

VALUTAZIONE DELLE RESPONSABILITÀ DI UN INCENDIO: UN CASO-STUDIO

Franco Battaglia

Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”

Università di Modena

fbattaglia@unimo.it

Dopo una breve presentazione di un metodo che, ancorché intuitivo, è però errato, l'articolo offre una proposta di approccio fondato sulla teoria della probabilità in ordine alla valutazione delle responsabilità di un incendio in un fienile.



Evaluation of Responsibility of a Fire: a Case-Study

This article provides a probabilistic approach to accurately evaluate the responsibility of a fire in a barn, and compares it with an erroneous approach founded on the preconceived misconceptions that arise upon relying on the usually misleading common sense.

Il caso

Nel primo pomeriggio di un giorno di agosto 2012, in località O., la ditta del signor SS si trovava a riparare il tetto, crollato nel gennaio precedente sotto il peso della neve, del piccolo fienile del signor NZ. Con poco giudizio, coi piedi piantati sul fieno, SS mette in azione una smerigliatrice. A distanza di 3-4 metri comincia a divampare un incendio che si estende al grande fienile confinante del signor MZ. Questi intenta una causa contro SS, giacché l'apparenza delle cose è che una scintilla del *flex* - così risulta agli atti che riportano le testimonianze dei presenti - sia stata la causa dell'incendio.

Purtroppo, in questa, come in molte altre cose, l'apparenza inganna. Fermo restando il comportamento sconsiderato del loro assistito, i periti di parte di SS avanzano le osservazioni che seguono:

- 1) le scintille da un *flex* già dopo pochi decimetri sono sufficientemente fredde da renderle improbabili fonti puntuali di calore dopo un volo di 3-4 metri: si pensi che chi lavora con il *flex* a volte - sbagliando - non si cura neanche di indossare guanti e/o occhiali protettivi (Fig. 1);



Fig. 1 - Comportamenti poco corretti di lavoro

- 2) il fieno, che era tenuto all'aperto, doveva essere sufficientemente umido da diminuirne notevolmente la capacità d'incendiarsi per contatto da fonte puntuale; per esempio, quello ai piedi di SS, colpito da scintille più abbondanti e più calde, non subì alcun incendio;
- 3) tenuto all'aperto, quel fieno era ben predisposto all'autocombustione.

In buona sostanza, si chiese un'indagine per stabilire la causa dell'incendio. Il Giudice predispose quindi una Ctu, ponendo il seguente quesito: «Dica il Ctu quali sono le possibili cause dell'incendio».

Un approccio superficiale

La domanda del Giudice presuppone che le cause dell'incendio non fossero identificabili con certezza, altrimenti, vi fosse stata certezza, la domanda, e la stessa Ctu, non avrebbero avuto ragion d'essere. In termini formali, la domanda del Giudice può rappresentarsi come segue.

Sia I l'evento "incendio". E sia $X=?$ la causa incognita dello stesso. Detta $P(X=?|I)$ la probabilità (condizionata) che, posto che l'incendio v'è stato, esso sia stato causato dall'evento X , dica il Ctu cosa è $X=?$ nell'uguaglianza

$$P(X=?|I)=1 \quad (1)$$

Cioè, dica il Ctu qual è la causa certa (con probabilità uguale a 1) dell'incendio.

Appare evidente che la domanda è oltremodo impegnativa. Posto, infatti, che non v'è un filmato di cosa realmente accadde quel giorno, assegnare un valore alla quantità X nell'eq. (1) comporta, da un lato, una sua ferrea e quasi inoppugnabile identificazione e, dall'altro, comporta l'esclusione, altrettanto ferrea e inoppugnabile, di altre possibili ragionevoli cause. Per esempio, bisognerebbe escludere con probabilità 1 l'autocombustione. Inoltre, i signori NZ e MZ - con comportamento non meno sconsiderato di quello tenuto dal signor SS - custodivano nei propri fienili fusti di benzina e vetusti attrezzi agricoli alimentati a benzina. Non sarebbe da escludere, quindi, che le scintille del *flex* abbiano incendiato non il fieno ma vapori di benzina, circostanza più compatibile con l'incendio divampato a qualche metro di distanza.

In un primo momento sembrava che la valutazione probabilistica del caso fosse impossibile, e si ritenne che la causa dell'incendio fosse la scintilla sul fieno, circostanza «evidente anche all'uomo della strada», si disse. Ma l'uomo «della strada» è lo stesso secondo cui la Terra è al centro dell'Universo con il Sole che le gira intorno!

La fallacia della prima impressione emerge nel momento stesso in cui si cercò di motivarla con argomentazioni più solide di quella dell'uomo «della strada». Per farlo bisognava esercitare non poca pseudoscienza, cioè la pratica di sistematicamente ignorare ogni elemento contrario alla tesi e esaltare o inventarsi elementi a favore. Per esempio, s'ipotizzò che «il fieno aveva massima probabilità d'incendiarsi (cioè probabilità 1) perché secco a causa del forte caldo di quell'estate». Invece, esattamente la sera precedente l'incendio, v'era stata una forte pioggia durata alcune ore: tutt'altro che secco, il fieno era addirittura fradicio!

Per motivare come sarebbe stato possibile che una scintilla fosse ancora calda dopo un volo di 3-4 metri, s'invocò un'illusione collettiva di tutti i presenti, per cui si disse che l'incendio, da tutti dichiarato divampare ad oltre 3 metri di distanza da SS, era in realtà divampato ai piedi di questi, che però, oltre a negare la circostanza, non riportò alcuna ustione.

Avendo assegnato certezza alla scintilla quale causa dell'incendio, automaticamente si assegna certezza all'esclusione di altre possibili cause. Per esempio, l'autocombustione. Essa fu esclusa con le due seguenti motivazioni: a) il signor NZ è un contadino anziano, e quindi esperto e coscienzioso, e mai avrebbe messo il proprio fieno nelle condizioni di subire autocombustione e b) il fenomeno dell'autocombustione è poco reale ed è per lo più invocato per frodare le assicurazioni.

L'affermazione a) era sconfessata dal fatto che NZ, ancorché anziano ed esperto, non era sufficientemente coscienzioso dall'astenersi di custodire fusti di benzina nel proprio fienile.

L'affermazione b) appariva un parere personale, non era dimostrata, e fu sconfessata dal fatto che proprio nei mesi di quell'estate occorsero almeno una dozzina di autocombustioni in fienili.

Pur non essendo un fenomeno di tutti i giorni - anzi, è essa, in generale, un evento poco probabile - per certi materiali l'autocombustione è comunque più frequente di quanto si creda. Il fieno è tra i più soggetti e anche fra i più studiati in questo senso. Il rischio d'incendio è da prendere in considerazione se il fieno è sufficientemente umido al proprio interno. In genere sono abbastanza umidi per indurre autocombustione i fieni raccolti da non più di sei settimane, ma naturalmente anche quelli meno recenti possono venir inumiditi nuovamente se tenuti in ambienti non perfettamente riparati da pioggia o rugiada.

Le cellule del fieno fresco rimangono vive per un certo periodo: in perfetta analogia con i fiori recisi che, se messi in un vaso d'acqua, resistono anche giorni prima d'appassire. Le cellule del fieno continuano a respirare, cioè a ossidare carboidrati (zuccheri già presenti o derivati dalla degradazione della cellulosa) per produrre energia, che in parte si manifesta come calore. L'umidità favorisce lo sviluppo di batteri mesofili (cioè adatti a temperature moderate), i quali con il loro metabolismo producono nuovo calore facendo aumentare la temperatura, che localmente può raggiungere anche i 50 °C. In queste condizioni i batteri mesofili vengono soppiantati da altri batteri, detti termofili, cioè adatti al caldo. Moltiplicandosi e svolgendo le loro funzioni vitali, essi possono innalzare la temperatura fino a 75-85 °C. Anche l'eventuale sviluppo di muffe può contribuire a questo risultato. Il metabolismo microbico produce sostanze chimiche facilmente ossidabili; queste, reagendo con l'ossigeno dell'aria innalzano ancor più la temperatura, realizzando una sorta di eventi a valanga, fino ad arrivare al punto d'accensione spontanea di gas combustibili che si sono formati nel frattempo, dalla quale poi si sviluppa l'incendio.

Non è neanche difficile rendersi conto della contraddizione logica nel sostenere, da un lato, l'impossibilità di fornire valutazioni probabilistiche su un evento e, dall'altro, di proporre su esso giudizi di certezza. In particolare, è come se si fosse dichiarato:

$$p(S|I) = 1 \quad (2a)$$

e

$$p(A|I) = p(B|I) = \dots = 0, \quad (2b)$$

ove *S* sta per "scintilla", *A* sta per "autocombustione", *B* sta per "vapori di benzina", etc. Tutte affermazioni estremamente impegnative da dimostrare.

Invece, non esistono eventi sui quali non è possibile esprimere giudizi di probabilità e il giudizio di certezza altro non è che un caso limite di giudizio di probabilità.

Nel caso specifico, l'unico approccio tecnico-scientifico possibile era pertanto quello di formulare giudizi quantitativi di probabilità sulle possibili cause, dopo avere individuato quelle ragionevoli. Ecco come.

Richiami di probabilità

Giova richiamare alcuni elementi-base di teoria della probabilità. Intanto, bisogna essere consapevoli che il giudizio di probabilità di un evento è un giudizio soggettivo ed è funzione delle informazioni che possiede chi quel giudizio formula. Potremmo identificare il valore di probabilità *p* di un evento col denaro che siamo disposti a puntare sul suo verificarsi perdendo la somma puntata se l'evento non si verifica e ricavando 1 euro se si verifica, con la condizione che si accetta anche di puntare $1 - p$ sul non verificarsi dell'evento.

La probabilità *p* di un evento è quindi un numero reale compreso fra 0 e 1, la probabilità che accada uno di due eventi mutuamente esclusivi è la somma delle probabilità dei due eventi e, infine, la probabilità di tutti gli eventi possibili mutuamente esclusivi deve sommare a 1.

Se, poi, B è un evento con probabilità $p(B)$ non nulla, e $p(A)$ è la probabilità del generico evento A , la probabilità di quest'ultimo evento se si sa che l'evento B è occorso è indicata con $p(A|B)$ (si legga *p-di-A-dato-B*) e si chiama *probabilità condizionata*. È evidente che, in generale, $p(A|B) \neq p(A)$ (l'uguaglianza vale se A è indipendente da B).

Ad esempio, lanciando un dado che sia un cubo perfetto e non truccato, con le facce numerate da 1 a 6, alla probabilità che esca il numero 2 assegneremmo il valore $p(2) = 1/6$; mentre se sappiamo che è uscita una faccia pari, allora assegneremmo $p(2|pari) = 1/3$, che è diverso da $p(2)$. Un altro divertente esempio è questo. Scegliamo un individuo a caso (il primo che passa per strada) e lo sottoponiamo ad un test clinico per una patologia; il test, se eseguito su un individuo sano, ha il 95% di probabilità di dare il risultato corretto, mentre fornisce falsi positivi con probabilità del 5%. L'individuo scelto risulta positivo al test. La probabilità da assegnare al suo essere malato è quindi 0,95. Supponiamo ora di conoscere l'informazione aggiuntiva che la malattia in questione è il vaiolo. Automaticamente siamo costretti a modificare il nostro giudizio di probabilità: dobbiamo assegnare il valore zero perché il vaiolo è scomparso dalla faccia della Terra!

I due esempi ben illustrano come il giudizio di probabilità è soggettivo e cambia in funzione di ciò che conosce la persona che è chiamata a dichiarare un valore di probabilità. A questo proposito esiste una fondamentale formula del calcolo delle probabilità, la formula di Bayes, e cioè:

$$p(A|B) = [(p(B|A)p(A))/p(B)] \quad (3)$$

utilizzando la quale il lettore può calcolare i valori delle probabilità per i due esempi appena proposti.

L'approccio corretto

Piuttosto che con l'impegnativa relazione (1), conviene formulare la domanda del Giudice in termini simbolici procedendo come segue.

Step 1

Individuare possibili *ragionevoli* cause. Ne furono individuate almeno due:

- i) le scintille dal *flex* incendiano il fieno: la ragionevolezza di questa possibile causa è evidente e negata da nessuno. Sia quindi $p(S|I)$ la probabilità condizionata che, posto che l'incendio v'è stato, esso sia stato causato dal contatto di una scintilla calda con il fieno;
- ii) autocombustione del fieno: la sua ragionevolezza sorge dal fatto che fenomeni di autocombustione in fienili occorrono, come ci dicono le cronache; e come avvertono tutti i documenti sui rischi d'incendio in agricoltura, che, lungi dal considerarla fenomeno fittizio volto a frodare le assicurazioni, pongono l'autocombustione tra le principali cause d'incendio in fienili.

Sia quindi $p(A|I)$ la probabilità condizionata che, posto che l'incendio v'è stato, esso sia stato causato da autocombustione. Per economia di ragionamento tralasciamo la possibilità che la scintilla abbia incendiato vapori di benzina.

Step 2

Usiamo la formula di Bayes, e scriviamo:

$$p(A|I) = [(p(I|A)p(A))/p(I)] \quad (4)$$

e

$$p(S|I) = [(p(I|S)p(S))/p(I)] \quad (5)$$

Calcoliamo ora il rapporto delle due precedenti relazioni. Otteniamo:

$$p(A|I)/p(S|I) = p(I|A)p(A)/p(I|S)p(S) \quad (6)$$

Nella frazione di destra la quantità $p(I|A)$ rappresenta la probabilità che se avviene autocombustione allora si ha incendio. Ovviamente, questa quantità vale 1: $p(I|A)=1$.

La quantità $p(S)$ è la probabilità che effettivamente una fonte puntuale di calore abbia avuto impatto sul fieno. Come abbiamo anticipato, che una scintilla dal *flex*, dopo un volo di 3-4 metri, abbia una temperatura superiore a quella d'incendio del fieno è poco credibile. Anzi, con un po' di pazienza, facendo delle ragionevoli assunzioni sulle dimensioni della scintilla, e usando alcuni dati - come la capacità termica del materiale (nel caso specifico, acciaio) di cui essa è composta e la temperatura al momento della sua produzione - si può calcolare che per incendiare del fieno secco a 3-4 metri di distanza, la scintilla avrebbe dovuto essere prodotta alla temperatura di 4.000 °C. Tuttavia, anche ora, per economia di ragionamento, supponiamo che sia $p(S)=1$.

In questo modo l'equazione (6) si semplifica notevolmente:

$$p(A|I)/p(S|I) = p(A)/p(I|S) \quad (7)$$

Quindi, il rapporto tra le richieste dal Giudice probabilità "a posteriori" che, posto che l'incendio v'è stato, esso sia stato causato da autocombustione o da fonte puntuale di calore, è uguale al rapporto tra la probabilità "a priori" che quel fieno avesse di subire autocombustione, $p(A)$, e la probabilità "a priori" di incendiarsi per contatto con fonte puntuale di calore, $p(I|S)$.

Si deve notare che, fino ad ora, non vi sono elementi, diciamo così, "di parte". È stato solo trasformato un rapporto tra due quantità ignote (le quantità richieste dal Giudice) nel rapporto tra due quantità che, invece, è possibile valutare. E questo è il terzo ed ultimo passo.



Step 3

Esso consiste nel valutare le quantità a destra dell'eq. (7) usando il documento (che nel seguito chiameremo CFS) il cui frontespizio è in Fig. 2 [1].

Fig. 2 - Frontespizio del CFS

In questo prezioso volume vi sono gli elementi necessari per valutare, in funzione delle condizioni microclimatiche (temperatura, umidità dell'aria, velocità del vento) e dell'umidità del materiale combustibile vegetale morto, quali sono le probabilità di autocombustione dello stesso e di suo incendio per contatto con fonte puntuale di calore (una scintilla, una sigaretta accesa, etc.). Il volume è in dotazione dei VVF e delle Guardie Forestali (Corpo confluito dal 2017 nel Comando Unità Carabinieri per la tutela forestale, ambientale e agroalimentare), che se ne servono per stabilire il grado d'allerta da tenere nello svolgimento del proprio lavoro per la sicurezza dei boschi e dei parchi. Il metodo proposto dal manuale può applicarsi anche alle balle di fieno dei fienili e non solo ai boschi e ai parchi: in verità nel manuale si tratta, appunto, di «materiale vegetale morto».

Bisogna naturalmente essere consapevoli che le valutazioni che si deducono dall'applicare il CFS servono a dare una indicazione delle possibili cause dell'incendio in questione. Esse sono quanto di meglio a nostra disposizione e, magari, seguendo le direttive del CFS, risulterà che il rapporto (7) vale quasi zero e, in questo caso, l'uomo «della strada» avrebbe azzeccato fin dall'inizio. Ma procediamo con la valutazione delle probabilità $p(A)$ e $p(I|S)$ a membro destro dell'eq. (7).

Autocombustione

Per la probabilità assoluta di autocombustione, in mancanza di meglio, ci si può servire dell'Indice di Angström, di cui al cap. 6, *Gli indici di pericolo* (sez. 2.1.2) del CFS. L'Indice di Angström stima la probabilità di accensione da cause naturali (ad esempio autocombustione) di combustibile vegetale morto, in funzione dell'umidità relativa dell'aria, R , e della temperatura, T . L'Indice di Angström, i , è definito come: $i=R/20 + (27-T)/10$, dove R è l'umidità relativa dell'aria e T la temperatura (in gradi Celsius). Si ha insorgenza di fuoco che è "molto probabile" se $i < 2$, "favorevole" se $2 < i < 2,5$, "sfavorevole" se $2,5 < i < 4$ e "poco probabile" se $i > 4$. I giudizi sono qualitativi ma, anche qui in mancanza di meglio, possiamo ragionevolmente scaglionare le probabilità dette dividendo l'intervallo $[0,1]$ dei valori di probabilità in quattro segmenti uguali. Ad esempio, con $i > 4$ la probabilità d'incendio risulterebbe inferiore a 0,25.

I dati di umidità dell'aria e di temperatura sono ottenibili dalle Arpa locali. Nel caso specifico, quel giorno di agosto 2012, all'ora dell'incendio, si aveva, nella località O., $R=32\%$ e $T=28\text{ }^\circ\text{C}$, per cui risulta che $i=1,5 < 2$, cioè $p(A) > 0,75$. Diciamo $p(A)=0,8$ e non $p(A)=0$, come giudicherebbe l'uomo «della strada».

Scintilla

Il capitolo 6 del CFS consente di dare una valutazione anche sulla probabilità di innesco d'incendio da fonte puntuale (sezione 2.1.3), ove per fonte puntuale s'intende, ad esempio, precisa il CFS, «sigaretta o fiammifero accesi». La valutazione è effettuata in funzione delle condizioni microclimatiche (temperatura, vento, umidità dell'aria, periodo dell'anno, esposizione o meno al sole) e in funzione dell'umidità del materiale combustibile morto in questione (nel nostro caso, il fieno).

Ai fini della determinazione dell'umidità del fieno, viene in soccorso il capitolo 3 del CFS, *I combustibili e loro caratteristiche: i modelli di combustibili per la simulazione del comportamento del fuoco*, e in particolare la Sezione 1.4.1 (*Metodi di calcolo dell'umidità del combustibile*). I dati che servono sono: umidità e temperatura dell'aria, e velocità del vento. In corrispondenza dell'umidità dell'aria e della temperatura, la Tab. 3 a doppia entrata del cap. 3 del CFS consente di valutare l'umidità del combustibile vegetale morto. Nel caso del fieno in parola, la sua umidità è stimabile essere dell'8%.

Questo valore va corretto secondo quanto prescritto dalla Tab. 7 del cap. 3 del CFS (correzioni stagionali). Nel caso specifico, il terreno è in piano e il cielo era sereno, e pertanto dalla Tab. 7 si evince una correzione pari a +1. Il valore finale dell'umidità del fieno è così stimabile del 9%.

Infine, dalla Tab. 1 del cap. 6 del CFS, si può leggere, in corrispondenza di questo valore di umidità del combustibile vegetale morto e della temperatura dell'aria, qual è la probabilità d'incendio da fonte puntuale di calore. Nel caso specifico, essa risulta pari a 0,4. Cioè $p(I|S)=0,4$ e non 1 come valuterebbe l'uomo «della strada».

Conclusioni

Abbiamo così stabilito che, contrariamente alle apparenze dell'uomo «della strada», $p(A)=0,8$ e $p(I|S)=0,4$. Questi valori, sostituiti nella eq. (7) danno $p(A|I)/p(S|I)=2$. Allora, la probabilità che l'incendio sia occorso per autocombustione è il doppio della probabilità che sia occorso a causa della scintilla. Siccome, poi, nell'ipotesi che non vi fossero altre possibili cause, $p(A|I)+p(S|I) = 1$, fu allora possibile dare una risposta al Giudice: $p(A|I)=2/3$ e $p(S|I)=1/3$.

BIBLIOGRAFIA

- [1] V. Leone, G. Bovio, G. Cesti e R. Lovreglio, *Il Direttore delle Operazioni di Spegnimento degli Incendi Boschivi: Manuale Tecnico*, Università degli Studi della Basilicata, Ministero Politiche Agricole Alimentari e Forestali e Corpo Forestale dello Stato, Roma (2008).