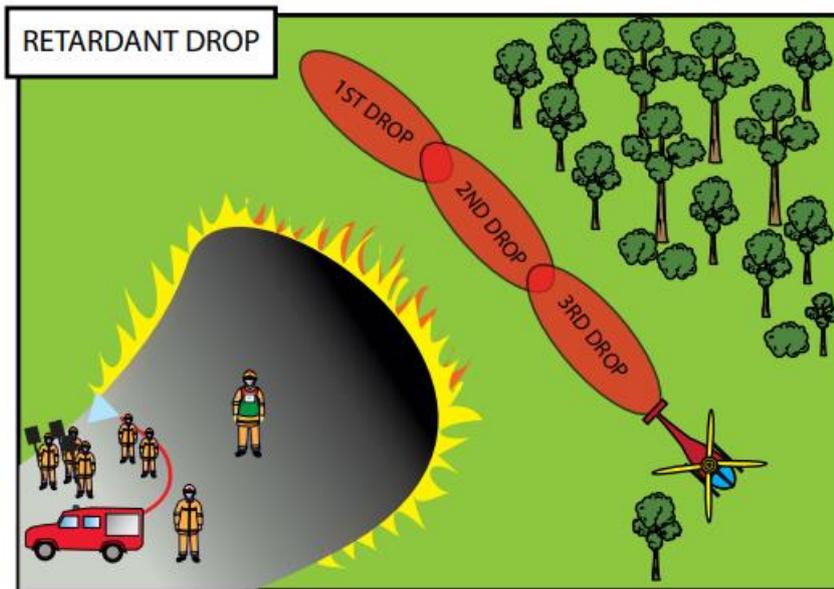


Figura 29 - Rilascio di combustibile

- Creazione di due linee di controllo tramite rilascio di acqua e/o ritardante in modo tale da combattere incendi in grado di “saltare” le linee di controllo già create

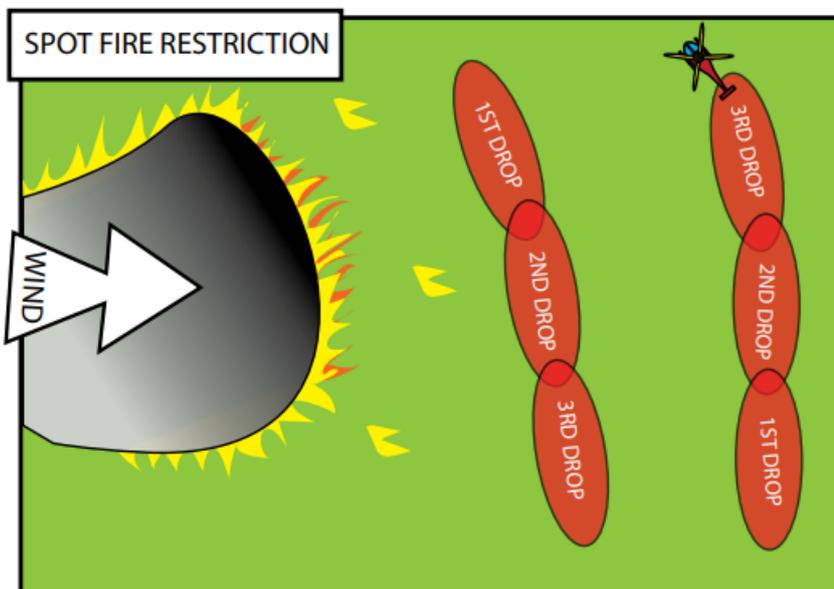


Figura 30 - Creazione di due linee di controllo

### *2.3.5.3 Bonifica*

La bonifica rappresenta comunemente un'operazione affidata alle squadre a terra, poiché solo un'ispezione minuziosa del perimetro garantisce la necessaria sicurezza per dichiarare lo spegnimento. Questa tipologia di operazione implica l'utilizzo di mezzi aerei per effettuare lanci di acqua lungo i perimetri più difficili da raggiungere per le squadre a terra.

## *2.4 Schiuma antincendio*

Sia negli attacchi da terra che aerei un mezzo di grande aiuto nella lotta alle fiamme è la schiuma antincendio che viene unita direttamente all'acqua. Questo composto si espande aumentando l'area di efficacia e andando così a migliorare l'assorbimento di calore della sola acqua. Oltre a ciò, la schiuma aderendo alla vegetazione e alle strutture garantisce una protezione maggiore, infatti questa aumenta la penetrazione dell'umidità creando una sorta di barriera d'aria contro le fiamme. Infine, grazie a questa schiuma si riesce a ridurre l'altezza della fiamma, l'intensità del fuoco e il fumo creando una maggiore sicurezza per gli equipaggi di terra e i piloti.



### **3. Modelli di stima dei costi per incendi boschivi**

Per comprendere e quantificare i costi, i danni e gli impatti ambientali degli incendi boschivi è necessario andare ad effettuare una valutazione completa dei diversi attori attivi (costi di spegnimento) e passivi (costi dei danni ambientali ed esterni straordinari) che entrano in campo. Lo studio condotto dall'Accademia Italiana di Scienze Forestali in collaborazione con il Corpo forestale dello Stato ha sviluppato modelli parametrizzati per valutare e stimare i differenti danni economici causati dagli incendi boschivi.

In particolare, questo documento propone una metodologia per la valutazione completa dell'impatto ecologico ed economico, considerando la perdita di prodotti, della funzione protettiva e del valore turistico-ricreativo e naturalistico, insieme ai costi diretti di estinzione.

#### *3.1 Costi di estinzione*

I costi di estinzione hanno una natura estremamente variabile e racchiudono al loro interno tutti quei costi di prevenzione e lotta agli incendi. Tra questi risaltano:

- Costi delle infrastrutture necessarie alla lotta attiva (torrette antincendio, punti idrici, reti radio, etc);
- Costi delle sale operative unificate permanenti (SOUP) e del centro operativo aereo unificato (COAU)
- Costi del personale e tutti i costi ad essi collegati (basi operative, formazione, DPI, etc)
- Costi del personale, dei mezzi e delle attività di avvistamento

##### *3.1.1 Operazioni di estinzione inferiore a due ore*

Circa il 30-40% degli incendi boschivi richiedono delle operazioni di estinzione la cui durata non supera le due ore. In questi casi la valutazione dei costi può basarsi sul costo medio orario del personale, la durata delle operazioni e il numero di persone intervenute, le quali possono essere retribuite o non retribuite a seconda che essi siano volontari o meno. Infine, per concludere l'analisi a questo costo dovrà essere anche

sommato il costo delle attrezzature utilizzate. A seguito di queste considerazioni, la stima può essere effettuata sulla seguente formula:

$$C_{esp} = ((N_{tot} * 2) - N_{nr}) * D * C_{mo}$$

dove:

$C_{esp}$  è il costo di estinzione (€);

$N_{tot}$  è il numero totale di persone intervenute;

$N_{nr}$  è il numero totale di persone non retribuite intervenute;

$D$  è la durata dell'intervento (ore);

$C_{mo}$  è il costo medio orario personale retribuito (€/ora).

Il costo medio orario del personale retribuito può essere assunto pari ad un valore che tenga conto del costo orario delle attrezzature manuali e motorizzate in dotazione e la media del costo orario di tre autoveicoli leggeri allestiti e di un autoveicolo medio pesante allestito (rapportato al numero di componenti della squadra, tipicamente tre). Se richiesto il supporto aereo, il loro costo verrà sommato successivamente ai costi delle squadre di terra.

### *3.1.2 Operazioni di estinzione maggiori di due ore*

Per gli incendi boschivi che richiedono delle operazioni di estinzione la cui durata supera le due ore la valutazione dei costi può basarsi sul costo medio orario delle diverse tipologie di squadra e la durata delle operazioni. Successivamente a questi costi dovranno essere sommati quelli relativi alle macchine movimento terra e quelli relativi ai mezzi aerei. La formula che viene impiegata è la seguente:

$$C_{ess} = \sum_1^{ns} D_{sq} * C_{sq}$$

dove:

$C_{ess}$  è il costo di estinzione (€);

$D_{sq}$  è la durata dell'intervento di ciascuna squadra(ore);

$ns$  è il numero di squadre intervenute;

$C_{sq}$  è il costo medio orario della squadra (€/ora).

Le squadre che possono intervenire sono diverse e possono variare a seconda della tipologia di attrezzatura/mezzo utilizzato e il personale da cui è composta. Tipicamente le squadre vengono classificate nel seguente modo:

- Tipo A: squadra leggera con mezzo non allestito (senza estinguente); si tratta di squadre di estinzione dotate di attrezzi leggeri (manuali o motorizzati) di supporto a quelle delle altre tipologie; sono costituite dal caposquadra con 3-4 persone;
- Tipo B: squadra con mezzo allestito leggero (con estinguente); è costituita dal caposquadra con 2 persone su autoveicolo allestito con  $PTT \leq 3,5t$ ;
- Tipo C: squadra con automezzo allestito pesante (con estinguente); è costituita dal caposquadra con 3-4 persone su autoveicolo allestito con  $PTT > 3,5t$ ;
- Tipo D: squadra pesante con mezzo non allestito; si tratta di squadre equipaggiate con pompe portatili per la realizzazione di linee di manichette; è costituita dal caposquadra con 3-4 persone che si muovono con autoveicolo equipaggiato con motopompe, manichette e vasche mobili;
- Tipo E: squadra elitrasportata leggera; è una squadra composta dal caposquadra con 3-4 persone equipaggiate con attrezzi manuali o a motore (motoseghe, soffiatori, ecc.);
- Tipo F: squadra elitrasportata con modulo AIB; è una squadra composta dal caposquadra con 3-4 persone equipaggiate con attrezzi manuali o a motore e fornita di modulo AIB elitrasportato.

I cui costi vengono riportati nella seguente tabella:

<b>TIPOLOGIA</b>	<b>TARIFFA ORARIA</b>
<b>Tipo A – Squadra Leggera Con Mezzo Non Allestito</b>	€ 130,00
<b>Tipo B – Squadra Con Mezzo Allestito Leggero</b>	€ 100,00
<b>Tipo C – Squadra Con Automezzo Allestito Pesante</b>	€ 180,00
<b>Tipo D – Squadra Pesante Con Mezzo Non Allestito</b>	€ 150,00
<b>Tipo E – Squadra Elitrasportata Leggera</b>	€ 90,00
<b>Tipo F – Squadra Elitrasportata Con Modulo Aib</b>	€ 105,00

*Tabella 4 - Costi squadre antincendio*

### *3.2 Stima del danno ambientale*

Una degli approcci suggeriti da Ciancio et al si basa sulla valutazione analitica legata alla perdita economica delle diverse possibili funzioni a cui è destinato il terreno interessato dall'incendio, che possono presentarsi insieme o come singole. Questo metodo tiene in considerazione le seguenti funzioni:

1. Produzione di prodotti legnosi;
2. Produzione di prodotti non legnosi;
3. Turismo e/o ricreazione;
4. Attività venatoria;
5. Protezione idrogeologica;
6. Protezione dai cambiamenti del clima;
7. Tutela della biodiversità o funzione naturalistica.

#### *3.2.1 Funzione produttiva relativa ai prodotti legnosi*

Un terreno destinato alla coltivazione di alberi per la produzione di legname basa il suo valore dalla massa legnosa ricavabile, dalla qualità della vegetazione e dall'età. Successivamente, a questo ipotetico guadagno va sottratto il prezzo dei costi di taglio. Quindi, per andare a stimare la perdita economica derivante dalla distruzione bisogna tenere conto del valore commerciale del prodotto legnoso tenendo conto però che un albero non ancora maturo non potrà essere valutato al pari di un albero pronto per il taglio. La stima viene calcolata partendo dalla seguente equazione:

$$DA_{le} = Sup * Vol * \frac{P_{imp} - C_{te}}{(1 + r)^m}$$

Dove:

$DA_{le}$  è il danno ambientale da perdita del legname (€);

$Sup$  è la superficie percorsa dal fuoco (ha);

$Vol$  è il volume di materiale legnoso commerciabile perso ( $m^3/ha$ );

$P_{imp}$  è il prezzo medio all'imposto (€/m<sup>3</sup>);

$C_{te}$  sono i costi di taglio (€/m<sup>3</sup>);

$r$  è il saggio di sconto che tiene conto della differenza di età tra gli alberi pronti per il taglio e gli alberi distrutti;

$m$  sono gli anni mancanti per raggiungere l'età di taglio.

Per quanto riguarda la superficie percorsa dal fuoco ( $Sup$ ), questa può essere ricavata tramite strumenti di GPS e deve essere ricavata con elevata accuratezza per rendere la stima il più possibile reale.

Il volume del materiale legnoso commerciabile perso ( $Vol$ ) può essere ricavato tramite stime a vista o tramite rilievi analitici tenendo conto sempre dell'età della vegetazione.

I costi di taglio ( $C_{te}$ ) variano a seconda della conformazione del terreno, e in particolare della pendenza, e dalla distanza dell'imposta dal legname danneggiato di questo:

- Pendenza inferiore al 20% e distanza inferiore a 300 m → Costo di taglio 15 €/m<sup>3</sup>;
- Pendenza compresa tra 20-35% e distanza inferiore a 300 m → Costo di taglio 20 €/ m<sup>3</sup>;
- Pendenza inferiore al 20% e distanza compresa tra 300 m e 2500 m → Costo di taglio 20 €/ m<sup>3</sup>;
- Pendenza superiore al 35% → Costo di taglio 35 €/ m<sup>3</sup>;

- Distanza superiore a 2500 m → funzione produttiva nulla.

Il saggio di sconto ( $r$ ) può essere pari ad un valore compreso tra il 2% e il 5%

### 3.2.2 Funzione produttiva relativa ai prodotti non legnosi

Oltre alla coltivazione di prodotti destinati all'industria del legname, i terreni boschivi possono essere utilizzati per la produzione e coltivazione di prodotti definiti non legnosi, ovvero funghi, tartufi, erbe aromatiche, etc. La distruzione di questi prodotti comporta per il produttore il mancato guadagno derivante dalla loro vendita. Inoltre, l'incendio comporterà ulteriori danni a livello di produttività del terreno che comporteranno ulteriori danni economici. Tutto questo viene tenuto in considerazione nell'equazione:

$$DA_{PFNL} = Sup_{PFNL} * R_{PFNL} * \frac{(1+r)^p - 1}{r * (1+r)^p}$$

Dove:

$DA_{PFNL}$  è il danno ambientale da perdita di prodotti non legnosi (€);

$Sup_{PFNL}$  è la superficie percorsa dal fuoco su terreno destinato alla produzione (ha);

$R_{PFNL}$  è il rendimento annuo delle produzioni (€/ha);

$r$  è il saggio di sconto;

$p$  sono gli anni in cui il terreno non sarà coltivabile.

Per quanto riguarda la superficie percorsa dal fuoco ( $Sup_{PFNL}$ ), questa può essere ricavata tramite strumenti di GPS e deve tenere in considerazione la distinzione tra il terreno adibito alla produzione di prodotti non legnosi e il terreno non adibito a questa funzione; quindi, non è detto che quest'area corrisponda all'intera area dell'incendio.

Il rendimento annuo delle produzioni ( $R_{PFNL}$ ) varia a seconda delle diverse tipologie di prodotti e il luogo in cui l'incendio è localizzato. Questo può variare, ad esempio, dalla raccolta di funghi in Veneto che rende 9,8 €/ha mentre in province meno rinomate 0,5 €/ha.

Il saggio di sconto ( $r$ ) può essere pari ad un valore compreso tra il 2% e il 5%

Gli anni in cui il terreno non sarà coltivabile vengono stimati intorno a 10.

### 3.2.3 Funzione turistico-ricreativa

Diversi boschi e terreni svolgono una funzione legata al turismo e alla ricreazione che prevedono il pagamento di un biglietto. Quindi, per andare a ricavare la perdita economica si può far riferimento al numero di visite che verranno perse per via dell'inagibilità del luogo. La formula proposta è la seguente:

$$DA_{ric} = V_{ric} * N_{ric} * \frac{(1+r)^g - 1}{r * (1+r)^g}$$

Dove:

$DA_{ric}$  è il danno ambientale da mancata vendita di biglietti (€);

$V_{ric}$  è il costo medio di una visita (€);

$N_{ric}$  è il numero medio di visite annuali;

$r$  è il saggio di sconto;

$p$  sono gli anni in cui il terreno non sarà agibile e non si avrà attività.

Il costo medio di una visita ( $V_{ric}$ ) può variare a seconda dell'attività e della tipologia di biglietto acquistato, ma può essere stimato intorno ai 3€ -10€.

La stima del numero medio di visite annuali ( $N_{ric}$ ) può essere stimata dai dati relativi agli anni precedenti.

Il saggio di sconto ( $r$ ) può essere pari ad un valore compreso tra il 2% e il 5%.

Gli anni ( $p$ ) in cui il terreno non sarà agibile variano a seconda dei tempi di ripristino che hanno un range di variazione molto ampio.

### 3.2.4 Attività venatoria

Tipicamente, per via della presenza di fauna selvatica, i boschi sono ambienti indicati per l'abbattimento e la cattura di animali. In questi casi, la stima del danno tiene in considerazione il rendimento medio del terreno e i danni che rimarranno presenti per diversi anni fino alla ripopolazione del terreno interessato dall'incendio. La formula è la seguente:

$$DA_{ven} = Sup_{ven} * R_{ven} * \frac{(1+r)^v - 1}{r * (1+r)^v}$$

Dove:

$DA_{ven}$  è il danno ambientale da perdita per mancata attività venatoria (€);

$Sup_{ven}$  è la superficie percorsa dal fuoco su terreno destinato alla caccia/cattura (ha);

$R_{ven}$  è il rendimento annuo (€/ha);

$r$  è il saggio di sconto;

$v$  sono gli anni in cui il terreno non sarà adibito ad attività venatoria.

Per quanto riguarda la superficie percorsa dal fuoco ( $Sup_{ven}$ ), questa può essere ricavata tramite strumenti di GPS e deve tenere in considerazione la distinzione tra il terreno adibito all'attività e il terreno non adibito a questa funzione; quindi, non è detto che quest'area corrisponda all'intera area dell'incendio.

Il rendimento annuo ( $R_{ven}$ ) tiene in considerazione il costo di iscrizione e il numero di partecipanti tipici annui. Questo valore può variare a seconda del luogo con un range che spazia da 38 fino a 120/ha.

Il saggio di sconto ( $r$ ) può essere pari ad un valore compreso tra il 2% e il 5%

Gli anni ( $v$ ) in cui il terreno non sarà adibito ad attività venatoria sono pari a 10 come stabilito dalla L. 353/2000 all'art. 10 comma 1..

### 3.2.5 Funzione protettiva

Il bosco, oltre a fornire diversi prodotti e luoghi ricreativi, ha una fondamentale funzione protettiva a tutela idraulica. Per compensare questa mancanza l'amministrazione dovrà sostenere dei costi di ripopolazione degli alberi distrutti dall'incendio e mantenere la zona fino al recupero totale della funzione originaria.

La formula è la seguente:

$$DA_{idr} = Sup_{idr} * (C_{rinv} + C_{ann} * \frac{(1+r)^i - 1}{r * (1+r)^i})$$

Dove:

$DA_{idr}$  è il danno ambientale da perdita di protezione idraulica (€);

$Sup_{prot}$  è la superficie percorsa dal fuoco su terreno destinato a protezione (ha);

$C_{rinv}$  è il costo di rinverdimento (€/ha);

$C_{ann}$  è il costo annuale di manutenzione della zona (€/ha);

$r$  è il saggio di sconto;

$i$  sono gli anni in cui il terreno dovrà essere mantenuto.

Per quanto riguarda la superficie percorsa dal fuoco ( $Sup_{prot}$ ), questa può essere ricavata tramite strumenti di GPS e deve tenere in considerazione la distinzione tra il terreno reso instabile a seguito dell'incendio e il terreno non affetto da questa problematica; quindi, non è detto che quest'area corrisponda all'intera area dell'incendio.

Il costo di rinverdimento ( $C_{rinv}$ ) tiene in considerazione i costi che dovranno essere sostenuti per la costruzione di opere e strutture per il ripristino delle funzioni protettive.

Il costo annuale di manutenzione ( $C_{ann}$ ) tiene in considerazione i costi che dovranno essere sostenuti per mantenere il terreno per i diversi anni necessari alla crescita della nuova copertura.

Gli anni ( $i$ ) in cui il terreno non sarà in grado di svolgere la sua funzione protettiva.

### 3.2.6 Protezione dai cambiamenti del clima

I boschi rappresentano un polmone verde per il pianeta, ma nei casi di incendio questi rappresentano un grosso problema a causa delle emissioni di gas serra. La procedura in questi casi è la seguente:

$$DA_C = Sup * Vol_b * BEF * 0.5 * P_C$$

Dove:

$DA_C$  è il danno ambientale da emissione di carbonio in atmosfera (€);

$Sup$  è la superficie percorsa dal fuoco (ha);

$Vol_b$  è il volume della massa legnosa completamente bruciata ( $m^3/ha$ );

$BEF$  è coefficiente di trasformazione da volume della massa legnosa a biomassa arborea epigea;

0.5 è il coefficiente di trasformazione da biomassa a carbonio;

$P_C$  è il prezzo della tonnellata di carbonio (€/t).

Per quanto riguarda la superficie percorsa dal fuoco ( $Sup$ ), questa può essere ricavata tramite strumenti di GPS.

Il volume di massa legnosa bruciata ( $Vol_b$ ) può essere stimato a vista o da rilievi analitici.

### 3.2.7 Valore naturalistico

Infine, il bosco rappresenta un luogo caratterizzato da biodiversità, fauna e flora che lo rendono un patrimonio per l'umanità. Per andare a valutare il danno dovuto a questa perdita si può fare riferimento all'articolo 11 comma 1 della L. 353/2000 il quale afferma che: "Art. 423-bis – (Incendio boschivo). Chiunque cagiona un incendio su boschi, selve o foreste ovvero su vivai forestali destinati al rimboschimento, propri o altrui, è punito con la reclusione da quattro a dieci anni. Se l'incendio di cui al primo comma è cagionato per colpa, la pena è della reclusione da uno a cinque anni. Le pene previste dal primo e dal secondo comma sono aumentate se dall'incendio deriva

pericolo per edifici o danno su aree protette. Le pene previste dal primo e dal secondo comma sono aumentate della metà se dall'incendio deriva un danno grave, esteso e persistente all'ambiente”

Partendo da quanto detto in questo articolo si pone l'attenzione sul possibile valore per cui moltiplicare il valore di ricostruzione e/o ripristino del terreno a seconda del valore naturalistico del terreno. La formula su cui si basa è:

$$DA_{nat} = coef_{nat} * Sup * LD * CI * (1 + r)^n$$

Dove:

$DA_{nat}$  è il danno naturalistico (€);

$Coef_{nat}$  è il coefficiente di naturalità con cui moltiplicare il costo di ricostruzione;

$Sup$  è la superficie percorsa dal fuoco (ha);

$LD$  è il livello di danneggiamento;

$CI$  è il costo d'impianto (€/ha);

$r$  è il saggio di sconto;

$n$  sono gli anni necessari alla ricostruzione.

Per quanto riguarda la superficie percorsa dal fuoco ( $Sup$ ), questa può essere ricavata tramite strumenti di GPS e deve tenere in considerazione la distinzione tra il terreno con elevata funzione naturalistica e il terreno non adibito a questa funzione; quindi, non è detto che quest'area corrisponda all'intera area dell'incendio.

Il livello di danneggiamento ( $LD$ ) è un valore compreso tra 0 e 1.

Il costo d'impianto ( $CI$ ) tiene in considerazione i costi legati alla ripopolazione e ricostruzione di strutture andate perse.

Il saggio di sconto ( $r$ ) può essere pari ad un valore compreso tra il 2% e il 5%

Gli anni ( $n$ ) in cui il terreno non potrà sfruttare la funzione a cui era precedentemente adibito.

Il coefficiente naturalistico ( $Coef_{nat}$ ) può essere ricavato seguendo una scala nominale che può essere riassunta come segue:

<b>TIPO COLTURALE</b>	<b><math>Coef_{nat}</math></b>
<b>PIANTAGIONI DI SPECIE ESOTICHE</b>	0.1
<b>CEDUI MONOSPECIFICI A REGIME</b>	0.2
<b>CEDUI MISTI A REGIME</b>	0.3
<b>BOSCHI DI NEOFORMAZIONE E MACCHIA MEDITERRANEA</b>	0.4
<b>CEDUI COMPOSTI</b>	0.5
<b>CEDUI IN CONVERSIONE</b>	0.6
<b>FUSTAIE MONOSPECIFICHE</b>	0.7
<b>FUSTAIE MISTE</b>	0.8
<b>RIMBOSCHIMENTI IN FASE DI RINATURALIZZAZIONE</b>	0.8
<b>FUSTAIE MISTE PLURISTRATIFICATE, FOMRAZIONI RIPARIALI E DI FORRA</b>	0.9
<b>BOSCHI VETUSTI</b>	1

## 4. Il costo degli incendi

Quando si effettua un progetto, un'analisi o una ricerca la stima dei costi rappresenta un elemento di fondamentale importanza. Lo scopo principale di questa fase è quello di valutare e quantificare tutte le spese previste, comprese quelle legate ai materiali, al personale, alle attrezzature e ad altri fattori esterni.

La seguente tesi è focalizzata sulla valutazione economica complessiva dei costi legati ai danni da incendi boschivi. In particolare, il danno totale viene suddiviso in quattro componenti:

- Costi di spegnimento: personale, velivoli, macchine e attrezzature impiegati nell'azione di lotta attiva;
- Costi legati ai danni ambientali: terreni interessati dall'incendio;
- Costi legati ai danni alle proprietà private: infrastrutture e ripristino post-incendio delle strutture interessate dall'incendio;
- Costi legati all'emissione di CO<sub>2</sub>: inquinamento atmosferico da anidride carbonica.

### 4.1 Costi di spegnimento

I costi di spegnimento racchiudono tutti quei costi legati alla lotta attiva dell'incendio e possono variare significativamente in base alle risorse coinvolte e la durata delle operazioni. In particolare, i principali fattori che contribuiscono ai costi di spegnimento di un incendio boschivo sono:

1. Il personale impiegato nella lotta contro l'incendio, ovvero vigili del fuoco, piloti di elicotteri e aerei antincendio;
2. I mezzi necessari per lo spegnimento e lo spostamento del personale;
3. I dispositivi di protezione individuale (DPI) e le attrezzature in dotazione a tutto il personale in azione;
4. I velivoli antincendio per fornire supporto alle operazioni di terra sganciando acqua e/o sostanze ritardanti.

#### *4.1.1 Personale*

Il personale incaricato per fronteggiare gli incendi boschivi è formato da operatori altamente addestrati per questo tipo di catastrofi. Queste persone fanno parte del corpo dei Vigili del fuoco e si occupano di prevenire e rispondere agli incendi, oltre che altre situazioni di emergenza.

Il personale all'interno del corpo dei vigili del fuoco è suddiviso e distribuito secondo delle ferree gerarchie che si differenziano per responsabilità, attività e competenze. Tra queste possiamo trovare il vigile del fuoco semplice, il capo squadra e il direttore.

Il Vigile del Fuoco rappresenta il membro base del corpo dei vigili del fuoco ed è ha il compito di effettuare operazioni di estinzione degli incendi, il soccorso in situazioni di emergenza, la prevenzione degli incendi, etc. I vigili del fuoco lavorano in squadre definite sotto la guida di capi squadra o ufficiali di grado superiore.

Il Capo Squadra è sempre un vigile del fuoco ma caratterizzato da maggiore esperienza, competenze e quindi poteri che riconoscono a questo ruolo il compito di supervisionare. Le responsabilità del capo squadra includono la gestione della squadra di vigili del fuoco durante le operazioni sul campo, essere responsabili di coordinare le attività sul luogo dell'incidente e controllare che le operazioni vengano eseguite in sicurezza.

Ulteriore ruolo è rappresentato dal direttore delle operazioni di spegnimento (DOS) che ha la responsabilità di coordinare e sovrintendere alle operazioni di spegnimento degli incendi che richiedono l'utilizzo di squadre di terra e mezzi aerei. Il direttore delle operazioni di spegnimento deve essere in contatto con tutte le sale operative e avere il controllo globale sulla situazione e sulle risorse impiegate in modo tale da coordinare il tutto per renderlo il più efficace possibile.

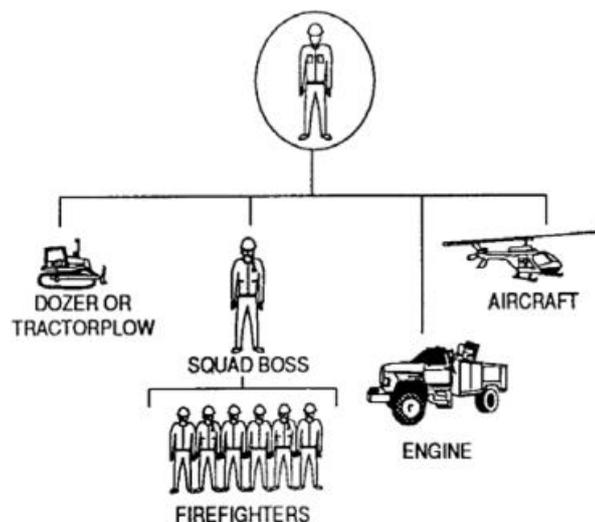


Figura 31 - Organizzazione operativa

Per ricavare il costo legato al personale si può prendere come riferimento la tariffa oraria descritta nel decreto del 2 Marzo 2012 in cui vengono presentate le tariffe dovute per i servizi a pagamento resi dal corpo nazionale dei vigili del fuoco:

<b>PERSONALE</b>	<b>TARIFFA ORARIA ITALIANA</b>
<b>Vigile Del Fuoco</b>	€ 23,00
<b>Pilota</b>	€ 100,00
<b>Capo Reparto / Capo Squadra</b>	€ 25,00
<b>Ruolo Ispettori / Direttori Coordinamento Speciali</b>	€ 27,00
<b>Ruolo Direttivi / Dirigenti</b>	€ 33,00

Tabella 5 - Tariffa oraria corpo nazionale dei vigili del fuoco italiano

Nonostante la crisi climatica stia aumentando il rischio di incendi il numero di vigili del fuoco è stato ridotto in dieci Stati membri dell'Unione Europea secondo un'analisi dei nuovi dati di Eurostat condotta dalla Confederazione Europea dei Sindacati (ETUC). In particolare, tra il 2021 e il 2022, la Francia ha ridotto il suo personale di vigili del fuoco di -5.446 unità, seguita dalla Romania con -4.250 unità e dal Portogallo

-2.907 unità. Le maggiori riduzioni in percentuale nello stesso periodo sono state registrate in Slovacchia (-30%), Bulgaria (-22%), Portogallo (-21%) e Belgio (-19%).

	<b>VARIAZIONE %</b>	
<b>BELGIO</b>	-1,787	-19
<b>BULGARIA</b>	-1,768	-22
<b>GERMANIA</b>	-1,821	-3
<b>FRANCIA</b>	-5,446	-12
<b>LETTONIA</b>	-397	-14
<b>UNGHERIA</b>	-903	-8
<b>PORTOGALLO</b>	-2,907	-21
<b>ROMANIA</b>	-4,250	-15
<b>SLOVACCHIA</b>	-2,702	-30
<b>SVEZIA</b>	-845	-9
<b>EU</b>	-5,288	-1.5

*Tabella 6 - Variazione numero vigili del fuoco in Europa*

In Europa, la tariffa oraria varia a seconda delle diverse nazioni sulle quali si pone l'attenzione. Si sono andate a considerare le nazioni caratterizzate maggiormente dagli incendi e più interessate da questo studio ricavando che la Francia presenta uno stipendio simile a quello italiano, la Germania è caratterizzato da un aumento del 26%. La situazione europea, ovviamente, presenta una struttura eterogenea, infatti, tra questi valori ci si può imbattere anche in stipendi molto più bassi, come nel caso dell'Ungheria dove la tariffa oraria diminuisce del 50% circa, in Grecia di circa il 40% e in Spagna del 15%.

<b>PERSONALE</b>	<b>TARIFFA ORARIA FRANCESE</b>
<b>Vigile Del Fuoco</b>	€ 23,00
<b>Pilota</b>	€ 100,00
<b>Capo Reparto / Capo Squadra</b>	€ 25,00
<b>Ruolo Ispettori / Direttori Coordinamento Speciali</b>	€ 27,00
<b>Ruolo Direttivi / Dirigenti</b>	€ 33,00

*Tabella 7 - Tariffa oraria francese*

**PERSONALE****TARIFFA ORARIA  
TEDESCA**

<b>Vigile Del Fuoco</b>	€ 29,00
<b>Pilota</b>	€ 126,00
<b>Capo Reparto / Capo Squadra</b>	€ 32,00
<b>Ruolo Ispettori / Direttori Coordinamento Speciali</b>	€ 34,00
<b>Ruolo Direttivi / Dirigenti</b>	€ 42,00

*Tabella 8 - Tariffa oraria tedesca***PERSONALE****TARIFFA ORARIA  
GRECA**

<b>Vigile Del Fuoco</b>	€ 14,00
<b>Pilota</b>	€ 60,00
<b>Capo Reparto / Capo Squadra</b>	€ 16,00
<b>Ruolo Ispettori / Direttori Coordinamento Speciali</b>	€ 18,00
<b>Ruolo Direttivi / Dirigenti</b>	€ 21,00

*Tabella 9 - Tariffa oraria greca***PERSONALE****TARIFFA ORARIA  
SPAGNOLA**

<b>Vigile Del Fuoco</b>	€ 20,00
<b>Pilota</b>	€ 87,00
<b>Capo Reparto / Capo Squadra</b>	€ 22,00
<b>Ruolo Ispettori / Direttori Coordinamento Speciali</b>	€ 24,00
<b>Ruolo Direttivi / Dirigenti</b>	€ 29,00

*Tabella 10 - Tariffa oraria spagnola*

<b>PERSONALE</b>	<b>TARIFFA ORARIA UNGHERESE</b>
<b>Vigile Del Fuoco</b>	€ 11,00
<b>Pilota</b>	€ 50,00
<b>Capo Reparto / Capo Squadra</b>	€ 13,00
<b>Ruolo Ispettori / Direttori Coordinamento Speciali</b>	€ 15,00
<b>Ruolo Direttivi / Dirigenti</b>	€ 18,00

*Tabella 11 - Tariffa oraria ungherese*

#### 4.1.2 Mezzi

Nella lotta all'incendio i vigili del fuoco utilizzano diversi mezzi attrezzati e non per raggiungere le zone interessate e iniziare la fase di spegnimento dell'incendio.

Sempre facendo riferimento al decreto del 2 Marzo del 2012, citato in precedenza, si può ricavare la tariffa oraria relativa ai seguenti mezzi.

<b>Mezzi di terra</b>	<b>Tariffa Oraria</b>
<b>Autovettura</b>	€ 7,00
<b>Autofurgone e pullman (14 posti)</b>	€ 10,00
<b>Autocarro e pullman (20 posti)</b>	€ 17,00
<b>Autopompa serbatoio tipo piccolo, autobotte</b>	€ 55,00
<b>Autopompa serbatoio tipo grande</b>	€ 80,00
<b>Autoscala da 30/37 M</b>	€ 145,00
<b>Autoscala da 50 M</b>	€ 203,00
<b>Autogrù da 16/25 T</b>	€ 97,00
<b>Autogrù da 30/40 T</b>	€ 131,00
<b>Mezzi movimento terra</b>	€ 131,00
<b>Motopompa su carrello (compreso mezzo di traino)</b>	€ 18,00
<b>Automezzo antincendio aeroportuale</b>	€ 91,00
<b>Moduli antincendio (Autoveicoli fuoristrada allestiti)</b>	€ 45 – 80

*Tabella 12 - Tariffa oraria mezzi*

### *Autopompa*

L'autopompa serbatoio (APS) è uno dei mezzi più utilizzati da vigili del fuoco per la lotta agli incendi per via del serbatoio capiente in grado di affrontare la maggior parte degli incarichi. Questo veicolo è attrezzato per fornire, al personale trasporto sulla scena dell'incidente, l'adeguato equipaggiamento per combattere le fiamme. In particolare, l'autopompa serbatoio è caratterizzata da una pompa per l'aspirazione e la distribuzione dell'acqua, di un serbatoio per conservare una riserva d'acqua, scale, asce e utensili da taglio, apparecchi di ventilazione, proiettori luminosi, respiratori, erogatori di schiuma e ritardante, etc. Infine, tipicamente è caratterizzato dalla possibilità di ospitare 5/6 passeggeri. Il costo di acquisizione di un'autopompa serbatoio si aggira, tipicamente intorno ai 250.000-300.000 €.



*Figura 32 - Autopompa serbatoio*

### *Autobotte*

L'autobotte pompa (ABP) è un mezzo impiegato tipicamente come supporto idrico per le squadre operanti in zone richiedenti grandi quantità d'acqua. Questo veicolo, equipaggiato in modo tale da poter trasportare e distribuire grandi quantità d'acque e/o schiuma utilizzata durante le fasi di spegnimento degli incendi, è pensato per intervenire in situazioni in cui il rifornimento idrico risulta essere complicato e/o di durata troppo elevata. Il tipico equipaggio è formato da 2/3 passeggeri ed è

caratterizzata da un serbatoio di 7400 l. Il costo di acquisizione di un autobotte pompa si aggira, tipicamente intorno ai 350.000-400.000 €.



Figura 33 - Autobotte pompa

### *Modulo AIB*

La CA/ESK (campagnola dotata di modulo per incendi boschivi) è un fuoristrada allestito con un modulo boschivo dotato di un serbatoio di 400 litri d'acqua e di 2 naspetti ad alta pressione. Questo veicolo viene impiegato principalmente per il primo intervento su incendi sterpaglie ed incendi boschivi.

Il modulo antincendio boschivo (AIB) è un equipaggiamento progettato per essere utilizzato principalmente durante gli incendi boschivi. Questi moduli vengono, tipicamente, integrati su veicoli e contengono tutte le attrezzature necessarie alla lotta alle fiamme. La configurazione tipica del modulo AIB comprende serbatoi d'acqua, pompe ad alta pressione, attrezzature per l'erogazione di schiuma, etc. Il costo di acquisizione di un modulo AIB si aggira, tipicamente intorno ai 40.000-50.000 €.



Figura 34 - CA/ESK

### *Automezzi per movimento terra*

Gli automezzi per movimento terra sono veicoli speciali progettati per il movimento e/o il trasporto di terra, rocce, detriti o altri materiali simili. Alcuni esempi comuni di automezzi per movimento terra includono:

1. Escavatori: Macchine dotate di braccio meccanico e benna utilizzate per scavare, sollevare o spostare il materiale. Il costo di acquisizione di un escavatore si aggira, tipicamente intorno ai 30.000-50.000 €.



Figura 35 - Escavatore

2. Pale meccaniche: Veicoli dotati di una grande benna anteriore che può essere sollevata e abbassata per spostare terra, ghiaia o altri materiali.



*Figura 36 - Pale meccaniche*

3. Bulldozer: Veicoli con una lama frontale pesante utilizzata per spianare, livellare o spostare grandi quantità di materiale. Il costo di acquisizione di un bulldozer si aggira, tipicamente intorno ai 150.000-180.000 €.



Figura 37 - Bulldozer

#### 4.1.3 Attrezzature

Per garantire la sicurezza dei Vigili del fuoco e per affrontare direttamente le fiamme vengono utilizzate diverse tipologie di attrezzature specializzate.

<b>ATTREZZATURA</b>	<b>TARIFFA ORARIA</b>
<b>Motosega</b>	€ 3,5 – 6
<b>Moto decespugliatore</b>	€ 2 – 4,5
<b>Atomizzatore/Soffiatore</b>	€ 3,5 – 4,5
<b>Pompa a spalla</b>	€ 0,5 – 1,5

Tabella 13 - Tariffa oraria attrezzature

#### 4.1.4 Velivoli

In caso di situazioni in cui il solo intervento da terra non basta, il corpo dei Vigili del fuoco può affidarsi ai velivoli antincendio.

<b>TIPOLOGIA</b>	<b>MEZZO</b>	<b>COSTO MEDIO (€/ORA)</b>	<b>COSTO ACQUISIZIONE (€)</b>	<b>CONSUMO MEDIO DI CARBURANTE (L/ORA)*</b>
<b>AEREO</b>	Canadair CL415	11.450	25.000.000	1200
<b>ELICOTTERO</b>	S64F	5.150	2.000.000	2000
<b>ELICOTTERO</b>	NH 500	1.000	1.000.000	100
<b>ELICOTTERO</b>	AB 412	3.575	1.700.000	500

Tabella 14 - Tariffa oraria mezzi aerei

(\*) costo medio carburante Avio: 0,80 €/l

#### 4.2 Costi legati ai danni ambientali

Oltre ai costi della lotta attiva, le fiamme portano distruzione ovunque riescano ad arrivare. La loro prima fonte di combustibile è rappresentata dalla vegetazione stessa sulla quale divampano causando ingenti danni per la perdita del terreno e delle funzioni ad esso connesso. Per questo motivo nella valutazione del costo totale degli incendi, questi non possono essere trascurati. Infatti, i costi legati ai danni ambientali provocati dagli incendi boschivi sono tipicamente quelli più rilevanti sia a livello sociale che a livello economico.

Al fine di ricavare la perdita economica dovuta al danno ambientale può essere utilizzata la seguente formula:

$$DA_{VAM} = VAM * Sup * LD$$

Dove Sup è la superficie interessata dall'incendio, LD è il livello di danneggiamento (compreso tra 0 e 1) e il VAM rappresenta il Valore Agricolo Medio e varia a seconda della tipologia di terreno. In particolare, si ha che:

- Terreno agricolo: 60.000 €/ha;
- Bosco: 25.500 €/ha;
- Pascolo: 37.000 €/ha;

- Terreno incolto: 5.000 €/ha.

### 4.3 Costi legati ai danni alle proprietà private

La potenza distruttiva dell'incendio non risparmia durante il suo cammino le proprietà private. Un approccio per la stima del danno legato ai danni alle strutture private può considerare il costo di ricostruzione o di ripristino. Questo metodo si basa sulla assunzione che un bene vale, circa, quanto è costato. Quindi, per ricavare il danno economico si utilizza una formula simile alla precedente:

$$DP_{CR} = CR * Sup * LD$$

Dove Sup e LD sono le stesse variabili descritte in precedenza e CR è stimato pari al costo di vendita degli immobili al m<sup>2</sup> e varia a seconda della zona in cui la struttura è situata. In particolare:

- Comuni con meno di 5 mila abitanti: 947 €/m<sup>2</sup>;
- Comuni fino a 25 mila abitanti: 1.197 €/m<sup>2</sup>;
- Comuni fino a 250 mila abitanti: 1.431 €/m<sup>2</sup>;
- Comuni con più di 250 mila abitanti: 2.419 €/m<sup>2</sup>;

### 4.4 Costi legati all'emissione di CO<sub>2</sub>

I danni dovuti agli incendi non possono essere limitati alla sola distruzione delle fiamme ma deve anche essere considerato l'inquinamento atmosferico che ne deriva. Dalla combustione della vegetazione, delle strutture e di tutto quello che l'incendio incontra durante il suo cammino scaturisce l'emissione di anidride carbonica. L'emissione di CO<sub>2</sub>, oltre a comportare l'innalzamento del livello di concentrazione dei gas a effetto serra nell'atmosfera con conseguente peggioramento delle condizioni che alimentano gli incendi, comporta un danno economico che viene valutato facendo riferimento al prezzo nei mercati delle quote di carbonio. La formula utilizzata è la seguente:

$$DA_C = Sup * Vol_b * BEF * 0.5 * P_C$$

Dove *BEF* rappresenta il biomass expansion factor che varia a seconda del tipo di vegetazione interessata dall'incendio e  $P_C$  è il prezzo della tonnellata di carbonio sul mercato internazionale (attualmente pari a 81 €/t)

<b>CODICE CLASSE</b>	<b>BEF (T/M<sup>3</sup>)</b>
<b>A</b>	0,80
<b>B</b>	0,95
<b>C</b>	0,60
<b>D</b>	0,70
<b>E</b>	0,80
<b>F</b>	0,90
<b>G</b>	1,00
<b>H</b>	0,90
<b>I</b>	0,60

Tabella 15 - Tabella BEF

E in particolare:

Codice	Categorie Fisionomiche
A	Acero-frassineti e formazioni assimilabili Formazioni igrofile di ripa Querceti planiziali Faggete pure o miste di latifoglie Betuleti
B	Querceti di rovere, roverella e cerro Leccete pure e miste con altre latifoglie
C	Lariceti e larici-cembreti Peccete pure e miste di conifere Abetine pure e miste di latifoglie Boschi misti di abete bianco e abete rosso Pinete di pino silvestre in ambiente montano Pinete di pino nero in ambiente montano
D	Pinete di pino silvestre in ambiente collinare e di pianura Pinete di pino nero in ambiente collinare e pinete di pino laricio e di pino

Codice	Categorie Fisionomiche
	loricato Pinete di pini mediterranei Altri boschi di conifere puri o misti
E	Cedui di faggio Cedui di castagno Cedui di carpino bianco
F	Cedui di rovere e roverella Cedui di cerro, farnetto, fragno, vallonea Cedui di carpino nero Cedui di leccio
G	Macchia mediterranea
H	Soprassuoli a prevalenza di latifoglie con altezza media inferiore a 3,5 m
I	Soprassuoli a prevalenza di conifere con altezza media inferiore a 3,5 m

*Tabella 16 - Dettaglio tabella BEF*



## 5. Sviluppo del modello di costo

Per lo svolgimento del presente studio e lo sviluppo di un algoritmo in grado di stimare il personale, i mezzi e i velivoli necessari per l'attività di soppressione dell'incendio si è reso necessario procedere con una raccolta dati. Nella ricerca delle informazioni necessarie al nostro scopo si sono utilizzati i report e i documenti presenti all'interno del sito ufficiale dei vigili del fuoco e all'interno dello "European Forest Fire Information System (EFFIS)".

### 5.1 *European Forest Fire Information System (EFFIS)*

EFFIS è un progetto europeo, facente parte del programma Copernicus nell'ambito del servizio di gestione dell'emergenze, che supporta i servizi responsabili della protezione delle foreste dagli incendi nell'UE e nei paesi vicini. Attraverso EFFIS è possibile osservare la situazione aggiornata, ricavare statistiche e notizie degli incendi boschivi di origine dolosa e non dolosa. Inoltre, permette di visualizzare la mappa europea del rischio di incendi boschivi basata sulla pericolosità dell'incendio e i possibili danni a persone, ambiente ed economia delle zone interessate.

### 5.2 *Dati raccolti*

In particolare, l'attenzione è stata posta su:

- Ha: Estensione dell'incendio misurato in ettari;
- Personale: il numero di personale intervenuto per contrastare l'incendio;
- Canadair: il numero di velivoli CL-415 intervenuti sul posto;
- Elicotteri: il numero di velivoli S64F intervenuti sul posto;
- Zona: la topografia e la vicinanza dell'incendio a zone abitate
  - o 1: terreno pianeggiante e nessun pericolo per i centri abitati;
  - o 2: terreno al più pianeggiante e con interessamento di zone abitate;
  - o 3: terreno impervio e con necessità di evacuazione di case.
- Vegetazione: la vegetazione interessata dall'incendio
  - o 1: Coltivi e pascoli;
  - o 2: Terreni incolti e abbandonati;

- 3: Boschi e macchia mediterranea.
- Stagione: il periodo dell'anno in cui ricade l'evento
  - 1: Inverno
  - 2: Primavera/Autunno
  - 3: Estate

Incendio	Ha	Personale	Canadair	Elicotteri	Zona	Vegetazione	Stagione
1	1150	80	5	2	3	3	3
2	3198	60	2	1	2	3	3
3	13,5	7	2	0	1	3	2
4	20	7	1	1	1	3	1
5	6	12	1	1	1	3	2
6	0,5	10	1	0	2	2	2
7	1	12	0	0	3	1	3
8	20	14	0	0	2	1	3
9	8	53	4	1	3	2	3
10	1,5	11	0	1	1	3	3
11	15	8	2	0	1	3	3
12	30	20	2	2	1	3	3
13	10	5	0	1	2	1	2
14	0,7	9	0	0	2	1	2
15	30	11	1	1	1	3	2
16	10	13	2	0	2	3	3
17	7	12	0	1	1	3	3
18	16,5	14	0	2	1	3	2

Tabella 17 - Dati raccolti

### 5.3 Risultati tramite stima del rischio

In un primo momento, si era pensato di sfruttare la stima del rischio per andare a ricavare le equazioni necessarie allo sviluppo del modello. Nell'applicazione di questo metodo si era andato a suddividere i diversi parametri in tre classi di rischio, in particolare:

- Zona:
  - 1: Molto distante da case e nessun pericolo per i centri abitati;
  - 2: Interessamento di zone abitate con possibili evacuazioni;
  - 3: Molto prossimo a centri abitati con urgente necessità di evacuazione di case.

- Vegetazione:
  - 1: Vegetazione con scarsa infiammabilità → Coltivi e pascoli;
  - 2: Vegetazione con media infiammabilità → Terreni incolti e abbandonati;
  - 3: Vegetazione con alta infiammabilità → Boschi e macchia mediterranea.
  
- Stagione:
  - 1: Temperature fredde → Inverno
  - 2: Temperature miti → Primavera/Autunno
  - 3: Temperature calde → Estate

Una volta effettuata questa prima suddivisione, veniva ricavato il rischio legato all'incendio tramite la seguente tabella:

<b>RISCHIO</b>	<b>ALTO (3)</b>	<b>MEDIO (2)</b>	<b>BASSO (1)</b>
<b>ALTO (3)</b>	Alto	Alto	Medio
<b>MEDIO (2)</b>	Alto	Medio	Basso
<b>BASSO (1)</b>	Medio	Basso	Basso

Tabella 18 - Stima del rischio

A questo punto, considerando singolarmente le tre categorie di rischio dell'incendio, veniva ricavata l'equazione andando a mettere in relazione l'estensione dell'incendio con il personale. I risultati ottenuti, però, erano molto scarsi e con un  $R^2$  totalmente insufficiente poiché con questa metodologia si trascurava la complessità e i legami dei diversi parametri tra di loro. Quindi, questi risultati sono stati ampiamente scartati.

#### 5.4 *Regressione lineare*

Il fenomeno dell'incendio boschivo è caratterizzato e legato da una complicata rete di parametri e fattori legati tra di loro. Questo fatto può essere visto, ad esempio, nel numero di personale richiesto per i diversi interventi antincendio. In questi casi, può essere utilizzato un metodo che permette, una volta scelta la variabile dipendente, di

studiare come questa varia in media al variare degli altri parametri. Questo metodo prende il nome di regressione multipla e costituisce una generalizzazione della regressione semplice.

La regressione multipla è una tecnica statistica che consiste nel determinare una funzione che descriva al meglio la relazione tra le variabili indipendenti X (Estensione, Zona, Vegetazione, Stagione) e la variabile dipendente Y (Personale o Canadair o Elicotteri). Per prima cosa bisogna decidere il tipo di funzione che si vuole utilizzare, per praticità viene utilizzata un'equazione di tipo lineare.

$$Y_i = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + e$$

Dove:

- $B_0$ : intercetta;
- $B_{1,2,3,4}$ : coefficiente di regressione parziale;
- $e$ : errore casuale.

## 5.5 Risultati

Nonostante si possa pensare che l'estensione dell'incendio sia sufficiente da sola per ricavare il personale secondo la logica "più grande è l'incendio, più grande è lo sforzo richiesto" dallo studio dei dati raccolti si può notare che non esiste una vera e propria relazione tra le sole due variabili.

Per effettuare la regressione multi-parametro è stato utilizzato lo strumento di analisi "Regressione" presente in Excel. Questo tool consente di eseguire un'analisi lineare della regressione usando il metodo dei minimi quadrati per adattare una retta a un insieme di osservazioni.

Nell'output fornito dal tool di Excel compare anche il valore R al quadrato, anche detto coefficiente di determinazione, il quale rappresenta una misura statistica della bontà dell'adattamento del modello di regressione lineare e che fornisce una stima della percentuale di variazione nella variabile dipendente. Il valore R al quadrato è compreso tra 0 e 1, dove 1 indica che il modello di regressione spiega perfettamente la variazione nella variabile dipendente, mentre 0 indica che il modello non spiega la variazione. Quindi, valori più alti indicano una migliore adattamento del modello ai dati.

Compare anche l'R al quadrato corretto per il numero di osservazioni presenti nei dati.

Infine, l'errore standard descrive l'accuratezza dell'analisi di regressione: più piccolo è questo valore e più è precisa l'equazione di regressione. A differenza del R al quadrato che rappresenta la percentuale della varianza delle variabili dipendenti, l'errore standard è una misura assoluta che mostra la distanza media attorno alla retta di regressione.

Inoltre, nell'appendice A vengono riportati tutti i grafici associati.

### 5.5.1 *Regressione personale con estensione, zona, stagione e vegetazione*

Il primo caso esaminato è stato quello relativo alla regressione multi-parametro con variabile dipendente il personale e variabili indipendenti l'estensione, la zona, la stagione e la vegetazione. Si è ottenuta la seguente equazione:

$$\text{Person.} = -56,346 + 0.010 * \text{Ha} + 21,917 * \text{Zona} + 1,5 * \text{Stag.} + 13,679 * \text{Veget.}$$

Dall'analisi degli output si può osservare che il valore di R al quadrato e al quadrato corretto sono maggiori di un valore soglia pari a 0,7. Questo valore viene considerato come punto minimo di affidabilità del modello.

In particolare, il valore di R al quadrato è 0,836. Ciò significa che l'84% dei valori si adatta al modello di analisi di regressione. Ovvero, l'84% delle variabili dipendenti sono spiegate da variabili indipendenti.

#### OUTPUT RIEPILOGO REGRESSIONE CON ESTENSIONE, ZONA, STAGIONE E VEGETAZIONE

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,914
R al quadrato	0,836
R al quadrato corretto	0,785
Errore standard	9,858
Osservazioni	18

## ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressione	4	6428,363	1607,091	16,536
Residuo	13	1263,415	97,186	
Totale	17	7691,778		

	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>
Intercetta	-56,346	15,791	-3,568	0,003
Ha	0,010	0,004	2,826	0,014
Zona	21,917	4,622	4,742	0,000
Stagione	1,500	4,347	0,345	0,736
Vegetazione	13,679	3,888	3,518	0,004

Tabella 19 - Output riepilogo regressione con estensione, zona, stagione e vegetazione

Andando ad osservare il valore ricavato dal dato in letteratura e il numero ricavato dalla regressione lineare si può notare una leggera differenza. Questa differenza dipende dal fatto che le diverse variabili indipendenti non rappresentano al 100% la variabile dipendente. I residui permettono di osservare, quindi, quanto questi due valori differiscano.

Per un residuo positivo avremo che al “Previsto Personale” dovremo aggiungere il valore, invece, per un residuo negativo dovremo andare a sottrarre il valore.

### OUTPUT RESIDUI

<i>Osservazione</i>	<i>Previsto Personale</i>	<i>Residui</i>	<i>Residui standard</i>
1	66	14	2
2	65	-5	-1
3	10	-3	0
4	8	-1	0
5	10	2	0
6	18	-8	-1
7	28	-16	-2
8	6	8	1
9	41	12	1
10	11	0	0
11	11	-3	0
12	11	9	1
13	4	1	0
14	4	5	1
15	10	1	0
16	33	-20	-2
17	11	1	0
18	10	4	0

Tabella 20 - Output residui regressione con estensione, zona, stagione e vegetazione

### 5.5.2 Regressione personale con estensione, zona e vegetazione

Il secondo caso in esame è quello relativo alla regressione multi-parametro con variabile dipendente il personale e variabili indipendenti l'estensione, la zona e la vegetazione, quindi, escludendo la stagione. Si è ottenuta la seguente equazione:

$$Person. = -54,358 + 0.010 * Ha + 22,530 * Zona + 13,973 * Veget.$$

Dall'analisi degli output si può osservare, che anche in questo caso, il valore di R al quadrato e al quadrato corretto sono maggiori di un valore soglia pari a 0,7.

In particolare, il valore di R al quadrato è 0,834. Ciò significa che l'83% dei valori si adatta al modello di analisi di regressione. Ovvero, l'83% delle variabili dipendenti sono spiegate da variabili indipendenti.

#### OUTPUT RIEPILOGO REGRESSIONE CON ESTENSIONE, ZONA E VEGETAZIONE

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,913
R al quadrato	0,834
R al quadrato corretto	0,799
Errore standard	9,543
Osservazioni	18

ANALISI VARIANZA				
	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressione	3	6416,786	2138,929	23,486
Residuo	14	1274,992	91,071	
Totale	17	7691,778		

	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>
Intercetta	-54,358	14,233	-3,819	0,002
Ha	0,010	0,003	2,955	0,010
Zona	22,530	4,130	5,455	0,000
Vegetazione	13,973	3,673	3,805	0,002

Tabella 21 -- Output riepilogo regressione con estensione, zona e vegetazione

## OUTPUT RESIDUI

<i>Osservazione</i>	<i>Previsto Personale</i>	<i>Residui</i>	<i>Residui standard</i>
1	67	13	2
2	65	-5	-1
3	10	-3	0
4	10	-3	0
5	10	2	0
6	19	-9	-1
7	27	-15	-2
8	5	9	1
9	41	12	1
10	10	1	0
11	10	-2	0
12	10	10	1
13	5	0	0
14	5	4	0
15	10	1	0
16	33	-20	-2
17	10	2	0
18	10	4	0

Tabella 22 -- Output residui regressione con estensione, zona e vegetazione

### 5.5.3 Regressione personale con zona, stagione e vegetazione

Il terzo caso in esame è quello relativo alla regressione multi-parametro con variabile dipendente il personale e variabili indipendenti la zona, la stagione e la vegetazione, quindi, escludendo l'estensione. Si è ottenuta la seguente equazione:

$$Person. = -75,969 + 27,078 * Zona + 2,426 * Stag + 18,272 * Veget.$$

Dall'analisi degli output si può osservare, che anche in questo caso, il valore di R al quadrato è maggiore di 0,7 ma il quadrato corretto è minore del valore soglia di 0,7. Quindi, la rimozione della variabile indipendente legata all'estensione dell'incendio ha inciso sull'accuratezza del modello.

In particolare, il valore di R al quadrato è 0,735. Ciò significa che l'74% dei valori si adatta al modello di analisi di regressione. Ovvero, l'74% delle variabili dipendenti sono spiegate da variabili indipendenti.

OUTPUT RIEPILOGO REGRESSIONE CON ZONA, STAGIONE E VEGETAZIONE

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,857
R al quadrato	0,735
R al quadrato corretto	0,678
Errore standard	12,070
Osservazioni	18,000

ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressione	3	5652,088	1884,029	12,932
Residuo	14	2039,690	145,692	
Totale	17	7691,778		

	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>
Intercetta	-75,969	17,365	-4,375	0,001
Zona	27,078	5,198	5,209	0,000
Stagione	2,426	5,308	0,457	0,655
Vegetazione	18,272	4,325	4,225	0,001

Tabella 23 - Output riepilogo regressione zona, stagione e vegetazione

OUTPUT RESIDUI

<i>Osservazione</i>	<i>Previsto Personale</i>	<i>Residui</i>	<i>Residui standard</i>
1	67	13	1
2	40	20	2
3	11	-4	0
4	8	-1	0
5	11	1	0
6	20	-10	-1
7	31	-19	-2
8	4	10	1
9	49	4	0
10	13	-2	0
11	13	-5	0
12	13	7	1
13	1	4	0
14	1	8	1
15	11	0	0
16	40	-27	-2
17	13	-1	0
18	11	3	0

Tabella 24 - Output residui regressione zona, stagione e vegetazione

#### 5.5.4 Regressione personale con estensione, zona, stagione, vegetazione e intercetta nulla

Il quarto caso è quello relativo alla regressione multi-parametro con variabile dipendente il personale e variabili indipendenti l'estensione, la zona, la stagione e la vegetazione, ma con intercetta nulla. L'intercetta della retta di regressione rappresenta il valore della variabile dipendente quando le variabili indipendenti sono uguale a 0. Ovvero, è il punto in cui la retta interseca l'asse Y. Si è ottenuta la seguente equazione:

$$Person. = 0.016 * Ha + 11,896 * Zona - 4,157 * Stag + 3,174 * Veget.$$

Dall'analisi degli output si può osservare, che anche in questo caso, il valore di R al quadrato e al quadrato corretto sono maggiori di un valore soglia pari a 0,7.

In particolare, il valore di R al quadrato è 0,831. Ciò significa che l'83% dei valori si adatta al modello di analisi di regressione. Ovvero, l'83% delle variabili dipendenti sono spiegate da variabili indipendenti.

#### OUTPUT RIEPILOGO REGRESSIONE CON ESTENSIONE, ZONA, STAGIONE E VEGETAZIONE CON INTERCETTA PARI A 0

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,912
R al quadrato	0,831
R al quadrato corretto	0,724
Errore standard	13,365
Osservazioni	18

#### ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressione	4	12311,188	3077,797	17,230
Residuo	14	2500,812	178,629	
Totale	18	14812,000		

	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>
Intercetta	0	#N/D	#N/D	#N/D
Ha	0,016	0,004	3,610	0,003
Zona	11,896	4,976	2,391	0,031
Stagione	-4,157	5,488	-0,758	0,461
Vegetazione	3,174	3,444	0,922	0,372

Tabella 25 - Output riepilogo regressione estensione, zona, stagione e vegetazione ma intercetta nulla

OUTPUT RESIDUI

<i>Osservazione</i>	<i>Previsto Personale</i>	<i>Residui</i>
1	51	29
2	71	-11
3	13	-6
4	18	-11
5	13	-1
6	22	-12
7	26	-14
8	15	-1
9	30	23
10	9	2
11	9	-1
12	9	11
13	19	-14
14	19	-10
15	14	-3
16	21	-8
17	9	3
18	13	1

Tabella 26 - Output residui regressione estensione, zona, stagione e vegetazione ma intercetta nulla

5.5.5 *Regressione canadair CL-415 con estensione, zona, stagione e vegetazione*

Questo caso è quello relativo alla regressione multi-parametro con variabile dipendente il numero di velivoli canadair CL-415 e variabili indipendenti l'estensione, la zona, la stagione e la vegetazione. Si è ottenuta la seguente equazione:

$$CL415 = -5,44 - 0.0002 * Ha + 1,8623 * Zona - 0,1085 * Stag + 1,608 * Veget.$$

Dall'analisi degli output si può osservare che il valore di R al quadrato è pari a 0,7 e il quadrato corretto risulta minore del valore pari a 0,7.

In particolare, il valore di R al quadrato è 0,706. Ciò significa che l'71% dei valori si adatta al modello di analisi di regressione. Ovvero, l'71% delle variabili dipendenti sono spiegate da variabili indipendenti.

OUTPUT RIEPILOGO REGRESSIONE

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,840
R al quadrato	0,706
R al quadrato corretto	0,615
Errore standard	0,898
Osservazioni	18,000

ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>
Regressione	4	25,128	6,282
Residuo	13	10,483	0,806
Totale	17	35,611	

	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>
Intercetta	-5,4400	1,4384	-3,7820
Ha	-0,0002	0,0003	-0,5507
Zona	1,8623	0,4210	4,4239
Vegetazione	1,6077	0,3542	4,5392
Stagione	-0,1085	0,3960	-0,2741

Tabella 27 - Output riepilogo regressione CL415 estensione, zona, stagione e vegetazione

<i>Osservazione</i>	<i>Previsto</i>	<i>Canadair</i>	<i>Residui</i>
1	4	1	
2	2	0	
3	1	1	
4	1	0	
5	1	0	
6	1	0	
7	1	-1	
8	0	0	
9	3	1	
10	1	-1	
11	1	1	
12	1	1	
13	0	0	
14	0	0	
15	1	0	
16	3	-1	
17	1	-1	
18	1	-1	

Tabella 28 - Output residui CL415 regressione estensione, zona, stagione e vegetazione

### 5.5.6 Regressione canadair CL-415 con estensione, zona e vegetazione

Il secondo caso in esame dei canadair CL415 è quello relativo alla regressione multi-parametro con variabili indipendenti l'estensione, la zona e la vegetazione, escludendo la stagione. Si è ottenuta la seguente equazione:

$$CL415 = -5,5838 - 0.0002 * Ha + 1,8180 * Zona + 1,5864 * Veget.$$

Dall'analisi degli output si può osservare, che anche in questo caso, il valore di R al quadrato è maggiore di 0,7 ma nuovamente il quadrato corretto è minore di un valore soglia pari a 0,7.

In particolare, il valore di R al quadrato è 0,70. Ciò significa che l'70% dei valori si adatta al modello di analisi di regressione. Ovvero, l'70% delle variabili dipendenti sono spiegate da variabili indipendenti.

#### OUTPUT RIEPILOGO REGRESSIONE

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,839
R al quadrato	0,704
R al quadrato corretto	0,640
Errore standard	0,868
Osservazioni	18,000

#### ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressione	3	25,068	8,356	11,095
Residuo	14	10,544	0,753	
Totale	17	35,611		

	<i>Coefficien ti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>
Intercetta	-5,5838	1,2943	4,3141	0,0007
Ha	-0,0002	0,0003	0,5929	0,5627
Zona	1,8180	0,3756	4,8404	0,0003
Vegetazione	1,5864	0,3340	4,7502	0,0003

Tabella 29 - Output riepilogo regressione CL415 estensione, zona e vegetazione

<i>Osservazione</i>	<i>Previsto Canadair</i>	<i>Residui</i>
1	4	1
2	2	0
3	1	1
4	1	0
5	1	0
6	1	0
7	1	-1
8	0	0
9	3	1
10	1	-1
11	1	1
12	1	1
13	0	0
14	0	0
15	1	0
16	3	-1
17	1	-1
18	1	-1

*Tabella 30 - Output residui CL415 regressione estensione, zona e vegetazione*

### *5.5.7 Regressione elicottero S64F con estensione, zona, stagione, vegetazione e intercetta nulla*

Questo caso è quello relativo alla regressione multi-parametro con variabile dipendente il numero di velivoli S64F e variabili indipendenti l'estensione, la zona, la stagione e la vegetazione, con intercetta nulla. Si è ottenuta la seguente equazione:

$$S64F = 0.0001 * Ha + 0,0978 * Zona - 0,1375 * Stag + 0,3833 * Veget.$$

Dall'analisi degli output si può osservare che sia il valore di R al quadrato e sia del quadrato corretto risultano minore del valore pari a 0,7.

In particolare, il valore di R al quadrato è 0,647. Ciò significa che l'65% dei valori si adatta al modello di analisi di regressione. Ovvero, l'65% delle variabili dipendenti sono spiegate da variabili indipendenti.

OUTPUT RIEPILOGO REGRESSIONE

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,805
R al quadrato	0,647
R al quadrato corretto	0,500
Errore standard	0,710
Osservazioni	18,000

ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressione	4	12,949	3,237	6,428
Residuo	14	7,051	0,504	
Totale	18	20,000		

	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>
Intercetta	0,0000	#N/D	#N/D	#N/D
Ha	0,0001	0,0002	0,5122	0,6165
Zona	0,0978	0,2642	0,3700	0,7169
Vegetazione	0,3833	0,1828	2,0960	0,0547
Stagione	-0,1375	0,2914	-0,4719	0,6443

Tabella 31 - Output riepilogo S64F regressione estensione, zona, stagione e vegetazione ma intercetta nulla

OUTPUT RESIDUI

<i>Osservazione</i>	<i>Previsto Elicotteri</i>	<i>Residui</i>	<i>Residui standard</i>
1	1	1	1
2	1	0	0
3	1	-1	-2
4	1	0	0
5	1	0	0
6	1	-1	-1
7	0	0	0
8	0	0	0
9	1	0	1
10	1	0	0
11	1	-1	-1
12	1	1	2
13	0	1	1
14	0	0	0
15	1	0	0
16	1	-1	-1
17	1	0	0
18	1	1	2

Tabella 32 - Output residui S64F regressione estensione, zona, stagione e vegetazione ma intercetta nulla

### 5.5.8 Regressione elicottero S64F con estensione, zona, vegetazione e intercetta nulla

Il secondo caso in esame degli S64F è quello relativo alla regressione multi-parametro con variabili indipendenti l'estensione, la zona e la vegetazione, escludendo la stagione, e intercetta nulla. Si è ottenuta la seguente equazione:

$$S64F = 0.0001 * Ha - 0,0044 * Zona + 0,3130 * Veget.$$

Dall'analisi degli output si può osservare, che anche in questo caso, il valore di R al quadrato e del quadrato corretto sono minori di un valore soglia pari a 0,7.

In particolare, il valore di R al quadrato è 0,642. Ciò significa che il 64% dei valori si adatta al modello di analisi di regressione. Ovvero, il 64% delle variabili dipendenti sono spiegate da variabili indipendenti.

#### OUTPUT RIEPILOGO

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,801
R al quadrato	0,642
R al quadrato corretto	0,527
Errore standard	0,691
Osservazioni	18,000

#### ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressione	3	12,837	4,279	8,961
Residuo	15	7,163	0,478	
Totale	18	20,000		

	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>
Intercetta	0,0000	#N/D	#N/D	#N/D
Ha	0,0001	0,0002	0,5783	0,5716
Zona	-0,0044	0,1475	-0,0299	0,9766
Vegetazione	0,3130	0,1034	3,0271	0,0085

Tabella 33 - Output riepilogo S64F regressione estensione, zona e vegetazione ma intercetta nulla

OUTPUT RESIDUI

<i>Osservazione</i>	<i>Previsto Elicotteri</i>	<i>Residui</i>
1	1	1
2	1	0
3	1	-1
4	1	0
5	1	0
6	1	-1
7	0	0
8	0	0
9	1	0
10	1	0
11	1	-1
12	1	1
13	0	1
14	0	0
15	1	0
16	1	-1
17	1	0
18	1	1

*Tabella 34 - Output residui S64F regressione estensione, zona e vegetazione ma intercetta nulla*



## 6. Analisi

Una volta effettuato quanto descritto in precedenza si è proceduto con lo sviluppo di un algoritmo in Matlab con lo scopo di implementare le equazioni ricavate tramite la regressione lineare. Nell'ottica di un progetto condiviso da più realtà si è immaginato di partire con la lettura di un file esterno in formato Excel fornito da un pianificatore di missione sviluppato da un altro partner. Non essendoci ancora i requisiti di questo file si è supposto che venga fornito all'algoritmo l'estensione dell'incendio, la zona e la vegetazione interessata dall'incendio e il periodo dell'anno come dati obbligatori. Come dati facoltativi possono essere presenti anche il numero del personale, dei CL415 e del S64F in modo tale da fornire all'operatore scelta su cosa ricavare e/o eseguire confronti tra i dati e i risultati forniti dall'algoritmo.

Dall'analisi dei diversi risultati ricavati attraverso la regressione multi-parametro emerge che per ricavare il personale necessario ad affrontare l'incendio sia che si utilizzino tutte e quattro le variabili indipendenti sia che si escluda la stagione il risultato risulta essere accuratamente simile. Invece, andando ad escludere l'estensione o andando ad impostare l'intercetta pari a 0 si ha un'accuratezza minore e un errore standard maggiore. Quindi per la scelta dell'equazione da utilizzare nell'algoritmo si è preferito considerare il caso con tutti i parametri (5.5.1), in modo tale da avere un'efficacia simile ma con una variabile in più rispetto all'altro.

$$Pers. = -56,346 + 0.010 * Ha + 21,917 * Zon. + 1,5 * Stag. + 13,679 * Veg.$$

Anche per quanto riguarda la scelta del numero di canadair CL-415 richiesti si è notato che la differenza tra i due test è molto piccola. Quindi, si è nuovamente optato per l'equazione fornita dal caso con tutte e quattro le variabili (5.5.5)

$$CL415 = -5,44 - 0.0002 * Ha + 1,8623 * Zon. - 0,1085 * Stag + 1,608 * Veg.$$

Infine, per l'S64F dove l'R al quadrato risulta basso si è optato per l'equazione in cui si ha un coefficiente di determinazione leggermente maggiore andando, però, a sacrificare una variabile, la stagione (5.5.8).

$$S64F = 0.0001 * Ha - 0,0044 * Zon. + 0,3130 * Veg.$$

Andando ad unire tutte le informazioni fino a qui raccolte è stato possibile sviluppare l'algoritmo presente nella appendice B.

In particolare, nell'appendice B sono presenti due algoritmi MATLAB che svolgono la stessa funzione partendo da due file differenti. Il primo algoritmo inizia con la lettura di un file .mat e successivamente salva le variabili contenute al suo interno. Durante questo processo, le variabili vengono controllate al fine di evitare l'inserimento di possibili valori considerati non accettabili, ovvero:

- La variabile "estensione" non può essere vuota o minore di 0;
- La variabile "personale", se presente, non può essere minore di 0;
- La variabile "mezzi", se presente, non può essere minore di 0;
- La variabile "CL415", se presente, non può essere minore di 0;
- La variabile "S64F", se presente, non può essere minore di 0;
- La variabile "zona" non può essere vuota o minore di 1 o maggiore di 3;
- La variabile "vegetazione" non può essere vuota o minore di 1 o maggiore di 3;
- La variabile "stagione" non può essere minore di 1 o maggiore di 3;
- Le variabili "terreno", "proprietà" e "CO2" non possono essere minori di 0;

Dopo aver verificato le variabili, in caso di mancanza del numero di personale, l'algoritmo procederà con l'implementazione delle equazioni precedentemente descritte, a seconda che la stagione sia stata specificata o meno. Questo passaggio viene ripetuto per il numero di CL415 e S64F.

Successivamente, se è presente almeno un velivolo, viene considerata la presenza di un DOS il quale verrà sottratto dal totale di personale ricavato nel passaggio precedente. Vengono quindi definiti il numero di capisquadra, vigili del fuoco e mezzi di terra.

A questo punto, viene chiesto all'operatore di decidere quale tariffa oraria andare ad utilizzare per il calcolo dei costi. A seconda della scelta, vengono implementati i prezziari italiani o europei. Vengono, quindi, effettuati tutti i calcoli necessari e il sistema visualizza a schermo il costo orario del personale, il costo orario dei velivoli e il costo orario totale dell'incendio.

Dopo aver determinato il numero di personale, di mezzi e il loro costo complessivo, l'algoritmo procede con il calcolo dei danni causati dall'incendio. Le spese relative ai danni al terreno vengono calcolate moltiplicando l'estensione del terreno danneggiato per il costo medio di un terreno agricolo, boschivo, da pascolo o incolto. Le spese per i danni alle proprietà sono ottenute moltiplicando l'estensione della proprietà coinvolta dall'incendio per il costo al metro quadrato, a seconda della zona. Infine, i danni economici dovuti all'emissione di CO<sub>2</sub> vengono calcolati andando ad utilizzare le equazioni precedentemente descritte, tenendo in considerazione il tipo di vegetazione e l'estensione dell'incendio. A conclusione di tutto, il sistema visualizza a schermo i risultati di questi calcoli.

Il secondo algoritmo inizia con la lettura di un file Excell e successivamente salva le variabili contenute al suo interno. Durante questo processo, le variabili vengono controllate al fine di evitare l'inserimento di possibili valori considerati non accettabili, ovvero:

- La variabile "estensione" non può essere NaN o minore di 0;
- La variabile "personale", se presente, non può essere minore di 0;
- La variabile "mezzi", se presente, non può essere minore di 0;
- La variabile "CL415", se presente, non può essere minore di 0;
- La variabile "S64F", se presente, non può essere minore di 0;
- La variabile "zona" non può essere NaN o minore di 1 o maggiore di 3;
- La variabile "vegetazione" non può essere NaN o minore di 1 o maggiore di 3;
- La variabile "stagione" non può essere minore di 1 o maggiore di 3;
- Le variabili "terreno", "proprietà" e "CO<sub>2</sub>" non possono essere minori di 0;

Da questo punto in poi, l'algoritmo si comporta come il primo descritto.



## 7. Validazione del modello

Una volta scelto il modello da utilizzare all'interno dell'algoritmo un passaggio di fondamentale importanza è la sua validazione. In questa fase si vuole verificare l'accuratezza e la robustezza del modello al fine di garantire previsioni il più possibile rappresentative della realtà. Per fare ciò si considerano diverse casistiche relative ad incendi europei e si vanno a confrontare i risultati ricavati e i dati ottenuti dai report.

### *Incendio nel comune di Buti (PISA)*

Prendiamo in considerazione, come primo esempio, l'incendio avvenuto il 25 Settembre 2023 nel comune di Buti in provincia di Pisa. L'incendio, con un'estensione di 20 ettari, ha interessato un'area boschiva in una zona non troppo distante da abitazioni.

In questo caso, dalle notizie presenti, è stato ricavato che sono intervenute sul luogo dell'incendio 29 persone incaricate di sopprimere l'incendio, 1 DOS, 3 elicotteri e 2 aerei ad ala fissa.

Per confrontare questi valori con quelli dell'algoritmo andiamo a definire i quattro fattori che influenzano il modello:

- Estensione dell'incendio pari a 20 ettari;
- Zona posta pari a 2 poiché l'incendio è avvenuto in prossimità di zone abitate ma non ha richiesto l'evacuazione di esse;
- Vegetazione posta pari a 3 poiché l'incendio ha interessato un'area boschiva altamente infiammabile;
- Stagione posta pari a 2 poiché l'incendio è avvenuto in autunno.

Una volta definiti i parametri si ottiene che dovrebbero intervenire 30 persone, 1 DOS, 2 elicotteri e 3 aerei ad ala fissa. Questi valori comportano un costo del personale pari a 1236 €/ora, costo dei velivoli pari a 38016 €/ora e un costo orario totale pari a 39252 €.

Si può notare come i risultati si discostino per un'unità nel personale e nei velivoli, questo comporta un risultato accettabile nei valori ricavati da modello.

	<b>DATI REALI</b>	<b>RISULTATI DEL MODELLO</b>
<b>PERSONALE</b>	29	30
<b>DOS</b>	1	1
<b>ELICOTTERI</b>	3	2
<b>VELIVOLI AD ALA FISSA</b>	2	3

*Tabella 35 - Validazione modello - Caso Buti*

### *Incendio nel comune di Monterubbiano (Fermo)*

Prendiamo in considerazione ora l'incendio avvenuto il 7 Luglio 2021 nel comune di Monterubbiano in provincia di Fermo. L'incendio, con un'estensione di 16 ettari, ha interessato un campo con residui di colture in una zona non troppo distante da abitazioni.

In questo caso, dalle notizie presenti, è stato ricavato che sono intervenute sul luogo dell'incendio 29 persone incaricate di sopprimere l'incendio, 1 DOS, 1 elicotteri e 1 aerei ad ala fissa.

Per confrontare questi valori con quelli dell'algorithmo andiamo a definire i quattro fattori che influenzano il modello:

- Estensione dell'incendio pari a 16 ettari;
- Zona posta pari a 2 poiché l'incendio è avvenuto in prossimità di zone abitate ma non ha richiesto l'evacuazione di esse;
- Vegetazione posta pari a 2 poiché l'incendio ha interessato un campo con residui di colture;
- Stagione posta pari a 3 poiché l'incendio è avvenuto in estate.

Una volta definiti i parametri si ottiene che dovrebbero intervenire 19 persone, 1 DOS, 1 elicotteri e 1 aerei ad ala fissa. Questi valori comportano un costo del personale pari a 751 €/ora, costo dei velivoli pari a 14436 €/ora e un costo orario totale pari a 15187 €.

	<b>DATI REALI</b>	<b>RISULTATI DEL MODELLO</b>
<b>PERSONALE</b>	29	19
<b>DOS</b>	1	1
<b>ELICOTTERI</b>	1	1
<b>VELIVOLI AD ALA FISSA</b>	1	1

Tabella 36 - Validazione modello - Caso Fermo

### *Incendio nel comune di Caserta*

Prendiamo in considerazione ora l'incendio avvenuto il 3 Aprile 2021 nel comune di Caserta. L'incendio, con un'estensione di 60 ettari, ha interessato un campo di arbusti in una zona distante da abitazioni.

In questo caso, dalle notizie presenti, è stato ricavato che sono intervenute sul luogo dell'incendio 3 persone incaricate di sopprimere l'incendio, 1 elicotteri e 0 aerei ad ala fissa.

Per confrontare questi valori con quelli dell'algorithmo andiamo a definire i quattro fattori che influenzano il modello:

- Estensione dell'incendio pari a 60 ettari;
- Zona posta pari a 1 poiché l'incendio è avvenuto lontano da zone abitate;
- Vegetazione posta pari a 2 poiché l'incendio ha interessato un campo di arbusti;
- Stagione posta pari a 2 poiché l'incendio è avvenuto in primavera.

Una volta definiti i parametri si ottiene che dovrebbero intervenire 3 persone, 1 elicotteri e 0 aerei ad ala fissa. Questi valori comportano un costo del personale pari a 131 €/ora, costo dei velivoli pari a 5292 €/ora e un costo orario totale pari a 15187 €.

	<b>DATI REALI</b>	<b>RISULTATI DEL MODELLO</b>
<b>PERSONALE</b>	3	3
<b>DOS</b>	0	0
<b>ELICOTTERI</b>	1	1
<b>VELIVOLI AD ALA FISSA</b>	0	0

Tabella 37 - Validazione modello - Caso Fermo

### *7.1 Considerazioni e possibili sviluppi futuri*

Il modello sviluppato si è rivelato efficace nel determinare il personale ed i mezzi necessari per le operazioni di spegnimento degli incendi boschivi, fornendo risultati coerenti con i dati reali raccolti durante lo studio. Per quanto riguarda i costi, tuttavia, la stima ottenuta risulta essere di più difficile lettura a causa della difficoltà nell'ottenere un dettaglio ufficiale completo del costo totale associato sia alle operazioni di spegnimento che ai danni derivanti dall'incendio. A seguito da quanto emerso dalle ricerche sullo stato dell'arte e dallo studio dei manuali della lotta agli incendi, è necessario considerare che gli incendi risultano essere dei fenomeni estremamente variabili. Pertanto, non bisogna trascurare il fatto che una squadra apparentemente ben attrezzata per affrontare le fiamme possa improvvisamente trovarsi sottodimensionata. Per quanto riguarda lo sviluppo futuro del modello, potrebbe essere opportuno includere stime sempre più precise basate su dati aggiornati e ulteriormente calibrati.

## Sitografia

- [1] European Commission, Joint Research Centre, San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R. et al., *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2022*, Publications Office of the European Union, 2023, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/348120>
- [2] [https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014\\_2019/plmrep/COMMITTEES/AGRI/DV/2023/08-30/EFFIS\\_analysis\\_fire\\_damages\\_2023v1\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/plmrep/COMMITTEES/AGRI/DV/2023/08-30/EFFIS_analysis_fire_damages_2023v1_EN.pdf)
- [3] *Cambiamenti climatici: il 2022 è stato il secondo anno con più incendi boschivi.* (2023, November 22). Rappresentanza in Italia. [https://italy.representation.ec.europa.eu/notizie-ed-eventi/notizie/cambiamenti-climatici-il-2022-e-stato-il-secondo-anno-con-piu-incendi-boschivi-2023-11-22\\_it#:~:text=Secondo%20il%20sistema%20europeo%20d,3%20milioni%20di%20ettari%20bruciati.](https://italy.representation.ec.europa.eu/notizie-ed-eventi/notizie/cambiamenti-climatici-il-2022-e-stato-il-secondo-anno-con-piu-incendi-boschivi-2023-11-22_it#:~:text=Secondo%20il%20sistema%20europeo%20d,3%20milioni%20di%20ettari%20bruciati.)
- [4] Bonini, E. (2023, November 22). *Incendi, nel 2022 bruciata un'area Ue grande quanto la Corsica.* Eunews. <https://www.eunews.it/2023/11/22/incendi-2022-brucia-area-ue-come-corsica/>
- [5] Etifadmin. (2023, August 1). *Gli incendi boschivi in Europa stanno cambiando: perché e cosa possiamo fare?* | Etifor. Etifor. <https://www.etifor.com/it/aggiornamenti/incendi-boschivi-2022/>
- [6] Zhuang, Y., Fu, R., Santer, B. D., Dickinson, R. E., & Hall, A. (2021). *Quantifying contributions of natural variability and anthropogenic forcings on increased fire weather risk over the western United States. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 118(45).* <https://doi.org/10.1073/pnas.2111875118>

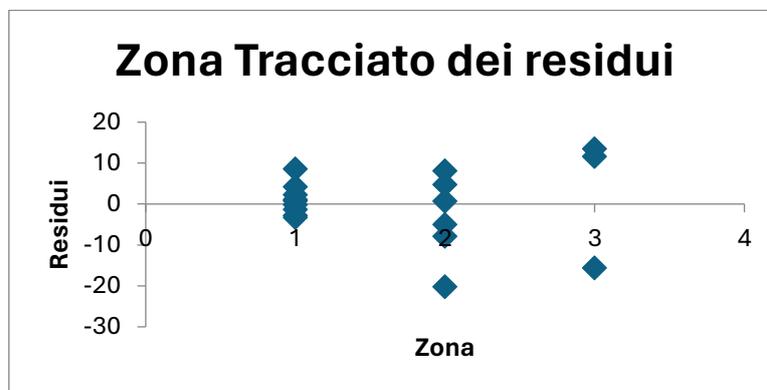
- [7]Harmsworth, E. (2023, September 5). *Wildfires cost Europe €4.1 billion as temperatures hit records*. Insurance Journal.  
<https://www.insurancejournal.com/news/international/2023/09/05/739031.htm>
- [8]Università degli Studi della Tuscia - UNITUS. (2020). Prevention action increases Large Fire Response Preparedness (PREVAIL) [Prevail Forest Fires].  
<https://www.prevailforestfires.eu/wp-content/uploads/2021/03/2.3.pdf>
- [9]Bastianello, R. (2023, July 26). Quanti sono i mezzi aerei antincendio in Italia. *AGI*. <https://www.agi.it/cronaca/news/2023-07-26/canadair-mezzi-antincendio-italia-quant-quali-sono-22393045/>
- [10]ITI Arturo Magliani - Udine. (2008). CANADAIR CL 415.  
[http://www2.malignani.ud.it/WebEnis/aer/Portfolio/CANADAIR\\_CL415.pdf](http://www2.malignani.ud.it/WebEnis/aer/Portfolio/CANADAIR_CL415.pdf)
- [11]Contributori di Wikipedia. (2024, January 4). *Sikorsky S-64*. Wikipedia.  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Sikorsky\\_S-64#Impiego\\_in\\_Italia](https://it.wikipedia.org/wiki/Sikorsky_S-64#Impiego_in_Italia)
- [12][https://www.agriligurianet.it/it/vetrina/boschi-e-foreste/difesa-dei-boschi/storico-materiale-aib/item/download/6947\\_12428a94535a00fb5d9dc25f86e628cf.html](https://www.agriligurianet.it/it/vetrina/boschi-e-foreste/difesa-dei-boschi/storico-materiale-aib/item/download/6947_12428a94535a00fb5d9dc25f86e628cf.html)
- [13]Eugeb. (n.d.). *validita' dei mezzi aerei*.  
<https://incendiboschivi.altervista.org/docum/spegni/agusta.html>
- [14]Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco. (n.d.).  
<https://www.vigilfuoco.it/asp/notiziari.aspx>
- [15]Legge n. 353 del 2000. (n.d.).  
<https://www.parlamento.it/parlam/leggi/003531.htm#:~:text=%2D%20Chiunque%20cagioni%20un%20incendio%20su,da%20uno%20a%20cinque%20anni>

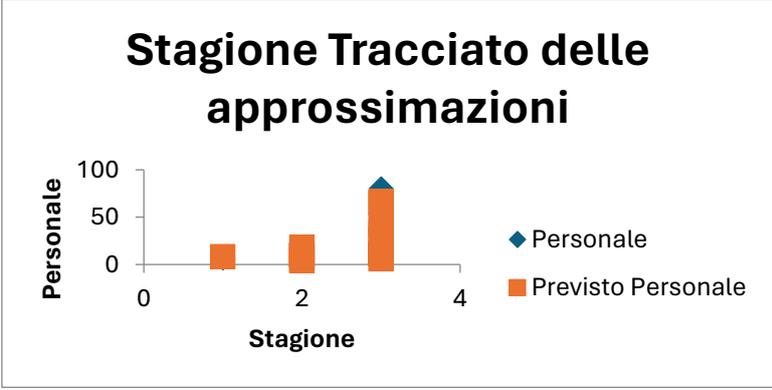
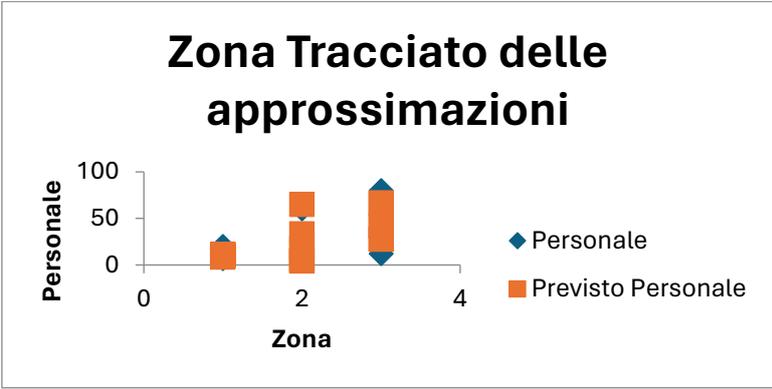
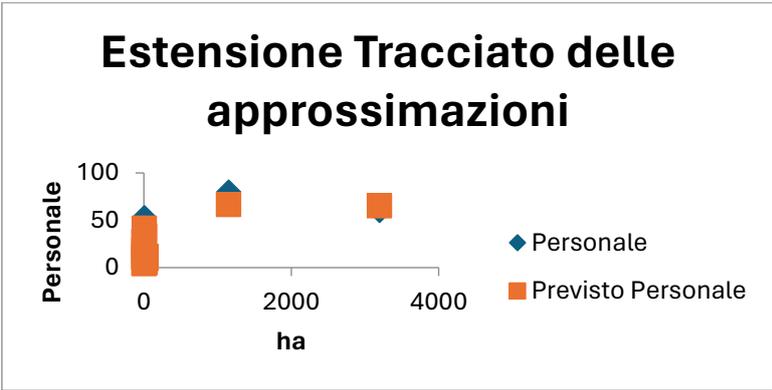
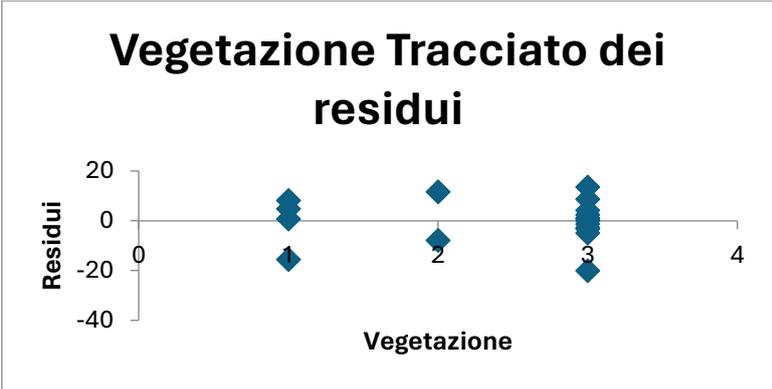
- [16]Amitrano, F. (2023, September 16). *Canadair CL-415. Tutto quello che c'è da sapere*. IL POMPIERE. <https://www.ilpompieri.it/2021/08/19/canadair-cl-415-tutto-quello-che-ce-da-sapere/>
- [17]<https://www.uniba.it/it/ricerca/dipartimenti/dse/dipartimento/personale-organi/personale/personale-docente/campobasso/regressione-lineare-multipla.pdf>
- [18]Stato, I. P. E. Z. D. (2012, March 15). *DECRETO-LEGGE 15 marzo 2012, n. 21 - Normattiva*. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legge:2012-03-15;21!vig=>
- [19]Ciancio Et Al. (2007). *Valutazione dei danni da incendi boschivi*.
- [20]Causale, D., Causale, D., & Causale, D. (2022, December 23). *Regressione lineare: il calcolo in Excel*. Excel per Tutti. <https://www.excelpertutti.com/regressione-lineare-il-calcolo-in-excel/>
- [21]*IOVINE CURATOLO - ESEMPI DI STIMA DI IMMOBILI RURALI*. (n.d.). <https://www.exeo.it/Pubblicazioni/38/esempi-casi-stima-valutazione-metodo-sintetico-comparativo-immobili-rurali-terreno-agricolo-azienda-agraria-zootecnica-piccoli-appezzamenti-esproprio-parziale-quota-reintegra-capitale-ammortamento-procedimento-statistico-deviazione-standard-mc2.aspx>
- [22]Pede, B. (2023, September 5). Qual è il prezzo al metro quadro delle case in Italia? *QuiFinanza*. <https://quifinanza.it/mercato-immobiliare/prezzo-metro-quadro-case-italia/744449/>
- [23]<https://fire.nv.gov/uploadedfiles/firenv.gov/content/bureaus/FST/IWUIFSCO-CompleteStudentManual.pdf>
- [24] Redazione. (2023, September 24). Incendio nei boschi di Buti: è sotto controllo, al lavoro 3 elicotteri e 2 Canadair. *PisaToday*.

- <https://www.pisatoday.it/cronaca/incendio-bosco-quadonica-buti-24-settembre-2023.html>
- [25]<https://www.coloradofirecamp.com/suppression-tactics/suppression-tactics-guide.pdf>
- [26] contributori di Wikipedia. (2023, November 12). *Autopompa*. Wikipedia. <https://it.wikipedia.org/wiki/Autopompa>
- [27]<https://www.gov.scot/binaries/content/documents/govscot/publications/advice-and-guidance/2013/10/fire-rescue-service-wildfire-operational-guidance/documents/wildfire-operational-guidance/wildfire-operational-guidance/govscot%3Adocument/00436138.pdf>
- [28] ERI Economic Research Institute. (n.d.). *Salary Expert - Firefighter Salaries by country | Salary Calculator by Country*. Salary Expert. <https://www.salaryexpert.com/salary/browse/countries/firefighter>
- [29] *Colossus Project – Collaborative system of systems exploration of aviation products, services & business models*. (n.d.). <https://colossus-sos-project.eu/>
- [30][https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/84156/CP\\_051010\\_Lane%2CValdi\\_IEEESMC456.pdf?sequence=1](https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/84156/CP_051010_Lane%2CValdi_IEEESMC456.pdf?sequence=1)
- [31] Jones, M. G. (2023, July 27). Più Canadair europei contro gli incendi nei Paesi del Mediterraneo. *Euronews*. <https://it.euronews.com/my-europe/2023/07/27/piu-canadair-europei-contro-gli-incendi-nei-paesi-del-mediterraneo>
- [32] *Europe cutting firefighters despite climate crisis*. (n.d.). ETUC | European Trade Union Confederation. <https://www.etuc.org/en/pressrelease/europe-cutting-firefighters-despite-climate-crisis>

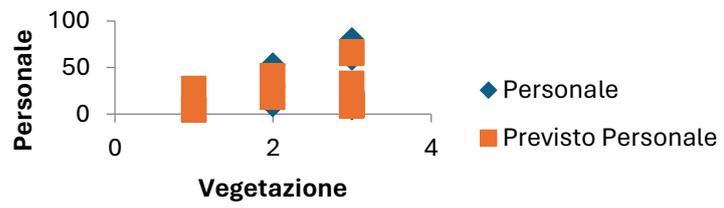
## Appendix A

### 5.5.1 Regressione personale con estensione, zona, stagione e vegetazione

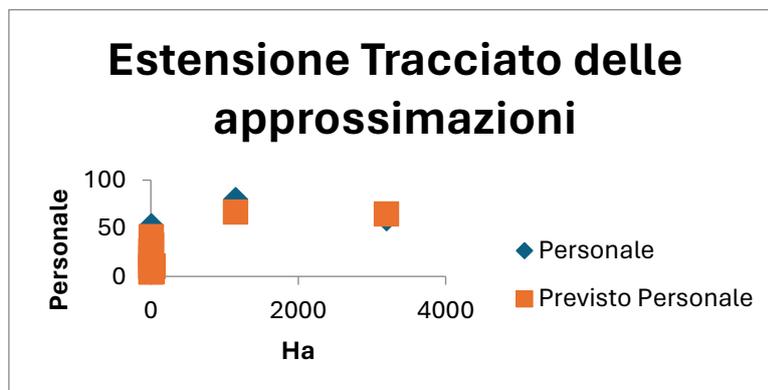
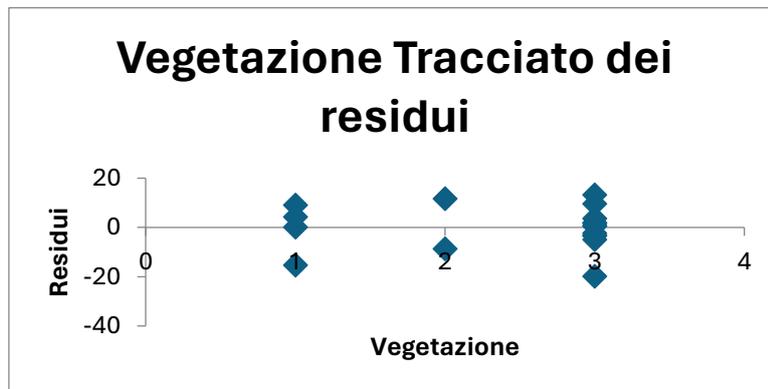
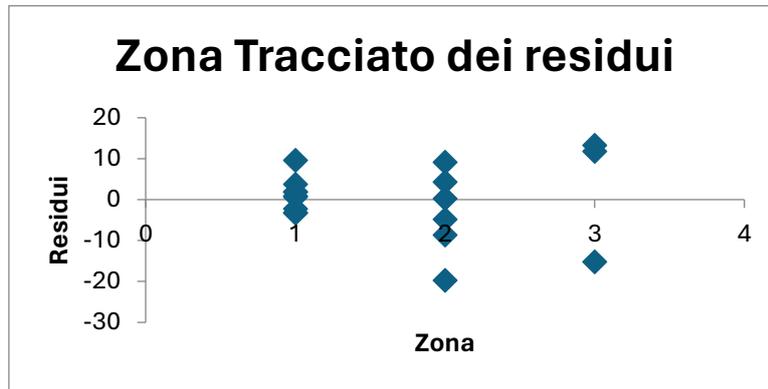
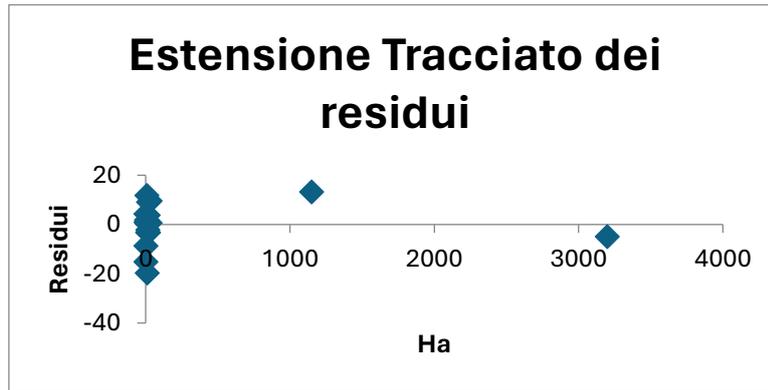




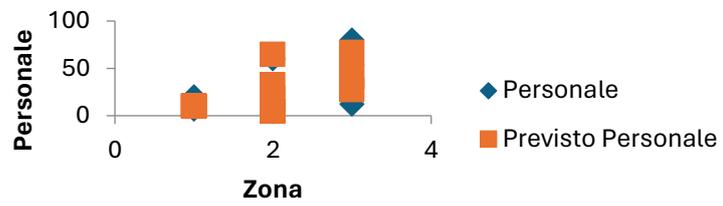
## Vegetazione Tracciato delle approssimazioni



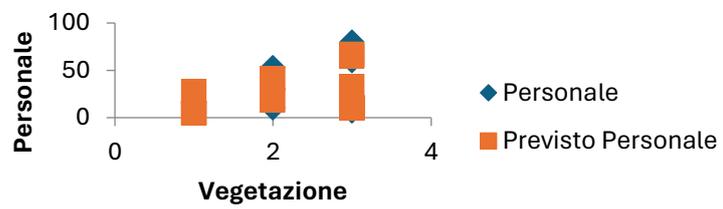
### 5.5.2 Regressione personale con estensione, zona e vegetazione



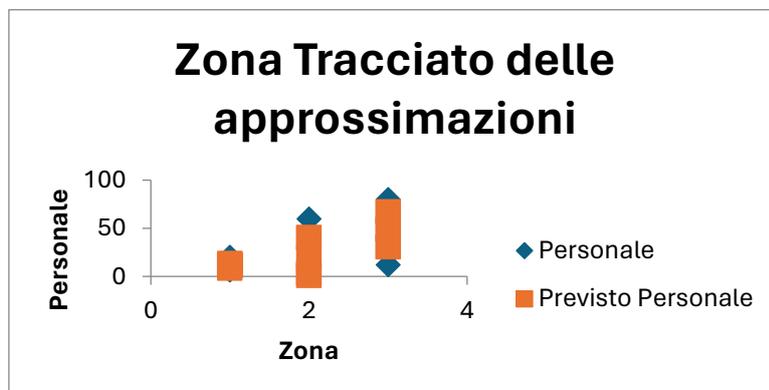
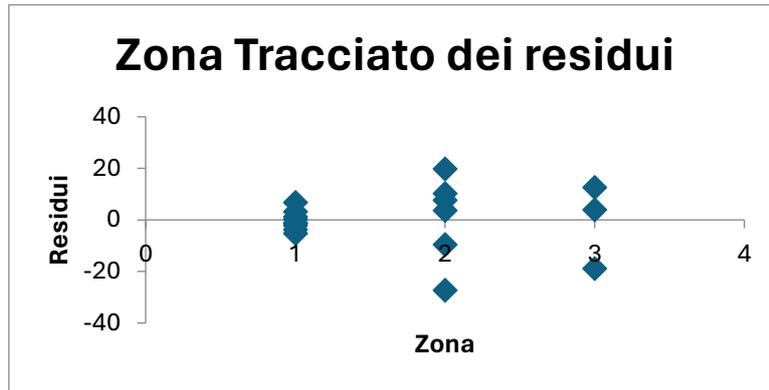
## Zona Tracciato delle approssimazioni



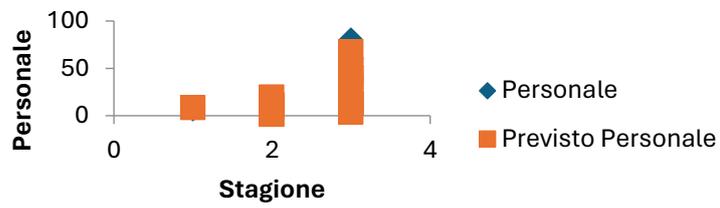
## Vegetazione Tracciato delle approssimazioni



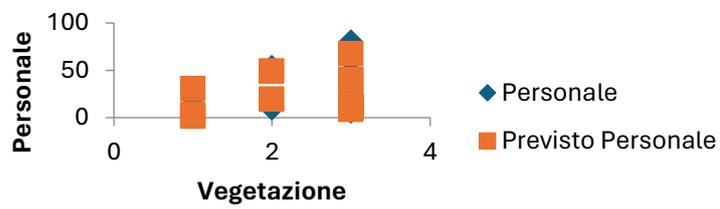
### 5.5.3 Regressione personale con zona, stagione e vegetazione



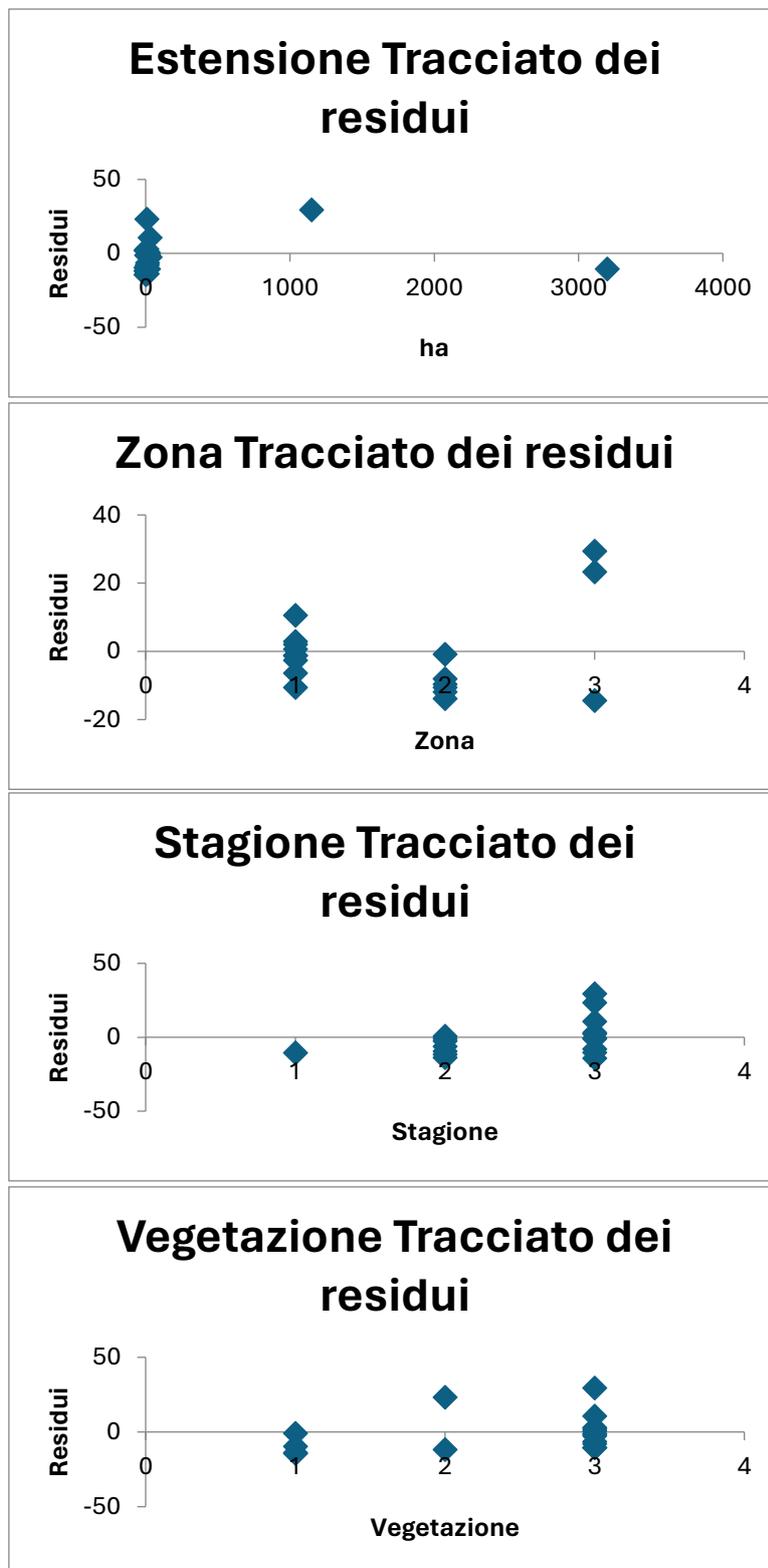
### Stagione Tracciato delle approssimazioni



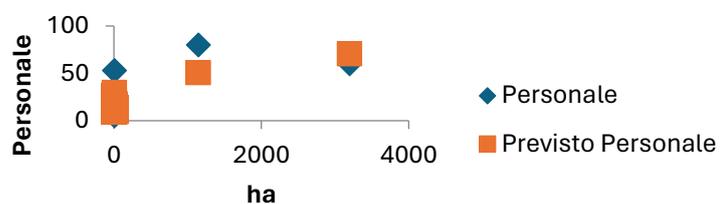
### Vegetazione Tracciato delle approssimazioni



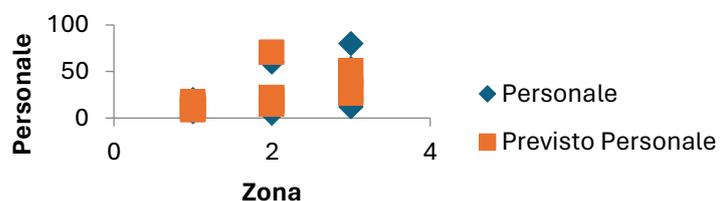
### 5.5.4 Regressione personale con estensione, zona, stagione, vegetazione e intercetta nulla



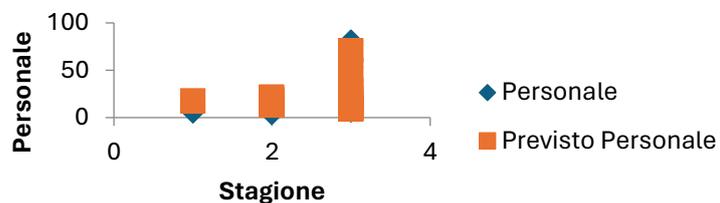
### Estensione Tracciato delle approssimazioni



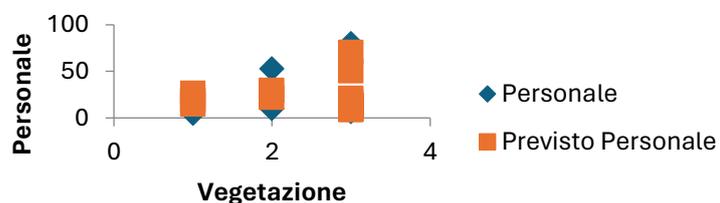
### Zona Tracciato delle approssimazioni



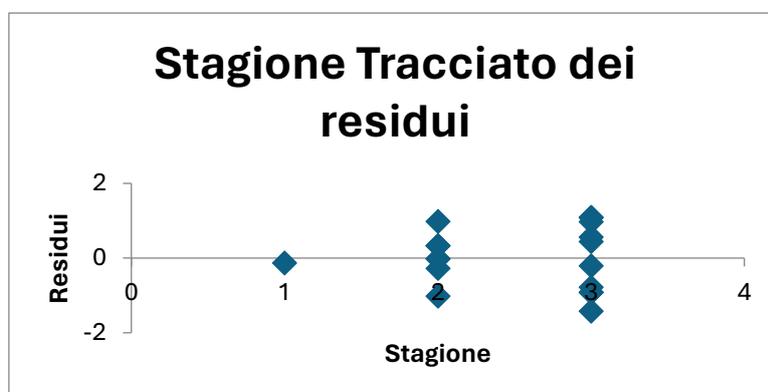
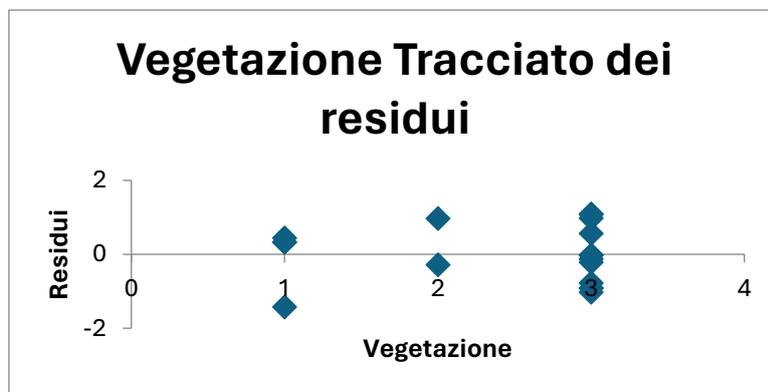
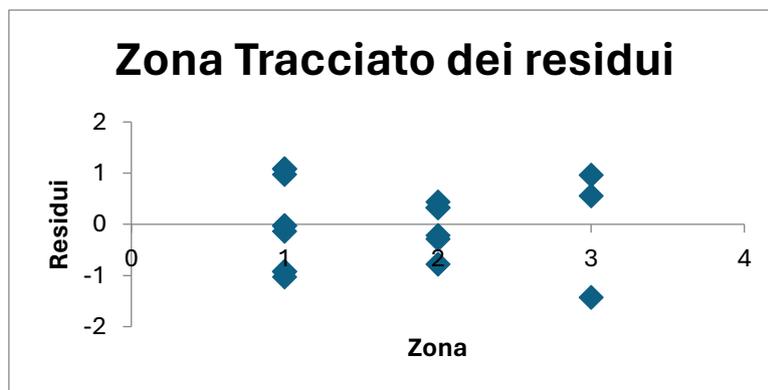
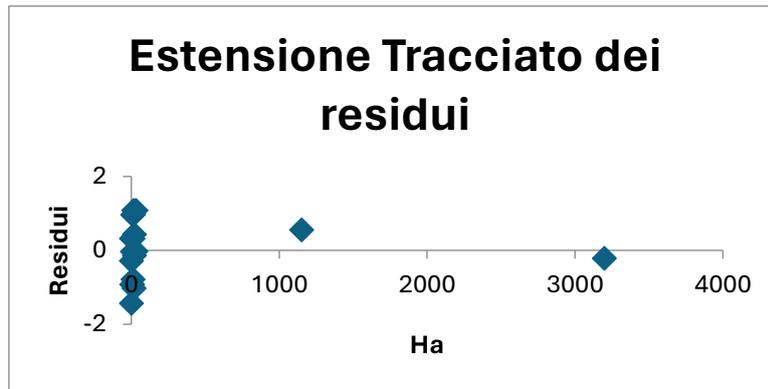
### Stagione Tracciato delle approssimazioni



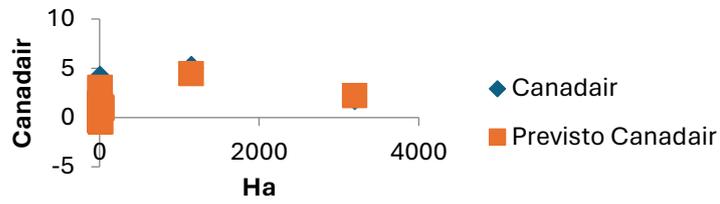
### Vegetazione Tracciato delle approssimazioni



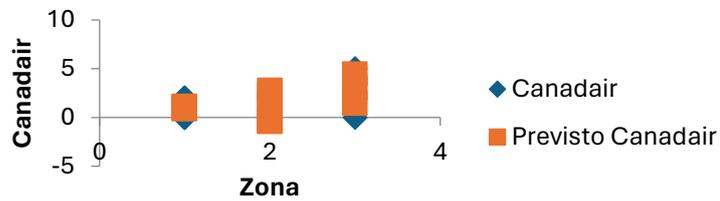
### 5.5.5 Regressione canadair CL-415 con estensione, zona, stagione e vegetazione



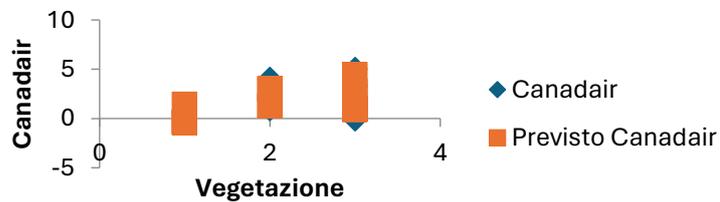
### Estensione Tracciato delle approssimazioni



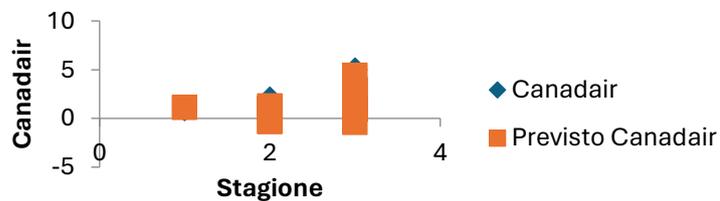
### Zona Tracciato delle approssimazioni



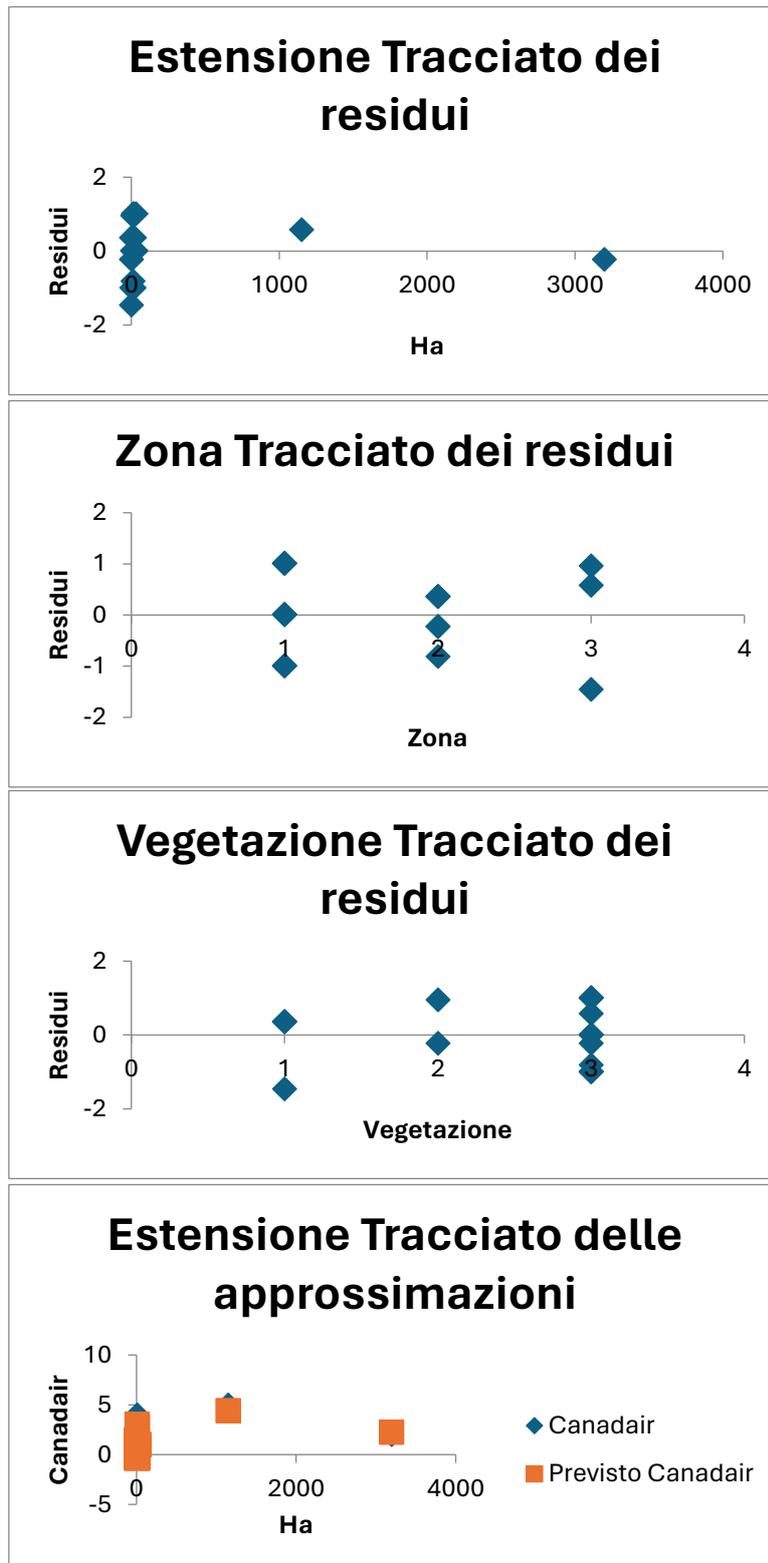
### Vegetazione Tracciato delle approssimazioni



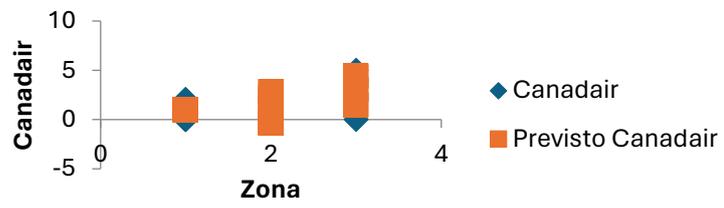
### Stagione Tracciato delle approssimazioni



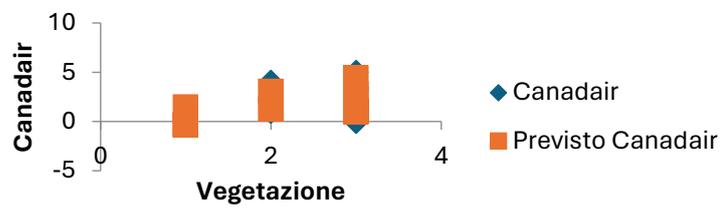
### 5.5.6 Regressione canadair CL-415 con estensione, zona e vegetazione



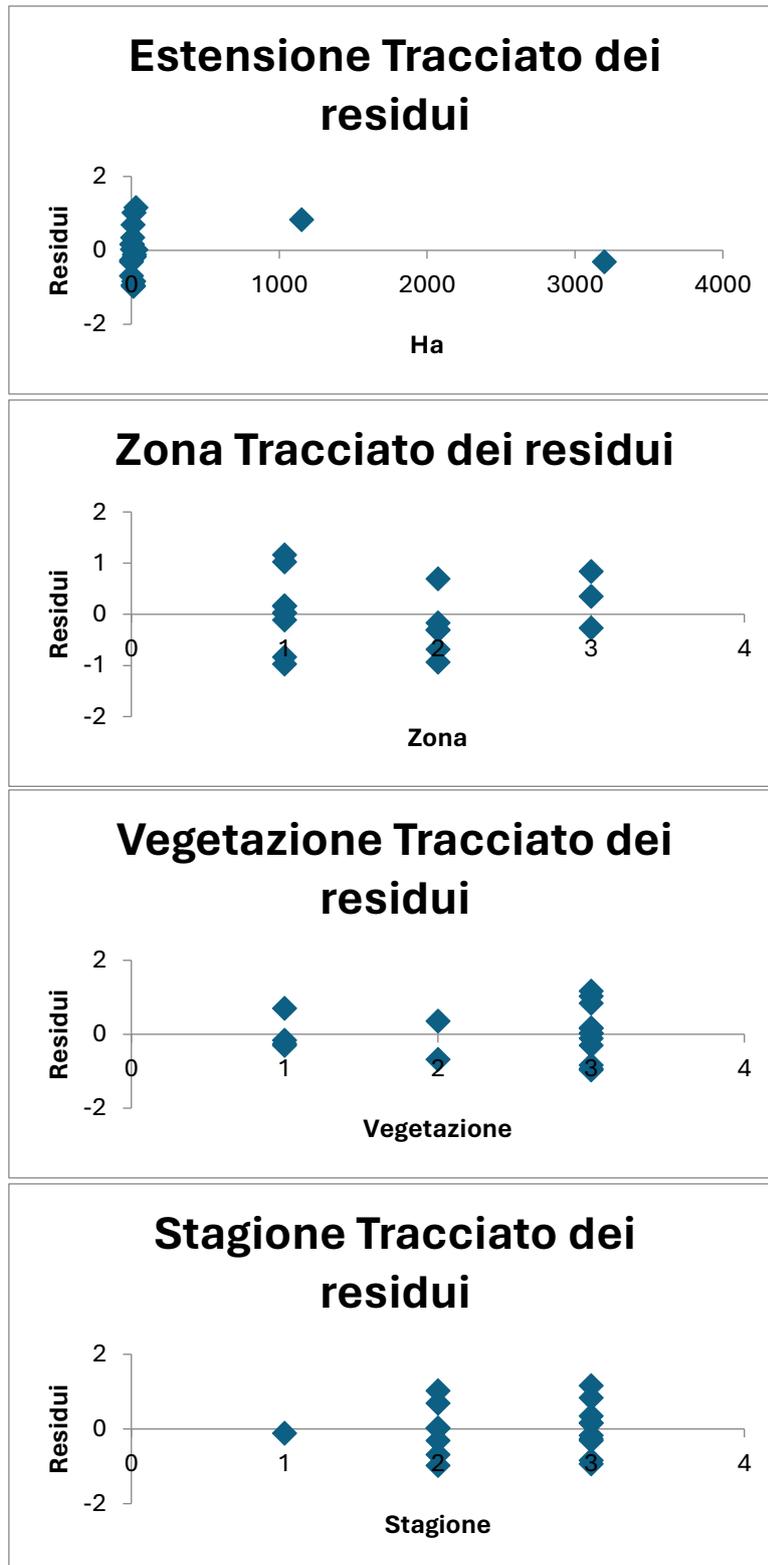
### Zona Tracciato delle approssimazioni



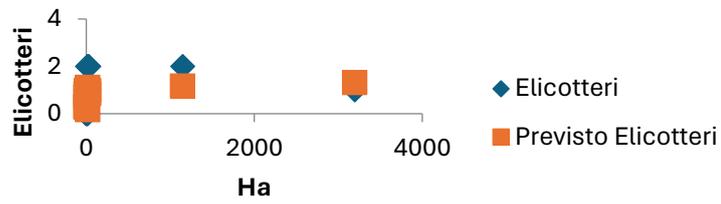
### Vegetazione Tracciato delle approssimazioni



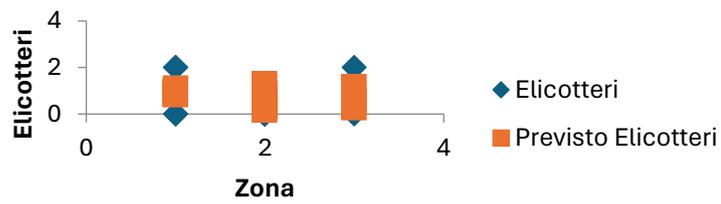
5.5.7 Regressione elicottero S64F con estensione, zona, stagione, vegetazione e intercetta nulla



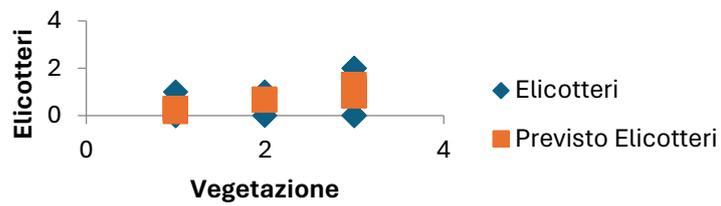
### Estensione Tracciato delle approssimazioni



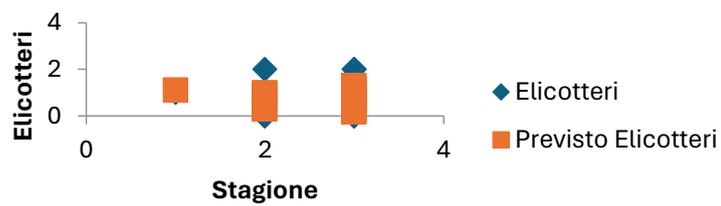
### Zona Tracciato delle approssimazioni



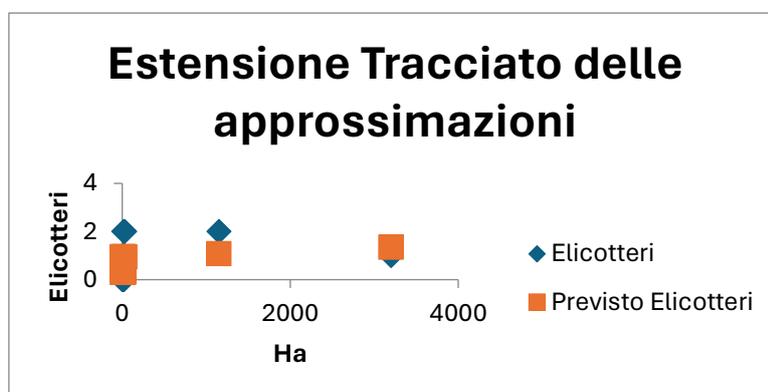
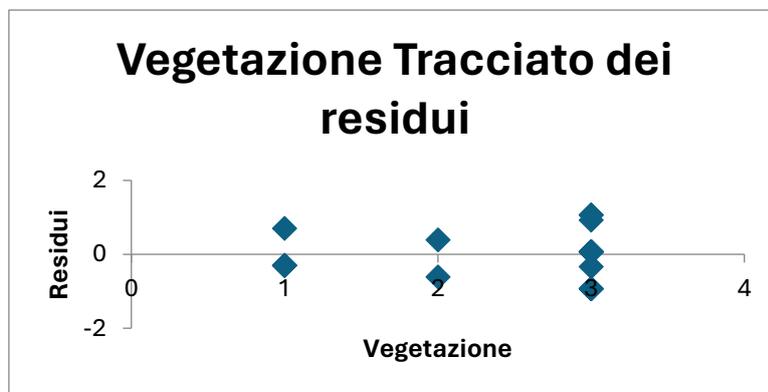
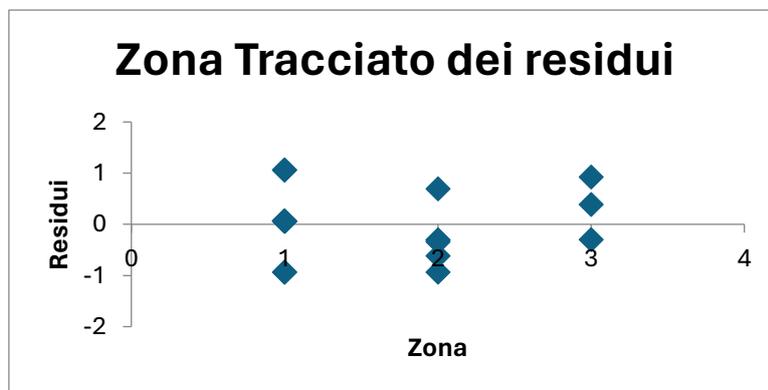
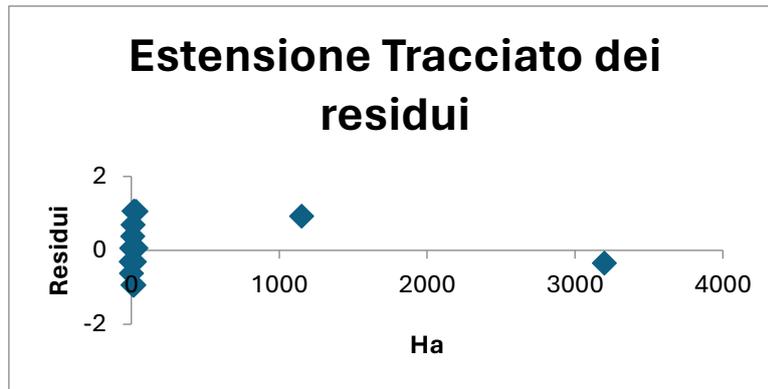
### Vegetazione Tracciato delle approssimazioni



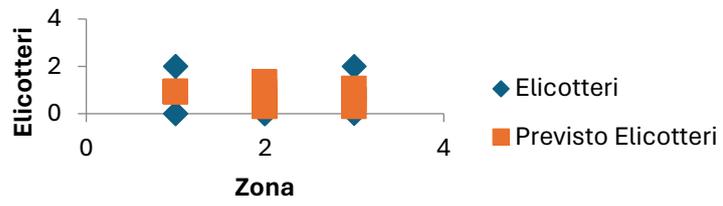
### Stagione Tracciato delle approssimazioni



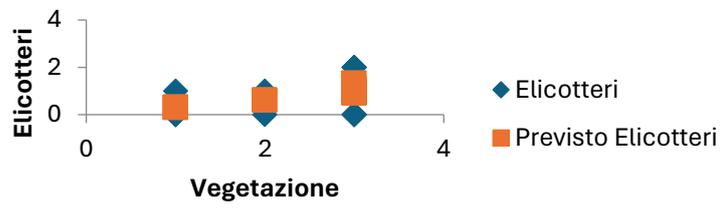
**5.5.8 Regressione personale con estensione, zona, vegetazione e intercetta nulla**



## Zona Tracciato delle approssimazioni



## Vegetazione Tracciato delle approssimazioni





## Appendix B

### *Letture di un file .mat*

```
clear all
close all
clc

% Viene caricato il file contenente i dati relativi all'incendio
load('incendio2.mat');
i = 0;
% Viene controllato che i dati inseriti siano validi
while i == 0
    switch true
        case isempty(estensione) || estensione <= 0
            % Viene mostrato un messaggio di errore
            error('L'estensione non è valida. ');
        case ~isempty(personale) && personale <= 0
            % Viene mostrato un messaggio di errore
            error('Il numero di personale non è valido. ');
        case ~isempty(mezzi) && mezzi < 0
            % Viene mostrato un messaggio di errore
            error('Il numero di mezzi non è valido. ');
        case ~isempty(CL415) && CL415 < 0
            % Viene mostrato un messaggio di errore
            error('Il numero di CL415 non è valido. ');
        case ~isempty(S64F) && S64F < 0
            % Viene mostrato un messaggio di errore
            error('Il numero di S64F non è valido. ');
        case isempty(zona) || zona < 1 || zona > 3
            % Viene mostrato un messaggio di errore
            error('La zona non è valida. ');
        case isempty(vegetazione) || vegetazione < 1 || vegetazione > 3
            % Viene mostrato un messaggio di errore
            error('Il tipo di vegetazione non è valido. ');
        case stagione < 1 || stagione > 3
            % Viene mostrato un messaggio di errore
            error('La stagione non è valida. ');
        otherwise
            disp('Variabili salvate con successo. ');
            i = 1;
    end
end

% Scelta dell'equazione per ricavare il personale della squadra

% Viene verificato se il numero di personale è mancante
if isempty(personale)
    % Se il numero di personale è mancante, si procede a stimarlo
```

```

% Viene verificato se la stagione è disponibile
if isempty(stagione) == 0
    % Se la stagione è disponibile, si utilizza un'equazione di regressione lineare
    % per calcolare il numero di personale
    % Equazione ricavata tramite regressione lineare con variabili: estensione, zona,
stagione, vegetazione
    personale = round(-56.346 + 0.010*estensione + 21.917*zona + 1.5*stagione +
13.679*vegetazione); % R^2 = 0.84
else
    % Se la stagione non è disponibile, si utilizza un'altra equazione di regressione
lineare
    % per calcolare il numero di personale
    % Equazione ricavata tramite regressione lineare con variabili: estensione, zona,
vegetazione
    personale = round(-54.358 + 0.010*estensione + 22.529*zona +
13.973*vegetazione); % R^2 = 0.83
end
end

```

% Scelta dell'equazione per ricavare il numero di CL415 necessari

```

% Viene verificato se il numero di CL415 è mancante
if isempty(CL415)
    % Se il numero di CL415 è mancante, si procede a stimarlo

    % Viene verificato se la stagione è disponibile
    if isempty(stagione) == 0
        % Se la stagione è disponibile, si utilizza un'equazione di regressione lineare
        % per calcolare il numero di CL415
        % Equazione ricavata tramite regressione lineare con variabili: estensione, zona,
vegetazione, stagione
        CL415 = round(-5.440 - 0.0002*estensione + 1.862*zona + 1.608*vegetazione -
0.109*stagione); % R^2 = 0.71
    else
        % Se la stagione non è disponibile, si utilizza un'altra equazione di regressione
lineare
        % per calcolare il numero di CL415
        % Equazione ricavata tramite regressione lineare con variabili: estensione, zona,
vegetazione
        CL415 = round(-5.584 - 0.0002*estensione + 1.818*zona + 1.586*vegetazione);
% R^2 = 0.71
    end
end

```

% Scelta dell'equazione per ricavare il numero di S64F necessari

```

% Viene verificato se il numero di S64F è mancante
if isempty(S64F)
    % Se il numero di S64F è mancante, si procede a stimarlo

```

```

% Viene verificato se la stagione è disponibile
if isempty(stagione) == 0
    % Se la stagione è disponibile, si utilizza un'equazione di regressione lineare
    % per calcolare il numero di S64F
    % Equazione ricavata tramite regressione lineare con variabili: estensione, zona,
vegetazione, stagione
    S64F = ceil(0.000117*estensione + 0.097759*zona + 0.383251*vegetazione -
0.1375*stagione); % R^2 = 0.65
else
    % Se la stagione non è disponibile, si utilizza un'altra equazione di regressione
lineare
    % per calcolare il numero di S64F
    % Equazione ricavata tramite regressione lineare con variabili: estensione, zona,
vegetazione
    S64F = ceil(0.000128*estensione - 0.00441*zona + 0.31301*vegetazione); %
R^2 = 0.65
end
end

% Viene verificato se CL415 o S64F sono maggiori di zero
if CL415 > 0 || S64F > 0
    % Se almeno uno tra CL415 e S64F è maggiore di zero, viene impostato il DOS a
1
    DOS = 1;
else
    % Altrimenti, viene impostato il DOS a 0
    DOS = 0;
end

% Viene calcolato il numero di personale escluso il DOS
personale = personale - DOS;

% Viene calcolato il numero di caposquadra
crew_capo_sq = ceil(personale/4);

% Viene calcolato il numero di membri dell'equipaggio dei vigili del fuoco
% esclusi i caposquadra
crew_vvf = personale - crew_capo_sq;

% Chiedi all'utente di inserire una lettera tra A e E
nazione = input('Inserire ITA per la tariffa oraria italiana o EU per la tariffa oraria
media europea: ', 's');

% Creazione del nome del file in base alla lettera inserita
switch nazione
case 'ITA'
    % Costo orario per i vigili del fuoco
    costh_vvf = 23;

    % Costo orario per il caposquadra

```

```

    costh_capo_sq = 25;

    % Costo orario per il DOS
    costh_DOS = 27;
case 'EU'
    % Costo orario per i vigili del fuoco
    costh_vvf = 20;

    % Costo orario per il caposquadra
    costh_capo_sq = 22;

    % Costo orario per il DOS
    costh_DOS = 24;
otherwise
    error('Selezione non valida. Devi inserire un valore tra ITA e EU.');
```

end

```

% Costo orario per l'autobotte
costh_autobotte = 60;

% Costo totale per l'utilizzo di un CL415 (comprensivo di utilizzo e carburante)
costh_CL415 = 9144;

% Costo totale per l'utilizzo di un S64F (comprensivo di utilizzo e carburante)
costh_S64F = 5292;

% Viene calcolato il costo totale orario del personale e dei mezzi
costh_tot_personale = costh_vvf * crew_vvf + costh_capo_sq * crew_capo_sq +
costh_DOS * DOS + costh_autobotte * crew_capo_sq;

% Viene verificato se il numero di CL415 è negativo e lo imposta a 0 se lo è
if CL415 < 0
    CL415 = 0;
end

% Viene verificato se il numero di S64F è negativo e lo imposta a 0 se lo è
if S64F < 0
    S64F = 0;
end

% Viene calcolato il costo totale per i velivoli (CL415 e S64F)
costh_tot_velivoli = costh_CL415 * CL415 + costh_S64F * S64F;

% Viene calcolato il costo orario totale comprensivo di personale, attrezzature, mezzi
e velivoli
costh_tot = costh_tot_personale + costh_tot_velivoli;

% Viene visualizzato il costo orario del personale, dei velivoli e del costo orario
totale
```

```
fprintf('Il costo orario del personale è di %.2f€.\nIl costo orario dei velivoli è di %.2f
€.\nIl costo orario totale è di %.2f€.\n', costh_tot_personale, costh_tot_velivoli,
costh_tot);
```

```
% Vengono controllate le variabili terreno, proprieta, CO2
```

```
variabili = {terreno, proprieta, CO2};
```

```
nomi_variabili = {'terreno', 'proprieta', 'CO2'};
```

```
for j = 1:numel(variabili)
```

```
    for i = 1:length(variabili{j})
```

```
        if variabili{j}(i) < 0
```

```
            error(sprintf('Il valore di %s alla posizione %d non è valido.',
```

```
nomi_variabili{j}, i));
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
% Viene controllata la lunghezza dei vettori
```

```
if mod(length(terreno), 2) ~= 0
```

```
    error('Il vettore "terreno" deve avere una lunghezza pari.');
```

```
end
```

```
if mod(length(proprieta), 2) ~= 0
```

```
    error('Il vettore "proprieta" deve avere una lunghezza pari.');
```

```
end
```

```
if mod(length(CO2), 2) ~= 0
```

```
    error('Il vettore "CO2" deve avere una lunghezza pari.');
```

```
end
```

```
% Calcolo dei costi totali
```

```
% Inizializzazione delle somme
```

```
somma_terr = 0;
```

```
somma_prop = 0;
```

```
somma_CO2 = 0;
```

```
% Loop per moltiplicare i valori a coppie e sommare
```

```
for i = 1:2:length(terreno)
```

```
    switch terreno(i)
```

```
        case 1
```

```
            cost = 60000;
```

```
        case 2
```

```
            cost = 25500;
```

```
        case 3
```

```
            cost = 37000;
```

```
        case 4
```

```
            cost = 5000;
```

```
        otherwise
```

```

        error('Codice terreno non valido.');
```

end

```

    somma_terr = somma_terr + cost * terreno(i+1);
end

for i = 1:2:length(proprieta)
    switch proprieta(i)
        case 1
            cost = 947;
        case 2
            cost = 1197;
        case 3
            cost = 1431;
        case 4
            cost = 2419;
        otherwise
            error('Codice proprietà non valido.');
```

end

```

    somma_prop = somma_prop + cost * proprieta(i+1);
end

for i = 1:2:length(CO2)
    switch CO2(i)
        case 1
            cost = 0.8 * 0.5 * 81;
        case 2
            cost = 0.95 * 0.5 * 81;
        case 3
            cost = 0.6 * 0.5 * 81;
        case 4
            cost = 0.7 * 0.5 * 81;
        case 5
            cost = 0.8 * 0.5 * 81;
        case 6
            cost = 0.9 * 0.5 * 81;
        case 7
            cost = 1 * 0.5 * 81;
        case 8
            cost = 0.9 * 0.5 * 81;
        case 9
            cost = 0.6 * 0.5 * 81;
        otherwise
            error('Codice CO2 non valido.');
```

end

```

    somma_CO2 = somma_CO2 + cost * CO2(i+1);
end
```

% Visualizzazione dei costi totali

```
fprintf('Il costo dei danni al terreno sarà di %.2f€.\nIl costo dei danni alle proprietà  
sarà di %.2f€.\nIl costo dei danni dovuti all"emissione di CO2 sarà di %.2f€.\n',  
somma_terr, somma_prop, somma_CO2);
```

### *Letture di un file Excel*

```
clear all
close all
clc

% Specificare il percorso del file Excel contenente i dati di missione
fileExcel = 'C:\Users\Fabio\Desktop\Matlab';

% Vengono letti i dati dal file Excel
try
    [dati, foglio, raw] = xlsread('Mission Planner');
catch
    error('Errore durante la lettura del file Excel.');
```

end

```
% Vengono salvate le variabili in variabili MATLAB
try
    estensione = raw{1, 2}; % Modificare l'indice in base alla riga e colonna
corrispondente
    personale = raw{2, 2}; % Modificare l'indice in base alla riga e colonna
corrispondente
    mezzi = raw{3, 2}; % Modificare l'indice in base alla riga e colonna
corrispondente
    zona = raw{4, 2}; % Modificare l'indice in base alla riga e colonna
corrispondente
    vegetazione = raw{5, 2}; % Modificare l'indice in base alla riga e colonna
corrispondente
    stagione = raw{6, 2}; % Modificare l'indice in base alla riga e colonna
corrispondente
    CL415 = raw{7, 2}; % Modificare l'indice in base alla riga e colonna
corrispondente
    S64F = raw{8, 2}; % Modificare l'indice in base alla riga e colonna
corrispondente
    terreno = dati(9,:); % Modificare l'indice in base alla riga e colonna
corrispondente
    proprieta = dati(10,:); % Modificare l'indice in base alla riga e colonna
corrispondente
    CO2 = dati(11,:); % Modificare l'indice in base alla riga e colonna corrispondente

catch
    error('Errore nel salvataggio delle variabili MATLAB.');
```

end

```
% Vengono controllati i dati
i = 0;
% Viene controllato che i dati inseriti siano validi
while i == 0
    switch true
        case isnan(estensione) || estensione <= 0
```



```

    personale = round(-54.358 + 0.010*estensione + 22.529*zona +
13.973*vegetazione); % R^2 = 0.83
    end
end

% Scelta dell'equazione per ricavare il numero di CL415 necessari

% Viene verificato se il numero di CL415 è mancante
if isnan(CL415)
    % Se il numero di CL415 è mancante, si procede a stimarlo

    % Viene verificato se la stagione è disponibile
    if isnan(stagione) == 0
        % Se la stagione è disponibile, si utilizza un'equazione di regressione lineare
        % per calcolare il numero di CL415
        % Equazione ricavata tramite regressione lineare con variabili: estensione, zona,
vegetazione, stagione
        CL415 = round(-5.440 - 0.0002*estensione + 1.862*zona + 1.608*vegetazione -
0.109*stagione); % R^2 = 0.71
    else
        % Se la stagione non è disponibile, si utilizza un'altra equazione di regressione
lineare
        % per calcolare il numero di CL415
        % Equazione ricavata tramite regressione lineare con variabili: estensione, zona,
vegetazione
        CL415 = round(-5.584 - 0.0002*estensione + 1.818*zona + 1.586*vegetazione);
% R^2 = 0.71
    end
end

% Scelta dell'equazione per ricavare il numero di S64F necessari

% Viene verificato se il numero di S64F è mancante
if isnan(S64F)
    % Se il numero di S64F è mancante, si procede a stimarlo

    % Viene verificato se la stagione è disponibile
    if isnan(stagione) == 0
        % Se la stagione è disponibile, si utilizza un'equazione di regressione lineare
        % per calcolare il numero di S64F
        % Equazione ricavata tramite regressione lineare con variabili: estensione, zona,
vegetazione, stagione
        S64F = ceil(0.000117*estensione + 0.097759*zona + 0.383251*vegetazione -
0.1375*stagione); % R^2 = 0.65
    else
        % Se la stagione non è disponibile, si utilizza un'altra equazione di regressione
lineare
        % per calcolare il numero di S64F
        % Equazione ricavata tramite regressione lineare con variabili: estensione, zona,
vegetazione

```

```

        S64F = ceil(0.000128*estensione - 0.00441*zona + 0.31301*vegetazione); %
R^2 = 0.65
    end
end

% Viene verificato se CL415 o S64F sono maggiori di zero
if CL415 > 0 || S64F > 0
    % Se almeno uno tra CL415 e S64F è maggiore di zero, viene impostato il DOS a
    1
    DOS = 1;
else
    % Altrimenti, viene impostato il DOS a 0
    DOS = 0;
end

% Viene calcolato il numero di personale escluso il DOS
personale = personale - DOS;

% Viene calcolato il numero di caposquadra
crew_capo_sq = ceil(personale/4);

% Viene calcolato il numero di membri dell'equipaggio dei vigili del fuoco
% esclusi i caposquadra
crew_vvf = personale - crew_capo_sq;

% Chiedi all'utente di inserire una lettera tra A e E
nazione = input('Inserire ITA per la tariffa oraria italiana o EU per la tariffa oraria
media europea: ', 's');

% Creazione del nome del file in base alla lettera inserita
switch nazione
case 'ITA'
    % Costo orario per i vigili del fuoco
    costh_vvf = 23;

    % Costo orario per il caposquadra
    costh_capo_sq = 25;

    % Costo orario per il DOS
    costh_DOS = 27;
case 'EU'
    % Costo orario per i vigili del fuoco
    costh_vvf = 20;

    % Costo orario per il caposquadra
    costh_capo_sq = 22;

    % Costo orario per il DOS
    costh_DOS = 24;
otherwise

```

```

    error('Selezione non valida. Devi inserire un valore tra ITA e EU.');
```

end

```

% Costo orario per l'autobotte
costh_autobotte = 60;

% Costo totale per l'utilizzo di un CL415 (comprensivo di utilizzo e carburante)
costh_CL415 = 9144;

% Costo totale per l'utilizzo di un S64F (comprensivo di utilizzo e carburante)
costh_S64F = 5292;

% Viene calcolato il costo totale orario del personale e dei mezzi
costh_tot_personale = costh_vvf * crew_vvf + costh_capo_sq * crew_capo_sq +
costh_DOS * DOS + costh_autobotte * crew_capo_sq;

% Viene verificato se il numero di CL415 è negativo e lo imposta a 0 se lo è
if CL415 < 0
    CL415 = 0;
end

% Viene verificato se il numero di S64F è negativo e lo imposta a 0 se lo è
if S64F < 0
    S64F = 0;
end

% Viene calcolato il costo totale per i velivoli (CL415 e S64F)
costh_tot_velivoli = costh_CL415 * CL415 + costh_S64F * S64F;

% Viene calcolato il costo orario totale comprensivo di personale, attrezzature, mezzi
e velivoli
costh_tot = costh_tot_personale + costh_tot_velivoli;

% Viene visualizzato il costo orario del personale, dei velivoli e del costo orario
totale
fprintf('Il costo orario del personale è di %.2f€.\nIl costo orario dei velivoli è di %.2f
€.\nIl costo orario totale è di %.2f€.\n', costh_tot_personale, costh_tot_velivoli,
costh_tot);

% Vengono controllate le variabili terreno, proprieta, CO2
variabili = {terreno, proprieta, CO2};
nomi_variabili = {'terreno', 'proprieta', 'CO2'};

for j = 1:numel(variabili)
    for i = 1:length(variabili{j})
        if variabili{j}(i) < 0
            error(sprintf('Il valore di %s alla posizione %d non è valido.',
nomi_variabili{j}, i));
        end
    end
end
end
```

```

end

% Vengono rimossi i valori NaN
terreno = terreno(~isnan(terreno));
proprieta = proprieta(~isnan(proprieta));
CO2 = CO2(~isnan(CO2));

% Viene controllata la lunghezza dei vettori
if mod(length(terreno), 2) ~= 0
    error('Il vettore "terreno" deve avere una lunghezza pari.');
```

```
end

if mod(length(proprieta), 2) ~= 0
    error('Il vettore "proprieta" deve avere una lunghezza pari.');
```

```
end

if mod(length(CO2), 2) ~= 0
    error('Il vettore "CO2" deve avere una lunghezza pari.');
```

```
end

% Calcolo dei costi totali

% Inizializzazione delle somme
somma_terr = 0;
somma_prop = 0;
somma_CO2 = 0;

% Loop per moltiplicare i valori a coppie e sommare
for i = 1:2:length(terreno)
    switch terreno(i)
        case 1
            cost = 60000;
        case 2
            cost = 25500;
        case 3
            cost = 37000;
        case 4
            cost = 5000;
        otherwise
            error('Codice terreno non valido.');
```

```

    end
    somma_terr = somma_terr + cost * terreno(i+1);
end

for i = 1:2:length(proprieta)
    switch proprieta(i)
        case 1
            cost = 947;
        case 2

```

```

        cost = 1197;
    case 3
        cost = 1431;
    case 4
        cost = 2419;
    otherwise
        error('Codice proprietà non valido.');
```

end

```

    somma_prop = somma_prop + cost * proprieta(i+1);
end
```

```

for i = 1:2:length(CO2)
    switch CO2(i)
        case 1
            cost = 0.8 * 0.5 * 81;
        case 2
            cost = 0.95 * 0.5 * 81;
        case 3
            cost = 0.6 * 0.5 * 81;
        case 4
            cost = 0.7 * 0.5 * 81;
        case 5
            cost = 0.8 * 0.5 * 81;
        case 6
            cost = 0.9 * 0.5 * 81;
        case 7
            cost = 1 * 0.5 * 81;
        case 8
            cost = 0.9 * 0.5 * 81;
        case 9
            cost = 0.6 * 0.5 * 81;
        otherwise
            error('Codice CO2 non valido.');
```

end

```

    somma_CO2 = somma_CO2 + cost * CO2(i+1);
end
```

**% Visualizzazione dei costi totali**

```

fprintf('Il costo dei danni al terreno sarà di %.2f €. \n Il costo dei danni alle proprietà
sarà di %.2f €. \n Il costo dei danni dovuti all"emissione di CO2 sarà di %.2f €. \n',
somma_terr, somma_prop, somma_CO2);
```