

Articoli sul mondo della prevenzione incendi

## ALL'INTERNO

---

### Le scoperte del mese

Individuiamo le tematiche più interessanti

### Newsletter aziendale

Ogni mese ci trovate online sul sito di ProFire

### L'osservatore

Collaboriamo con professionisti, aziende e vigili del fuoco



## IA e prevenzione incendi

- di Ing. **Andrea Massimo Carbonaro**, **Maurizio Antonelli**

Le **procedure di prevenzione incendi supportate dall'intelligenza artificiale (IA)** rappresentano un'evoluzione significativa nella sicurezza antincendio. L'utilizzo dell'IA consente di migliorare sensibilmente la **prevenzione, il monitoraggio, la risposta e la gestione del rischio incendio**, sia in ambito urbano che industriale o forestale

L'intelligenza artificiale può rappresentare una svolta nella prevenzione e gestione degli incendi, ma non è una **soluzione autonoma**: deve essere integrata in un **sistema più ampio**, con **formazione del personale, manutenzione adeguata e supervisione umana**. Il successo dipende dalla **collaborazione tra ingegneri, vigili del fuoco, esperti di AI e legislatori**.

Negli ultimi anni si parla sempre più spesso di intelligenza artificiale (IA nel seguito) e della sua applicazione nei più svariati ambiti, come l'informatica, la ricerca, la finanza, la medicina e tanti altri ancora. Nonostante gli scorsi quindici anni abbiano visto un notevole sviluppo dell'IA nella realizzazione di assistenti vocali e chatbot (p. es. Alexa nel 2014 e ChatGPT nel 2022), lo studio, lo sviluppo e l'implementazione dell'IA in più applicazioni hanno origine negli anni cinquanta nel novecento: oggi stiamo vivendo una diffusione su larga scala dell'IA perché il suo impiego sia reso alla portata di chiunque (p. es. tramite chatbot), ma l'applicazione dell'IA da parte delle imprese rappresenta la principale occasione di sfruttamento e sviluppo di questa tecnologia.

In questo contesto, la prevenzione incendi sta già implementando l'IA in diverse soluzioni affrontando una trasformazione per l'applicazione di alcune misure antincendio e per la loro

efficacia. Per esempio, la lotta agli incendi boschivi sta implementando l'IA per rivelare precocemente i principi di incendio e anticipare le operazioni di spegnimento.

Sono in corso numerosi studi, alcuni in fase avanzata, che mirano a implementare l'IA nella prevenzione incendi, contribuendo al miglioramento della rivelazione, alla riduzione di falsi allarmi, all'ottimizzazione della manutenzione degli impianti, al supporto della gestione in fase di emergenza e non è da escludere che in futuro possano emergere ulteriori applicazioni. Tuttavia, il percorso dell'IA nel mondo della prevenzione incendi è ancora agli inizi: se da un lato nascono importanti opportunità tecnologiche e operative, dall'altro lato sono presenti dubbi legati all'affidabilità e alla mancanza di una normativa che fornisca indicazioni su come operare con l'IA, senza trascurare la necessità di garantire trasparenza e il controllo dell'essere umano sulle operazioni gestionali automatizzate dall'IA.

Questo FOCUS si pone l'obiettivo di presentare una panoramica sull'attuale implementazione dell'intelligenza artificiale nel settore della prevenzione incendi, analizzando le principali applicazioni sinora realizzate, i vantaggi che ne derivano e le criticità che sono emerse.





## Vantaggi e applicazioni dell'IA nella prevenzione incendi

L'implementazione dell'intelligenza artificiale nella prevenzione incendi è un'importante opportunità per migliorare le prestazioni degli impianti antincendio, ottimizzare la manutenzione degli stessi, o di quelli che sono rilevanti per la sicurezza antincendio, e per migliorare la gestione della sicurezza all'interno dell'attività, sia in fase di esercizio che di emergenza. L'IA, quindi, non sostituisce le tradizionali misure antincendio, ma le migliora aumentandone la capacità operativa.

Di seguito si vogliono analizzare i principali vantaggi che l'IA può apportare alle misure antincendio, alla luce di esperienze derivanti da implementazioni già avvenute e collaudate o di quelle prossime, in fase avanzata di sperimentazione.

### **Maggiore rapidità nella rivelazione degli incendi**

L'intelligenza artificiale consente di elaborare segnali e immagini provenienti da sensori ottici, termici e multispettrali con velocità e precisione superiori a quelle dei sistemi tradizionali. Gli algoritmi di visione artificiale, in particolare, sono in grado di riconoscere e interpretare in tempo reale una fiamma e il fumo che essa genera distinguendoli efficacemente poiché progettati per riconoscerne le caratteristiche distintive, anche quando si presentano condizioni ambientali sfavorevoli (p. es. scarsa illuminazione, interferenze visive, presenza di polveri o vapore etc.).

Un esempio di questa applicazione è fornito dai sistemi basati sui modelli YOLO (*You Only Look Once*), che elaborano i fotogrammi di una videocamera in una frazione di secondo individuando istantaneamente l'insorgenza di un principio di incendio. In un studio di A. Islam e M. I. Habib (2023), un sistema YOLOv5 ha raggiunto una velocità di elaborazione pari a 0,12 secondi per frame, con un'accuratezza media del 90,5% nella classificazione di eventi di incendio in ambienti industriali e forestali.

*“L'implementazione dell'intelligenza artificiale nella prevenzione incendi è un'importante opportunità per migliorare le prestazioni degli impianti antincendio, ottimizzare la manutenzione degli stessi, o di quelli che sono rilevanti per la sicurezza antincendio, e migliorare la gestione della sicurezza all'interno dell'attività, sia in fase di esercizio che di emergenza”*



La capacità di rivelazione fornita da questi sistemi è particolarmente utile in ambienti ampi o con alta densità di materiali combustibili, come magazzini logistici, archivi, data center o stabilimenti industriali, dove ogni secondo guadagnato nella rivelazione dell'incendio e nel conseguente allarme può fare la differenza.

## Riduzione dei falsi allarmi

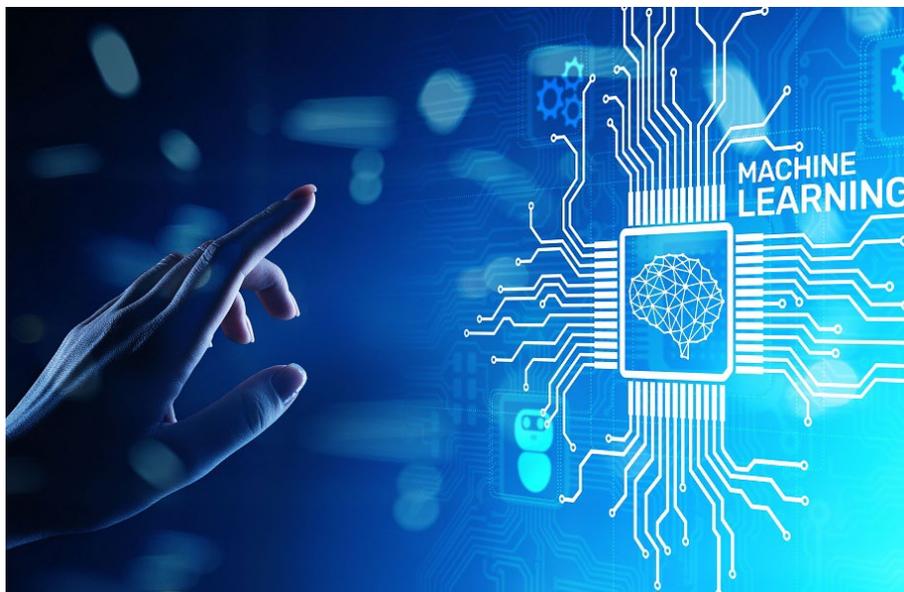
Un problema degli impianti di rivelazione fumo e calore è quello dei falsi allarmi, generati da fonti non pericolose (p. es. vapore acqueo, polveri, aerosol o attività lavorative tenute sotto controllo) per l'elevata sensibilità dei sensori.

L'impiego dell'intelligenza artificiale, in particolare dei modelli di apprendimento supervisionato, permette di addestrare i sistemi a riconoscere i segnali e discriminare quelli relativi a un incendio da quelli anomali dei falsi allarmi. In una ricerca condotta da Chitram e altri (2024), il confronto tra più modelli YOLO ha mostrato come l'impiego dell'IA consenta di ridurre il numero di falsi allarmi e i costi legati all'impiego degli impianti di rivelazione e allarme.

## IA predittiva e manutenzione predittiva

Tradizionalmente, la manutenzione degli impianti antincendio avviene con interventi programmati periodicamente oppure in seguito alla segnalazione di un guasto. Questo approccio, però, può risultare inefficace nel registrare deviazioni lente ma progressive dal normale funzionamento dell'impianto, portando col tempo a compromettere l'affidabilità dell'impianto e a non averlo a disposizione durante un incendio.

L'analisi predittiva svolta dall'intelligenza artificiale rappresenta un'occasione importante per migliorare la manutenzione degli impianti antincendio. L'IA predittiva impiega l'analisi statistica e l'apprendimento automatico (in inglese *machine learning*, abbreviato in ML) per raccogliere dati utili all'analisi, individuare i modelli più adatti a descrivere il sistema che sta esaminando e prevedere i comportamenti futuri. Con gli impianti antincendio, quindi, si può adottare la manutenzione predittiva: l'IA predittiva, monitorando i dati che raccoglie dagli impianti antincendio (p. es. rilevatori di fumo degli IRAI), individua il rischio di guasto in modo che gli stessi possano essere sottoposti a manutenzione ed evitare problemi in caso di incendio.



### *Machine learning*

*"Branca dell'Intelligenza Artificiale che si occupa dello sviluppo di algoritmi e tecniche finalizzate all'apprendimento automatico mediante la statistica computazionale e l'ottimizzazione matematica"*



## Supporto decisionale in tempo reale

L'intelligenza artificiale può essere impiegata anche per fornire supporto decisionale durante la fase di emergenza, integrandosi con i sistemi di gestione di un edificio (*Building Information Modeling*, BIM) e con i modelli digitali dell'ambiente (*Digital Twin*).

In caso di incendio l'IA può analizzare i dati (p. es. posizione e dinamica del fumo, stato dei compartimenti antincendio, percorsi liberi per l'esodo) in tempo reale e fornire informazioni operative agli addetti antincendio o alle squadre di soccorso dei vigili del fuoco. Questa applicazione risulta particolare efficace per contesti complessi come gli ospedali, i centri commerciali, gli stabilimenti industriali di grandi dimensioni e tutte quelle attività che hanno un elevato numero di occupanti: è possibile, infatti, ridurre i tempi di evacuazione, ottimizzare il coordinamento degli addetti e delle squadre di soccorso e fornire indicazioni in tempo reale su schermi eventualmente installati all'interno dell'attività.

Si tratta di un'applicazione ancora in fase di sviluppo, ma, in prospettiva, l'adozione combinata dell'IA e delle tecnologie BIM e *Digital Twin* può portare a un enorme vantaggio in termini di sicurezza antincendio.

## Casi di studio

### Rivelazione di incendi boschivi con droni e sensori IA

Gli incendi boschivi rappresentano un problema grave per il pianeta: il fuoco si propaga divorando la vegetazione, provocando enormi danni ambientali, e, in alcuni casi, arriva anche a minacciare gli insediamenti urbani. Le vaste superfici boschive da coprire rappresentano una difficoltà per l'attuazione di una sorveglianza continua e i cambiamenti climatici ogni anno favoriscono sempre più lo sviluppo di incendi boschivi: per tali ragioni si è reso urgente lo sviluppo di sistemi in grado di rivelare gli incendi nelle loro fasi iniziali, durante la combustione latente.



## Digital Twin

Un gemello digitale, in inglese *Digital Twin*, è la rappresentazione virtuale di un oggetto o un sistema fisico, realizzata per semplificare e migliorare la gestione dell'oggetto che si sta rappresentando.

I *Digital Twin* sono realizzati tramite dati, raccolti da sensori e altri strumenti di misura, che vengono messi insieme per realizzare la copia virtuale dell'entità fisica che si vuole gestire. Non si tratta, però, di mera gestione: possono essere svolte anche simulazioni sul gemello digitale per verificare il comportamento dell'oggetto fisico in determinate condizioni d'interesse.

*“Gli incendi boschivi rappresentano un problema grave per il pianeta: il fuoco si propaga divorando la vegetazione, provocando enormi danni ambientali, e, in alcuni casi, arriva anche a minacciare gli insediamenti urbani”*



La necessità di individuare gli incendi boschivi sul nascere ha portato a sperimentare l'implementazione dell'intelligenza artificiale per la prevenzione di questa categoria di incendi: è così che l'azienda tedesca Dryad Networks ha presentato nel marzo 2025 il prototipo di un drone, Silvaguard, che operando in sinergia con un altro prodotto della stessa azienda, Silvanet, è in grado di rivelare gli incendi boschivi, localizzarli e monitorarli. Il sistema realizzato da Silvanet e Silvaguard combina una rete capillare di sensori in grado di rilevare i gas prodotti dalla combustione con droni autonomi capaci di monitorare lo stato di un incendio.

Silvanet rappresenta già singolarmente un sistema ben articolato: si tratta, infatti, di una rete capillare di sensori in grado di rilevare le condizioni ambientali e la concentrazione di diversi gas prodotti dalla combustione (p. es. anidride carbonica e monossido di carbonio). I sensori, alimentati a energia solare, sono installati sugli alberi e sono collegati, tramite un sistema di comunicazione ad ampio raggio, a una piattaforma centrale che elabora i dati in tempo reale e, implementando l'IA, riesce a individuare le variazioni dei parametri ambientali dovute alla presenza di un principio d'incendio.



*I sensori di Silvanet sono posizionati sugli alberi e si alimentano a energia solare*



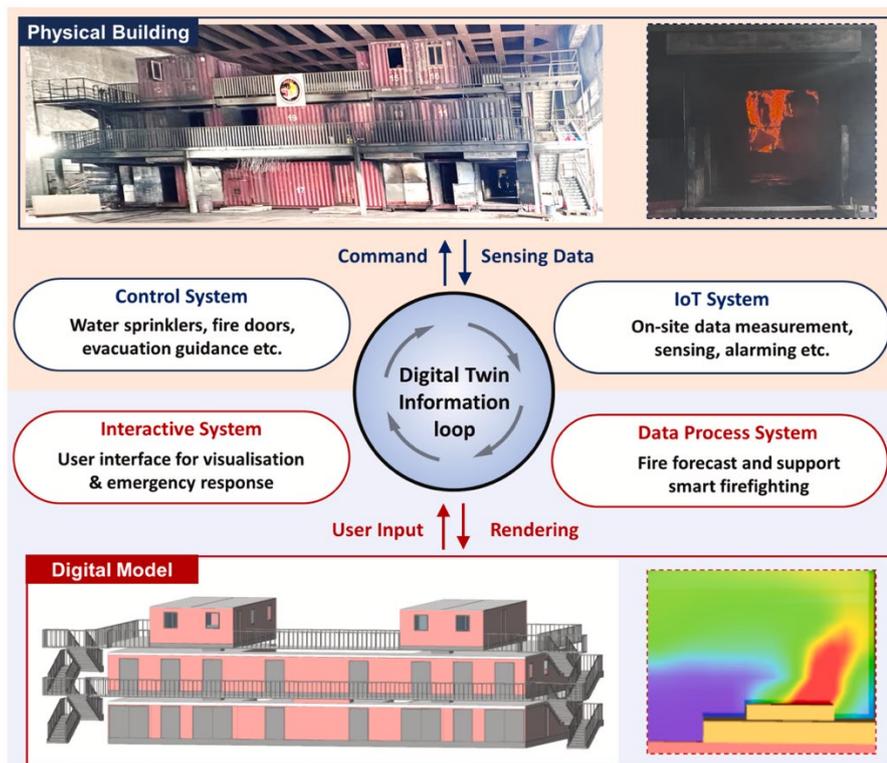
Quando i sensori rivelano un possibile principio di incendio la piattaforma centrale di Silvanet invia un segnale a Silvaguard: così il drone, alloggiato all'interno di una stazione di ricarica alimentata a energia solare, si dirige autonomamente verso il punto dove i dati suggeriscono la presenza dell'incendio. Il drone è munito di telecamere che registrano le immagini della zona, in maniera tale che l'IA al suo interno le analizzi e possa confermare o smentire la presenza dell'incendio; in caso affermativo, dà l'allarme alle centrali operative dei Vigili del fuoco trasmettendo le coordinate geografiche e le immagini che ha registrato.

La combinazione di Silvaguard e Silvanet consente di ridurre i falsi allarmi, anticipare l'intervento delle squadre di soccorso fornendo informazioni utili sull'incendio e ottimizzare l'impiego delle risorse per il controllo dell'incendio. In prospettiva, questa soluzione può risultare utile anche in altri contesti, nei quali la rapidità della rivelazione e la precisione delle informazioni risultano decisive: per esempio, le attività di stoccaggio e smaltimento dei rifiuti o gli impianti fotovoltaici nelle aree agricole.

## Digital Twin e IA per la gestione della sicurezza antincendio

Con l'avanzare della digitalizzazione degli edifici il concetto di *Digital Twin* sta trovando applicazioni sempre più concrete e la prevenzione incendi può solo beneficiarne. L'integrazione di modelli predittivi basati sull'intelligenza artificiale e sulle reti sensoriali IoT (*Internet of Things*, dispositivi intelligenti che rilevano dati dall'ambiente circostante e li trasmettono a sistemi centralizzati) permette, infatti, di prevedere l'evoluzione di un incendio nella sua fase iniziale, fornendo supporto decisionale durante la gestione dell'emergenza.

*"Il drone è munito di telecamere che registrano le immagini della zona, in maniera tale che l'IA al suo interno le analizzi e possa confermare o smentire la presenza dell'incendio"*



Uno studio rilevante per questa applicazione è stato condotto dal *Department of Building Services Engineering* della *Hong Kong Polytechnic University*: i ricercatori hanno sviluppato un modello ADLSTM-Fire (*AutoDecoder Long Short-term Memory Neural Network*) per elaborare e analizzare lo sviluppo nel tempo di dati ambientali (p. es. temperatura, fumo, umidità) rilevati da una rete di sensori distribuita all'interno di un edificio.

Il sistema sviluppato dai ricercatori sfrutta il modello ADLSTM-Fire per ricostruire in tempo reale l'evoluzione dell'incendio negli ambienti grazie alla ricostruzione digitale di un edificio, con circa 60 secondi di anticipo. Questo tempo di vantaggio sull'incendio è estremamente prezioso durante la fase di emergenza: infatti, consente di regolare in modo adattivo gli impianti di protezione attiva e di guidare in tempo reale l'evacuazione degli occupanti verso il luogo sicuro più vicino.

L'adozione di un sistema simile permette di sviluppare la gestione dell'emergenza secondo una logica proattiva e adattiva anziché reattiva. In ambienti con un elevato numero di occupanti (p. es. ospedali, centri commerciali, uffici, aeroporti) la combinazione del *Digital Twin* e dell'IA può offrire un enorme vantaggio ai sistemi di gestione della sicurezza antincendio, favorendo la presa di decisioni in tempo reale durante le emergenze e l'intervento delle squadre di soccorso.

Questo sistema offre vantaggi significativi anche per la manutenzione degli impianti e per la predisposizione dei piani di emergenza: è possibile, infatti, realizzare scenari d'incendio virtuali per verificare l'efficacia delle misure antincendio presenti, potenziando ciò che già si attua con l'ingegneria della sicurezza antincendio, oppure simulare modifiche progettuali e valutare come queste possono integrarsi all'interno dell'attività.

Queste sono tecnologie in fase di sperimentazione avanzata e i risultati sinora ottenuti indicano chiaramente che l'applicazione combinata del *Digital Twin* e dell'IA porterà a un'evoluzione della gestione della sicurezza antincendio verso un sistema di gestione ancora più dinamico e adattivo.

## Criticità e limiti nell'adozione dell'intelligenza artificiale

Sebbene le applicazioni dell'intelligenza artificiale nella prevenzione incendi stiano dimostrando un potenziale importante, sono presenti delle criticità a riguardo. Di seguito si esaminano i principali problemi e limiti sinora emersi.

### Qualità e disponibilità dei dati

Il primo ostacolo riguarda la disponibilità di dati adeguati all'addestramento e alla validazione dei modelli di intelligenza artificiale. Gli algoritmi di *deep learning*, in particolare, richiedono grandi quantità di dati etichettati, variabili e rappresentativi delle condizioni reali di

incendio. Nel mondo della prevenzione incendi, però, le immagini e i dati ambientali relativi agli incendi sono spesso limitati, difficili da reperire e di qualità non adeguata all'addestramento dell'IA.

Questo problema può portare a modelli poco adattabili, validi solo per gli scenari su cui sono stati addestrati. Ad esempio, un sistema di visione artificiale per la rivelazione degli incendi potrebbe funzionare bene in ambienti industriali adeguatamente illuminati, ma fallire in condizioni di nebbia o bassa visibilità. Analogamente, i sistemi predittivi basati sull'IA possono risultare poco efficaci in assenza di una base storica di informazioni che sia solida, come può accadere per le attività di nuova realizzazione.

## Robustezza e affidabilità degli algoritmi

Anche nei casi in cui l'addestramento sia svolto su una base di dati consistente, i modelli di intelligenza artificiale non sono immuni da errori: si possono riscontrare falsi positivi (p. es. fumo confuso con vapore acqueo) e falsi negativi (p. es. fiamme mascherate da ostacoli visivi). Inoltre, la scarsa trasparenza riguardo il funzionamento dei modelli per l'acquisizione degli *input* e la produzione degli *output* rende difficile interpretare le decisioni degli algoritmi, promuovendo diffidenza riguardo la sua affidabilità.

In ambiti delicati come la prevenzione incendi questa mancanza di affidabilità rappresenta un ostacolo all'adozione su larga scala. L'algoritmo non deve soltanto funzionare, ma deve poter essere soggetto ad *audit* e deve poter essere validato secondo criteri oggettivi; inoltre, i professionisti antincendio devono poterlo comprendere e interpretare per gestirne le operazioni.

## Aspetti normativi

Attualmente le normative nazionali e internazionali in materia di prevenzione incendi non contemplano in modo esplicito l'impiego di sistemi basati sull'intelligenza artificiale. Il Codice di prevenzione incendi, per esempio, non fornisce riferimenti a metodi di rivelazione o di supporto decisionale che implicino l'adozione di modelli predittivi, l'apprendimento automatico o le reti neurali. Ne segue che l'introduzione dell'IA in un progetto di prevenzione incendi richiede il ricorso a soluzioni alternative e, in mancanza di un supporto normativo, la valutazione del progetto da parte dei Vigili del fuoco potrebbe portare al rifiuto di questa soluzione progettuale.

## Aspetti etici e responsabilità

Infine, si pone il tema della responsabilità giuridica in caso di errore o malfunzionamento. Durante un'emergenza, chi è responsabile se un sistema di intelligenza artificiale non rivela correttamente un principio di incendio? La società che ha sviluppato il modello, il professionista antincendio che lo ha integrato nel progetto dell'attività, o il titolare che ne ha accettato l'implementazione? Queste domande portano a interrogarsi su aspetti legali che richiedono un aggiornamento del quadro normativo e, almeno, la definizione di linee guida riguardo l'azione di questi sistemi.

*“Durante un'emergenza, chi è responsabile se un sistema di intelligenza artificiale non rivela correttamente un principio di incendio? La società che ha sviluppato il modello, il professionista antincendio che lo ha integrato nel progetto dell'attività, o il titolare che ne ha accettato*

*l'implementazione?”*

Inoltre, l'impiego dell'IA in ambienti sorvegliati solleva questioni legate alla privacy, alla protezione dei dati personali e al trattamento delle immagini, che devono essere affrontate secondo i principi del RGPD (Regolamento generale sulla protezione dei dati).

direzione@pro-fire.org



## Conclusioni

L'intelligenza artificiale sta progressivamente ridefinendo il modo in cui affrontiamo ogni aspetto della nostra vita, compresa la prevenzione incendi. Dai sistemi di rivelazione automatica ai modelli predittivi per la manutenzione e l'evacuazione assistita, passando per l'integrazione con la tecnologia *Digital Twin* e i droni, le applicazioni emergenti delineano uno scenario in cui l'IA diventa parte integrante della sicurezza antincendio.

Nel FOCUS sono state analizzate le principali potenzialità offerte dall'implementazione dell'IA nella prevenzione incendi, illustrando come possano migliorare la rivelazione incendi e la gestione della sicurezza antincendio. Non vanno trascurate, però, le criticità emerse per l'impiego di questa tecnologia, in modo particolare la mancanza di un base normativa che regolamenti l'adozione dell'IA in modo sicuro e affidabile.

L'intelligenza artificiale porterà a un'evoluzione della prevenzione incendi, ponendosi come una soluzione in grado di aumentare il livello di sicurezza delle attività: andrà ad affiancarsi all'ingegneria della sicurezza antincendio e migliorerà i sistemi di gestione di sicurezza così come l'affidabilità degli impianti di protezione attiva. In questo contesto, i professionisti antincendio dovranno affrontare una formazione mirata e acquisire le capacità necessarie per implementare l'IA nella progettazione, come già fatto per l'approccio ingegneristico.

## Bibliografia

Almatared M., Liu H., Abudayyeh O., Hakim O. e Sulaiman M., Digital-Twin-Based Fire Safety Management Framework for Smart Buildings, *Buildings* **2024**, 14, 4

Chitram S., Kumar S. e Thenmalar S., Enhancing Fire and Smoke Detection Using Deep Learning Techniques, *Eng. Proc.*, **2024**, 62, 7

Islam A. e Imtiaz Habib M., Fire Detection From Image and Video Using YOLO<sub>v5</sub>, arXiv, 2310.06351 (**2023**)

Jones B., Dryad Networks Demonstrates First Fully Functional Drone Prototype for Detecting, Locating and Monitoring Wildfires. Dryad, <https://www.dryad.net/post/dryad-networks-demonstrates-drone-for-monitoring-wildfires> **2025**

Park J. e Kang D., Artificial Intelligence and Smart Technologies in Safety Management: A Comprehensive Analysis Across Multiple Industries, *Appl. Sci.* **2024**, 14, 11934

Sousa Tomé E., Ribeiro R. P., Dutra I. e Rodrigues A., An Online Anomaly Detection Approach for Fault Detection on Fire Alarm Systems, *Sensor* **2023**, 23, 4902

Xie W., Zeng Y., Zhang X., Wong H. Y., Zhang T., Wang Z., Wu X., Shi J., Huang X., Xiao F. e Usmani A., AIoT-powered building digital twin for smart firefighting and super real-time fire forecast, *Adv. Eng. Inform.* 65 (**2025**) 103117