

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 145 (1994)

**Heft:** 3

**Artikel:** Influenza della meteorogia sull'indice di pericolo degli incendi boschivi nel Cantone Ticino

**Autor:** Marcozzi, Marco / Bovio, Giovanni / Mandallaz, Daniel

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-766584>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 01.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Influenza della meteorologia sull'indice di pericolo degli incendi boschivi nel Cantone Ticino

Di Marco Marcozzi, Giovanni Bovio, Daniel Mandallaz,  
Peter Bachmann

FDK 111: 43: (494.5): UDK 519.22

## 1. Introduzione

Gli incendi boschivi sono uno dei fattori più gravi di distruzione delle foreste. Oltre al danneggiamento o alla distruzione del soprassuolo forestale, il fuoco causa un'alterazione di tutte le altre componenti dell'ecosistema.

In Svizzera è il Cantone Ticino (Sup. totale = 281 000 ha; sup. forestale = 133 000 ha) la regione con maggior frequenza di incendi boschivi. Nel periodo tra il 1973 e il 1989, su un totale di 2194 incendi avvenuti in Svizzera, ben 1032 (47%) si sono verificati nel Ticino. Su un totale di 15 814 ha di superficie boschiva percorsa dal fuoco, 13 059 ha (83%) erano ticinesi (*Ufficio federale di statistica e Sezione forestale cantonale*).

L'analisi della frequenza e della distribuzione degli incendi permette di ottenere indicazioni importanti sulla natura dei fattori che predispongono la vegetazione boschiva ad essere percorsa dal fuoco. Come in altre regioni interessate dal problema degli incendi boschivi, anche sul versante meridionale delle Alpi svizzere sono i fattori climatici a giocare un ruolo preponderante come causa predisponente: sia in modo indiretto, permettendo lo sviluppo di una copertura vegetale molto combustibile, sia in modo diretto, in seguito all'effetto dei periodi siccitosi, degli inverni miti con scarso innevamento e all'azione essiccante del favonio da nord (*Thams, 1953*).

Date queste premesse, la maggiore frequenza di incendi in Ticino si ha nei periodi invernali e primaverili nella zona pedemontana (tra i 200 e i 1000 metri), fascia altitudinale con vegetazione particolarmente rigogliosa, dove, a causa della frequente assenza della copertura nevosa, la necromassa si presenta particolarmente secca ed infiammabile (*Ceschi, 1977*).

Il ruolo predisponente dei fattori meteorologici in caso di incendi boschivi assume un'importanza fondamentale: i fattori antropici determinanti possono innescare il fuoco solo se l'ambiente lo consente (*Bovio, 1984*). Questa correlazione viene sfruttata per elaborare indici previsionali di pericolo di incendio,

partendo dai dati meteorologici. Lo sviluppo di queste metodologie previsionali è ormai parte integrante di una moderna struttura di lotta antincendio in più parti del mondo.

La grande variabilità della distribuzione della frequenza degli incendi in funzione delle caratteristiche climatiche e vegetazionali rende però difficile un'applicazione generalizzata di metodi previsionali standardizzati. Gli indici previsionali devono quindi essere elaborati a livello regionale, onde garantire la massima aderenza all'effettiva frequenza degli incendi di una determinata zona. Bovio *et al.* (1984) hanno messo a punto in Piemonte (Italia) la metodologia di calcolo dell'indice di previsione IREPI (Indice di Riduzione Evapotraspirazionale per il Pericolo di Incendi) che si è rivelata particolarmente adatta all'individuazione del pericolo in regioni alpine a frequenza di incendio prevalentemente invernale: tale validità è stata confermata dall'impiego in Valle d'Aosta (Italia) (Bovio *et al.*, 1986).

In un successivo studio, elaborato in collaborazione con la cattedra di assestamento forestale dell'Università di Torino (Marcozzi, 1991), si è tentato di verificare l'idoneità di questo metodo per il contesto ambientale e socio-economico ticinese. Una migliore definizione dell'influenza della meteorologia sul pericolo di incendio di bosco nel Cantone Ticino e la possibilità di prevedere su basi scientifiche il pericolo di incendio rappresenta una prospettiva interessante anche per gli operatori del Servizio forestale e dell'Osservatorio meteorologico di Locarno-Monti, responsabili dell'emanazione del divieto assoluto di accendere fuochi all'aperto in base al regolamento sulla polizia del fuoco del 1978 (*Consiglio di Stato del Canton Ticino*).

In questo articolo sono riportati i principali risultati del suddetto studio.

## 2. Materiali e metodi

### 2.1 La raccolta delle informazioni di base

La principale fonte di informazione sugli incendi boschivi è rappresentata dagli schedari della Sezione forestale cantonale, dove per ogni evento sono riportate le seguenti indicazioni:

- circondario forestale;
- comune e località (estratto carta nazionale);
- data (giorno, mese, anno);
- ora d'inizio e durata dell'incendio;
- superficie percorsa dal fuoco;
- tipo di bosco colpito;
- causa e danni provocati dall'incendio.

Per lo studio sono stati considerati i dati riferiti al periodo 1980–1990 esaminando 619 incendi. Le informazioni sono state ordinate in 25 variabili, in parte codificate e raggruppate in classi ed inserite su supporto elettronico.

Per i dati meteorologici si è fatto capo alla banca dati dell'Istituto Svizzero di Meteorologia, utilizzando in particolare, quale stazione di riferimento, i rilievi dell'Osservatorio Ticinese di Locarno-Monti. Per il calcolo dell'indice di pericolo degli incendi boschivi si sono in particolare tenuti in considerazione i seguenti parametri:

- temperatura media dell'aria [ $10^{-1}$  °C];
- umidità relativa dell'aria alle ore 12 [%];
- precipitazioni atmosferiche, dalle 06 alle 06 del giorno seguente [ $10^{-1}$  mm];
- velocità del vento, media oraria massima [ $10^{-1}$  m/s];
- radiazione globale [Wh/m<sup>2</sup>];
- insolazione relativa [%] = insolazione reale (ore) / potenziale (ore).

## 2.2 Descrizione del modello utilizzato

L'approccio metodologico riprende le proposte contenute in Bovio et al. (1984), dove gli autori esprimono il pericolo di incendio con un indice di riduzione evapotraspirazionale (IREPI), basato sul calcolo delle variazioni del bilancio idrico della zona del terreno esplorata dalle radici in funzione dei parametri meteorologici e dell'evapotraspirazione della vegetazione. Il metodo IREPI è stato scelto sulla base dei buoni risultati forniti in regioni quali Piemonte e Valle d'Aosta, che, come il Ticino, a causa delle similitudini climatiche, presentano una maggior frequenza di incendi durante il periodo invernale e primaverile.

Il calcolo dell'indice IREPI avviene in tre fasi distinte:

- a) calcolo dell'evapotraspirazione potenziale della vegetazione (E2) mediante il metodo di *Penman* (1956), sulla base dei dati meteorologici della stazione di Locarno-Monti;
- b) calcolo del bilancio idrico mediante il modello matematico proposto da *Item* (1974, 1981);
- c) calcolo dell'indice di riduzione evapotraspirazionale per il pericolo d'incendio (IREPI) (*Bovio et al. op. cit.*, 1984).

### 2.2.1 Calcolo dell'evapotraspirazione potenziale (E2)

*Item* (1974), riprendendo e adattando le proposte di *Penman* (1956, 1959), esprime l'evaporazione di una superficie d'acqua libera in funzione della radiazione solare potenziale, della temperatura, dell'umidità dell'aria, della durata dell'insolazione e della velocità del vento a 2 m dal suolo; valore poi trasformato in funzione del dato disponibile (velocità del vento a 10 m dal suolo) a mezzo dell'espressione di *Schulz* (1962). Questa relazione può essere impie-

gata per qualsiasi altra superficie (ad esempio boscata), ammettendo che l'evaporazione, a parità di condizioni atmosferiche, assuma valori proporzionali a quelli del piano d'acqua di riferimento. Nel nostro modello è considerata evapotraspirazione potenziale, l'evapotraspirazione di un terreno saturo, valore che dipende sia dalla copertura vegetale del terreno, sia dalle condizioni climatiche del momento (Item, 1974).

### 2.2.2 *Calcolo del bilancio idrico*

Conformemente a quanto proposto da Bovio *et al.* (1984), per il calcolo del bilancio idrico è stato utilizzato un modello matematico, elaborato dall'allora Istituto Federale di Ricerche Forestali di Birmensdorf, in grado di simulare le variazioni del regime idrico di diversi tipi di copertura vegetale in funzione delle condizioni climatiche (Brühlhart, 1969; Germann, 1976; Item, 1974, 1981). Il modello combina i principali fattori che influiscono sul bilancio idrico per poter calcolare i cambiamenti di contenuto idrico del suolo esplorato dalle radici e le modificazioni dei valori dell'evapotraspirazione reale rispetto a quella potenziale, secondo il diagramma di flusso riportato in *figura 1*. Per ragioni di semplicità si sono apportate leggere modifiche rispetto alla proposta originale di Item (1981), eliminando i parametri dell'intercettazione dell'acqua piovana da parte delle foglie e assumendo valori sperimentali medi per i parametri riguardanti il suolo. Per quest'ultimo si è ipotizzata una potenza media di 100 cm con un punto di saturazione pari a 40,3 cm ed un punto di appassimento di 34,2 cm (Germann, 1976 *op. cit.*; Item, 1974, 1981 *op. cit.*).

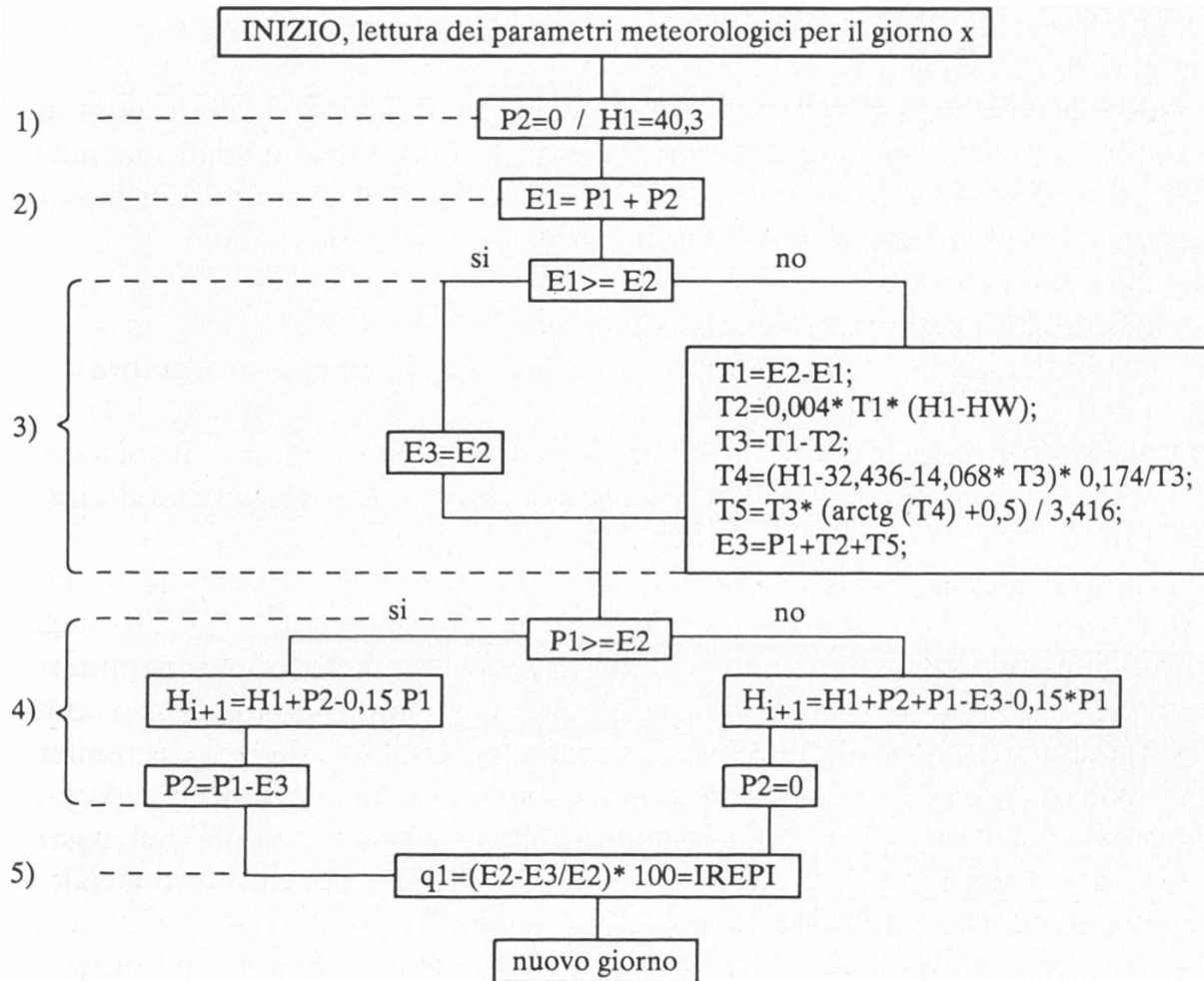
L'entrata nel modello avviene in coincidenza con un periodo di abbondanti precipitazioni, in modo da poter considerare in condizioni di saturazione idrica il terreno (vale a dire  $H_1 = 40,3$  cm) e nullo l'eccesso di pioggia del giorno precedente ( $P_2 = 0$ ).

### 2.2.3 *Calcolo dell'Indice di Riduzione Evapotraspirazionale del Pericolo d'Incendio (IREPI)*

L'indice IREPI si propone di evidenziare le situazioni di deficit o di saturazione idrica del terreno. A tale scopo Bovio *et al.* (1984) hanno sperimentato un indicatore rappresentato da un'espressione costituita dal valore percentuale della riduzione dell'evapotraspirazione reale rispetto a quella potenziale, secondo la formula:  $IREPI = (E_2 - E_3) / E_2 \times 100$ . Dove  $E_2$  = Evapotraspirazione potenziale e  $E_3$  = Evapotraspirazione reale. L'indice viene misurato con una scala che va da 0 a 100. Quando la quantità delle piogge giornaliere supera il valore di  $E_2$ , l'indice va a 0 (pericolo inesistente). I periodi caratterizzati da siccità persistente e le giornate con la presenza di forte vento, fanno crescere gradualmente l'indice, raggiungendo i valori più elevati (Bovio *et al.*, 1984).

---

*Figura 1.* Diagramma di flusso del modello per il calcolo del bilancio idrico.



Commento a figura 1:

- 1) Le condizioni di entrata nel modello sono una situazione di saturazione idrica del suolo ( $H1 = 40,3$  cm) e nessun eccesso di pioggia del giorno precedente ( $P2 = 0$ ).
- 2) Il modello valuta in seguito le interrelazioni esistenti tra l'evapotraspirazione potenziale ( $E2$ ) e la quantità d'acqua evapotraspirabile effettivamente presente ( $E1$ ). Essa è considerata come la somma della quantità delle precipitazioni giornaliere ( $P1$ ) e la quantità di pioggia del giorno precedente non evaporata ( $P2$ ). Le variabili di entrata nel modello sono le precipitazioni e il valore di  $E2$  calcolato precedentemente con la formula di Penman.
- 3) Nel caso in cui  $E1$  sia maggiore o uguale all'evapotraspirazione potenziale ( $E2$ ), il modello considera l'evapotraspirazione reale uguale a quella potenziale ( $E3 = E2$ ). Questo perché il limite massimo d'acqua eliminabile dalla vegetazione mediante il processo di evapotraspirazione, quando vi è acqua a sufficienza, è uguale all'evapotraspirazione potenziale. Nel caso contrario, quando  $E1$  è minore di  $E2$ , si avrà una riduzione dell'evapotraspirazione che viene calcolata con una serie di fattori che determinano la traspirazione della vegetazione. Il valore risultante per l'evapotraspirazione reale ( $E3$ ) è dato dalla quantità di precipitazioni giornaliere sommate ai valori della traspirazione cuticolare ( $T2$ ) e della traspirazione stomatica ( $T5$ ) reale.
- 4) In una seconda fase il modello matematico si concentra sul calcolo del contenuto idrico del terreno. Se le precipitazioni giornaliere superano o eguagliano  $E2$ , allora la quantità d'acqua contenuta nelle radici all'inizio del giorno successivo ( $H_{i+1}$ ) è uguale alla quantità iniziale d'acqua contenuta nella zone esplorata dalle radici ( $H1$ ) sommata alla pioggia in eccesso ( $P2$ ), meno l'acqua percolata in profondità ( $0,15 \cdot P1$ ). L'eccesso di precipitazioni per il giorno successivo ( $P_{i+1}$ ) è dato dalla quantità delle precipitazioni giornaliere ( $P1$ ) meno il valore dell'evapotraspirazione reale ( $E3$ ) [ $P_{i+1} = P1 - E3$ ]. Se invece  $P1$  è minore a  $E2$ , bisogna prendere in considerazione anche la quantità d'acqua realmente evapotraspirata [ $H1 + P2 + P1 - E3 - (0,15 \cdot P1)$ ], e non si avrà eccesso di precipitazioni per il giorno seguente ( $P_{i+1} = 0$ ).
- 5) Infine viene calcolato l'indice IREPI ( $q1$ ), come precedentemente spiegato.

### 2.3 Elaborazione statistica dei dati

Per l'analisi dei dati si è fatto ricorso ai pacchetti statistici del programma S.A.S. (Statistical Analysis System), unendo le informazioni sugli incendi, i dati meteorologici e i valori dell'IREPI in un unico schedario di riferimento.

Le variabili principali, considerate per l'analisi statistica sono:

- data dell'incendio;
- giorno della settimana (feriale o festivo);
- stagione (suddivisa in due classi: dicembre–aprile, maggio–novembre);
- IREPI (suddiviso in sei classi);
- periodo (prima del 1984 il dato meteorologico concernente l'insolazione relativa non è disponibile, ha dovuto così essere estrapolato in modo indiretto);
- numero giornaliero di incendi.

L'approccio statistico si basa sull'uso del modello di Poisson di parametro  $\lambda$ , in cui si presuppone che il numero di incendi in un giorno conosciuto segua la legge di Poisson di parametro  $\lambda$ , dove  $\lambda_j$  = numero giornaliero medio d'incendi della popolazione (gruppo di giorni) di tipo  $j$ , in funzione della superficie della regione presa in considerazione (nel nostro caso il Cantone Ticino), dell'indice giornaliero IREPI, del carattere feriale o festivo del giorno e della stagione.

Alla base del modello descritto vi sono le seguenti premesse di fondo:

- i singoli incendi non sono correlati tra di loro;
- gli incendi si sono verificati per cause naturali;
- ogni incendio è considerato una sola volta, il giorno in cui si verifica;
- per il periodo 1980–1984 per il calcolo dell'indice IREPI i valori mancanti dell'insolazione relativa sono stati estrapolati sulla base delle medie mensili misurate nel periodo 1984–1990);
- l'effetto del vento è considerato solo indirettamente nel calcolo dell'IREPI.

Per lo studio di dettaglio dell'andamento delle curve della probabilità di pericolo di incendio in funzione dell'indice di pericolo è stato usato il metodo della massima verosimiglianza (Maximum Likelihood). Nel modello di Poisson l'analisi della massima verosimiglianza è stato eseguito con la procedura NLIN (regressione non lineare) del programma S.A.S, conformemente alle indicazioni di *Jennrich e Moor* (1975). Il modello è stato infine sottoposto al test del Chi quadrato per tutte le popolazioni (gruppi di giorni).

### 3. Risultati

#### 3.1 Incendi boschivi nel periodo 1980–1990

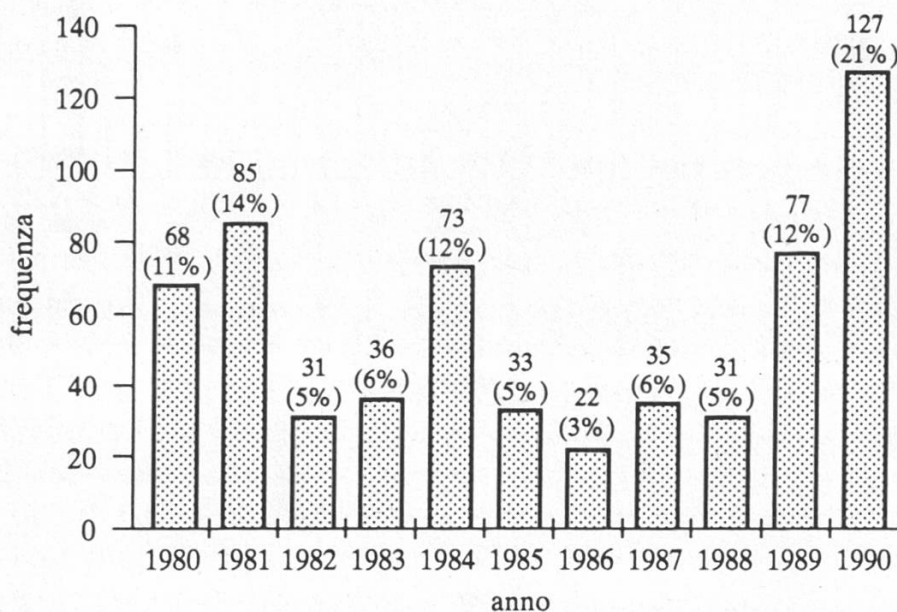
I 619 eventi utilizzati per il calcolo dell'indice di pericolo e di previsione degli incendi hanno permesso di elaborare una statistica descrittiva degli incendi boschivi del Cantone Ticino per il periodo 1980–1990.

La *figura 2* riporta le frequenze annuali assolute e le percentuali degli incendi per il periodo considerato. Nel 1990 si è avuta la frequenza annuale di incendi più alta del decennio con il 21 % degli incendi (127 eventi). Quella più bassa si è avuta nel 1986, con una percentuale di soli 3% (22 eventi). La frequenza annuale media è stata di 56,2 incendi.

La *figura 3* riporta la frequenza degli incendi in funzione della superficie totale percorsa. Essa è data dalla somma della superficie boschiva, prativa e improduttiva. Per rendere il grafico più rappresentativo si è divisa la superficie in classi. La prima classe comprende gli incendi di piccole dimensioni (minore 1 ha), mentre l'ultima classe quelli di dimensioni più grandi (maggiore 100 ha). La figura mette in luce come la frequenza della prima classe, 257 eventi (41 %) si distanzi nettamente dalla proporzione di eventi distribuiti nelle altre classi [frequenze oscillanti da un massimo di 104 eventi (17%) ad un minimo di 12 (2%)].

La *figura 4* illustra le differenze stagionali della frequenza degli incendi:

- inverno e primavera con molti incendi (dicembre–aprile):  
459 eventi (74 %);
- estate ed autunno con pochi incendi (maggio–novembre):  
159 eventi (26 %).



*Figura 2.* Frequenze annuali assolute e percentuali del numero degli incendi per il periodo 1980–1990.

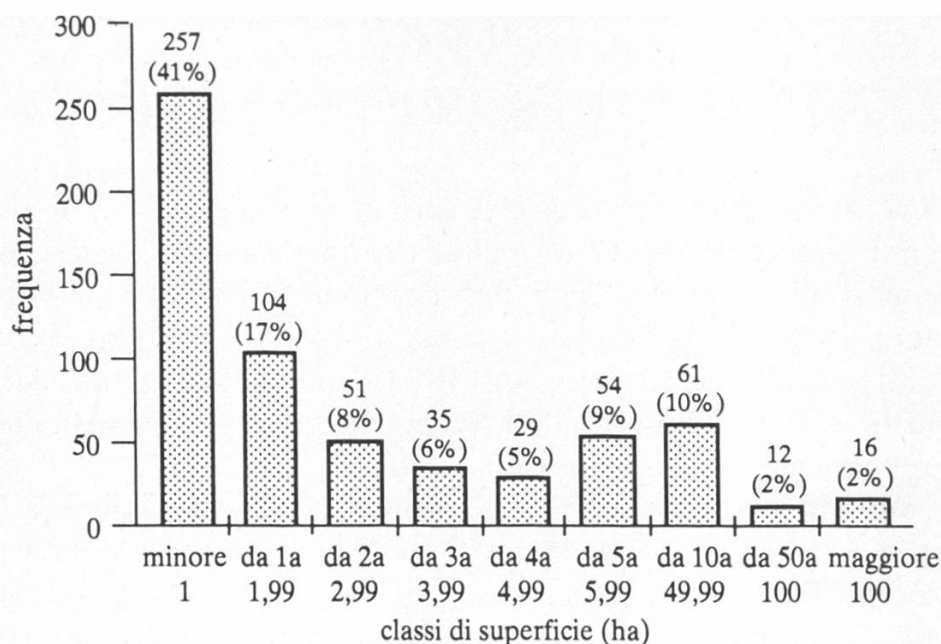


Figura 3. Frequenza degli incendi e relativa percentuale in funzione della superficie totale, ripartita in classi.

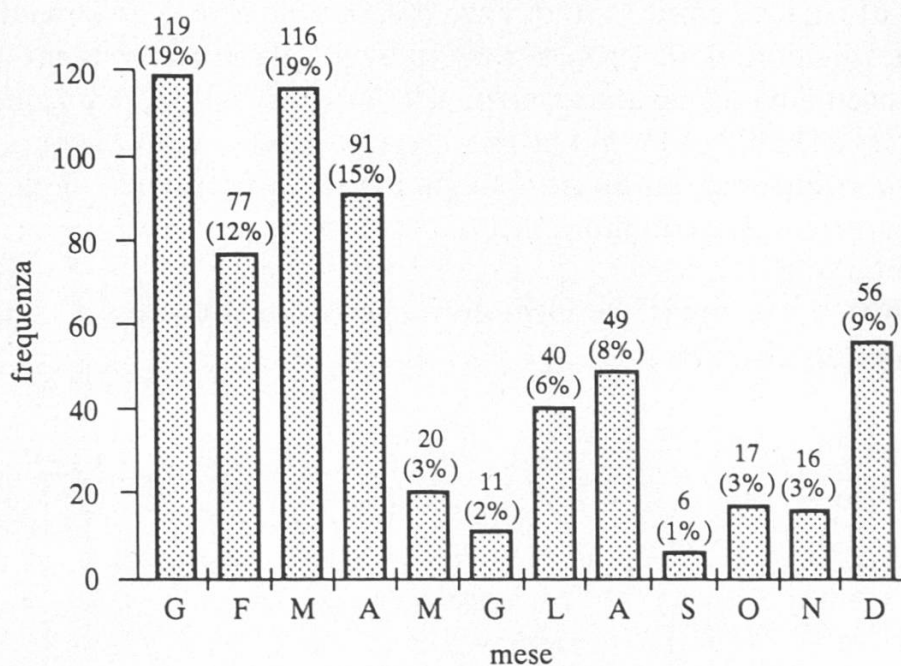


Figura 4. Distribuzione delle frequenze mensili del numero d'incendi con relative percentuali.

I mesi di gennaio 119 incendi (19%), marzo 116 (19%), aprile 91 (15%), febbraio 77 (12%) e dicembre 56 (9%) sono stati i mesi con frequenza massima d'incendi, mentre quelli di agosto 49 incendi (8%), luglio 40 (6%), ottobre 17 (3%), novembre 16 (3%), maggio 20 (3%), giugno 11 (2%) e settembre 6 (1%) con frequenza minima di incendi.

La figura 5 riporta la frequenza degli incendi rispetto ai giorni della settimana, mettendo in luce la maggior frequenza degli incendi durante il fine set-

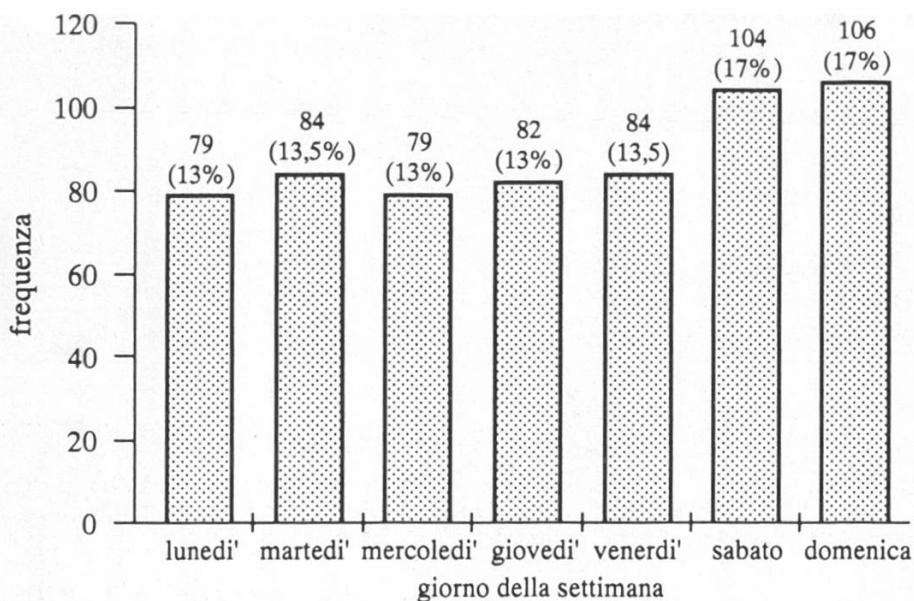


Figura 5. Frequenza degli incendi assoluta e in percento rispetto ai giorni della settimana.

timana. Nel periodo considerato ci sono stati 106 incendi (17%) la domenica e 104 incendi il sabato (17%). Gli altri giorni della settimana hanno avuto un numero d'incendi molto simile tra di loro: lunedì 79 incendi (13%), martedì 84 (13,5%), mercoledì 79 (13%), giovedì 82 (13%), venerdì 84 (13,5%).

La figura 6 presenta la frequenza degli incendi rispetto alle cause.

Dalla figura 6 emerge con chiarezza che per il 59% dei casi non si conosce la causa esatta dell'incendio. La negligenza rappresenta il 21% dei casi osservati, mentre il 6% della causa degli incendi è attribuibile al dolo. Le altre possibili cause sono di minor importanza: fulmine (4%), incendio proveniente dall'Italia (3%), ferrovia (2%), fuochi d'artificio (2%), corto circuito (1,5%), militari (1%) e incendio d'abitazione (0,5%).

Il 32% degli incendi del periodo 1980-1990 hanno causato dei danni leggeri, il 34% dei danni medi e il 18% insignificanti. Solamente il 16% dei danni sono stati valutati gravi (figura 7).

### 3.2 Previsione del pericolo d'incendio

Le figure 8, 9, 10, 11 riportano le rappresentazioni grafiche delle probabilità (esprese in percento) che si verifichino 0, 1, 2, 3 o più incendi in funzione della stagione invernale (dicembre-aprile) o di quella estiva (maggio-novembre) e del giorno della settimana (feriale o festivo).

Da notare che per il calcolo delle curve di probabilità si è usato il modello di Poisson con dipendenza quadratica sull'indice, quindi è stata inserita la variabile (IREPI)<sup>2</sup>, anziché IREPI, in modo da ottenere una miglior rispondenza della curva.

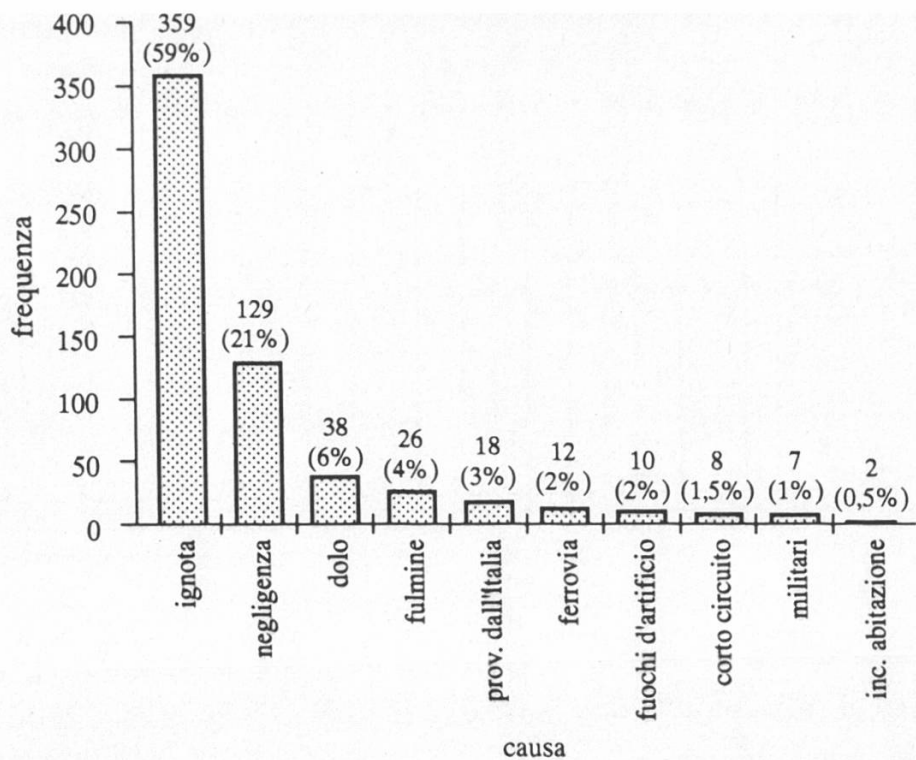


Figura 6. Frequenza degli incendi assoluta e in percento rispetto alle cause.

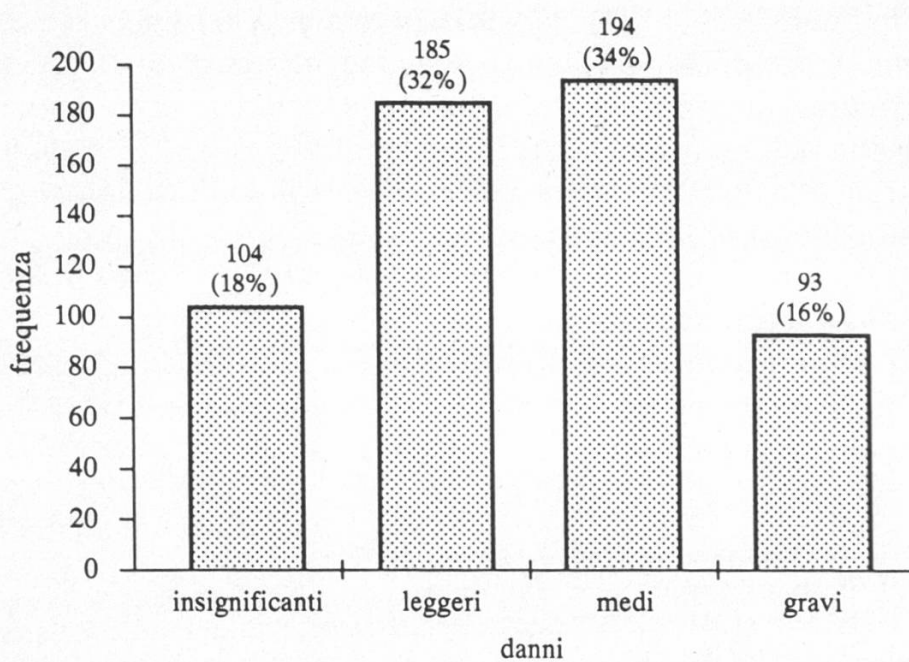


Figura 7. Frequenza degli incendi assoluta e in percento riferita ai danni.

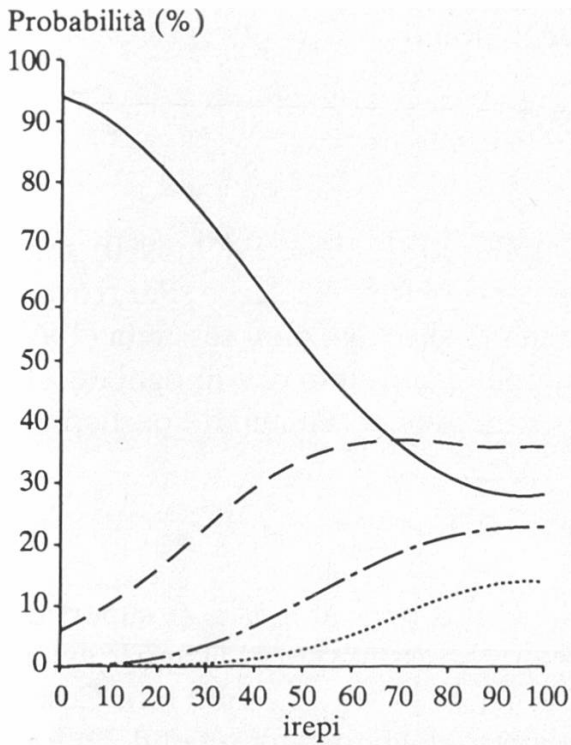


Figura 8.

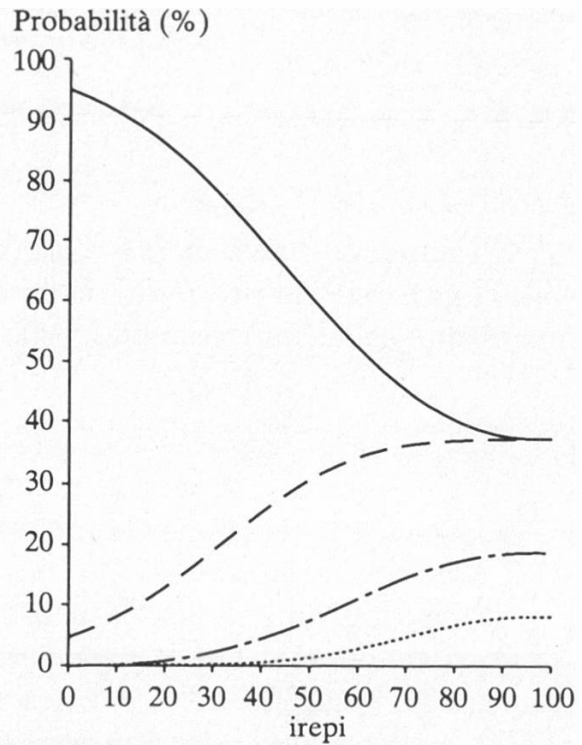


Figura 9.

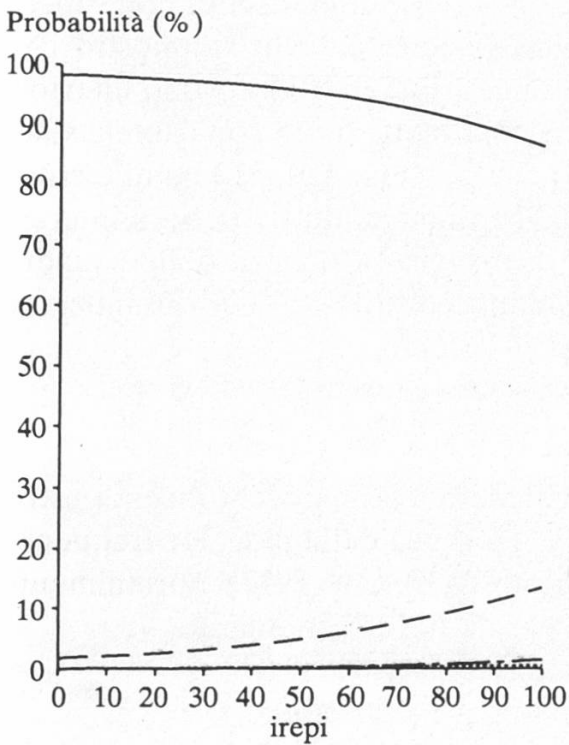


Figura 10.

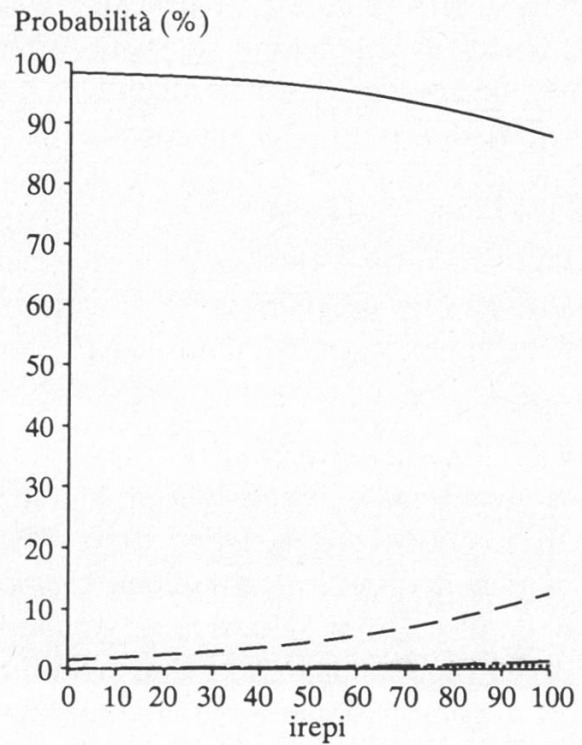


Figura 11.

— 0 incendi    - - - 1 incendio    - - - 2 incendi    ..... ≥3 incendi

Figure 8, 9, 10, 11. Rappresentazione grafica della probabilità che avvengano 0, 1, 2,  $\geq 3$  incendi in funzione dell'indice di pericolo IREPI. I grafici sono riferiti a: un giorno festivo in stagione invernale (fig. 8), un giorno feriale in stagione invernale (fig. 9), un giorno festivo in stagione estiva (fig. 10) e un giorno feriale in stagione festiva (fig. 11).

## 4. Discussione dei risultati

### 4.1 Incendi boschivi nel periodo 1980–1990

#### 4.1.1 Frequenza annuale

Gli anni con mediamente più eventi (1980, 1981, 1984, 1989, 1990) sono stati in generale caratterizzati da un clima particolarmente secco. Per trovare una frequenza elevata come nel 1990 bisogna risalire agli anni sessanta (1962, 1965) e settanta (1970, 1973, 1976). È comunque consueto che in ogni decennio (anche se a scadenze irregolari) si verifichi almeno un'annata particolare (Ceschi, 1977 *op. cit.*).

#### 4.1.2 Superficie percorsa

La distribuzione delle frequenze di incendio per categorie di superficie (*figura 3*) evidenzia il carattere medio-piccolo che assumono in Ticino le estensioni medie degli incendi (86 % fra 1 e 10 ha, 14 % tra 11 e 500 ha). Ceschi (1977), analizzando la distribuzione del numero degli incendi secondo la loro superficie per il periodo 1951–1972, aveva indicato come il 28 % degli incendi non supera la superficie di 1 ha, mentre il 77 % di tutti gli incendi non supera i 10 ha di estensione. Il risultato ottenuto in questo lavoro dimostra che nell'ultimo decennio gli incendi di grosse dimensioni (> 10 ha) sono ulteriormente diminuiti. Questa considerazione va comunque presa con cautela visto che ad esempio nel 1990 ci fu un incendio che percorse ben 512 ha di territorio (278 ha di bosco, 167 ha di pascolo e 67 ha di improduttivo). Sarà interessante in futuro verificare in che misura la maggior efficienza delle squadre antincendio e l'impiego degli elicotteri hanno contribuito alla diminuzione della superficie media unitaria percorsa dagli incendi.

#### 4.1.3 Frequenza mensile

Nel decennio considerato si sono verificati anche parecchi incendi estivi (16 % contro il 6 % del periodo 1950–1972), a causa della maggior frequenza di periodi di prolungata siccità. Come indicato da Ceschi (1977), normalmente nelle condizioni ticinesi le estati sono povere di incendi, in quanto:

- la vegetazione è in pieno sviluppo;
- il combustibile morto ha umidità elevata per i temporali;
- l'umidità atmosferica è relativamente elevata;
- l'effetto essiccante del favonio da nord è poco marcato, data la sua minor frequenza.

La frequenza mensile del decennio corrisponde abbastanza bene con quella dei periodi 1879–1910, 1911–1940, 1941–1972 (Ceschi, 1977); fatta eccezione per alcune situazioni particolari:

- il mese di gennaio ha avuto nettamente più incendi che in passato;
- i mesi di marzo e aprile sono stati meno violenti che in passato;
- i mesi di luglio e agosto hanno avuto più incendi del solito.

#### 4.1.4 *Frequenza settimanale*

La frequenza settimanale osservata è praticamente la stessa del periodo 1960–1972 (Ceschi, 1977). Lo stesso autore fa notare che la differenza tra i giorni feriali e festivi ha cominciato ad accentuarsi negli anni sessanta. L'aumento del tempo libero e il diffondersi dell'interesse per il bosco e la natura in generale potrebbe accentuare ulteriormente il divario tra i giorni feriali e quelli festivi. La prevenzione, informando e sensibilizzando l'opinione pubblica è senza dubbio fondamentale. Nell'ambito di questo lavoro non si sono considerati i giorni festivi infrasettimanali.

#### 4.1.5 *Frequenza delle cause*

Paragonando il risultato ottenuto con quello di Ceschi (1977) per il periodo 1960–1972 si può notare che l'andamento generale del grafico è rimasto il medesimo. In particolare si può osservare che gli incendi dolosi, quelli causati da fulmini e la negligenza sono aumentati, mentre gli incendi causati dalla ferrovia e dai militari sono diminuiti (costruzione di muretti di protezione per i primi e maggiore attenzione per i secondi).

#### 4.1.6 *Frequenza dei danni*

La definizione dell'entità del danno causato da un incendio boschivo, è assai difficile e a volte molto soggettiva. Una stima dei danni economici non basta, bisognerebbe ancora possedere le informazioni necessarie per valutare in modo oggettivo le esternalità.

### 4.2 *Previsione del pericolo d'incendio*

Le figure 8, 9, 10, 11 dimostrano l'andamento del modello adottato e dell'indice IREPI per le previsioni del pericolo d'incendio nel Cantone Ticino. Sono in particolare emerse le seguenti indicazioni:

- la probabilità che ci siano  $k$  incendi diminuisce quando  $k$  aumenta.
- la probabilità che avvengano 1, 2,  $\geq 3$  incendi è elevata nella stagione invernale e bassa nella stagione estiva. Come esempio viene qui di seguito riportato il calcolo della probabilità che vi siano 1, 2,  $\geq 3$  incendi con un IREPI di 40, in stagioni e giorni diversi:

<i>categoria incendi</i>	<i>probabilità di 1 incendio</i>	<i>probabilità di 2 incendi</i>	<i>probabilità di 3 o più</i>
stagione invernale e giorni festivi	29 %	6,6 %	1,1 %
stagione invernale e giorni feriali	25 %	4,5 %	0,5 %
stagione estiva e giorni festivi	4 %	0,1 %	0 %
stagione estiva e giorni feriali	3,5 %	0,1 %	0 %

L'esempio ci illustra inoltre che esiste una differenza di probabilità tra i giorni feriali e quelli festivi, soprattutto nella stagione invernale. Differenza probabilmente dovuta alla maggior attività antropica nei periodi di tempo libero.

Questa situazione si rispecchia anche nel differente numero di variabili con significatività statistica tra la stagione invernale ed estiva: IREPI, (IREPI)<sup>2</sup>, giorno (festivo/feriale) per la prima e solo IREPI, (IREPI)<sup>2</sup> per la seconda.

L'analisi statistica ha inoltre permesso di osservare che:

- i risultati del periodo 1984–1990 sono compatibili con quelli del periodo 1980–1984. Ciò significa che la nostra ipotesi sul valore dell'insolazione relativa era giusta (cfr. cifra 2.3);
- le valutazioni della bontà dell'adattamento, effettuate mediante il test del Chi<sup>2</sup>, sono risultate soddisfacenti, fatta eccezione per due casi estremi verificatesi durante la stagione invernale;
- la correlazione tra la probabilità osservata e quella prevista è di 0,72 per la stagione invernale e di 0,63 per quella estiva. Questi valori molto buoni confermano la validità e l'idoneità dell'indice IREPI anche per il Cantone Ticino. L'applicazione del modello ad altre regioni o sottoregioni è possibile adattando il parametro lambda alla superficie.

## 5. Conclusioni

Questo lavoro ha permesso di verificare l'idoneità del metodo IREPI (Indice di Riduzione Evapotraspirazionale per il Pericolo d'Incendio) ad essere applicato anche al Cantone Ticino, confermando la validità generale dell'indice per le regioni con maggiore frequenza di incendi invernali. Rimane comunque evidente la difficoltà di descrivere a livello di modello una realtà estremamente complessa quale è quella degli incendi. Le previsioni del pericolo di incendio hanno comunque potuto essere formulate con una rappresentatività assai elevata.

Il modello proposto è tuttavia suscettibile di ulteriori perfezionamenti. Questo lavoro rappresenta infatti un primo passo fondamentale verso lo studio del fenomeno degli incendi boschivi in Ticino in funzione dell'elaborazione

di un indice previsionale del pericolo di incendi. In base ai risultati fin qui ottenuti è ora possibile indicare i punti da approfondire nell'ambito degli studi futuri:

- meglio adattare il modello di calcolo del bilancio idrico e quindi dell'IREPI alle condizioni del Sud delle Alpi, verificando i parametri stazionali e le variabili meteorologiche da adottare;
- estendere la regione di studio anche alla zona della Mesolcina e Calanca, differenziando poi le analisi in funzione delle differenti zone fitoclimatiche (definizione di sottoregioni);
- perfezionare il calcolo probabilistico del modello previsionale:
  - considerando il singolo giorno quale unità di calcolo (in sostituzione delle popolazioni raggruppanti più giorni);
  - verificando la possibilità di utilizzare direttamente anche la variabile «velocità del vento» nel calcolo (attualmente considerata solo in maniera indiretta nell'ambito dell'IREPI);
- verificare la possibilità di considerare anche gli incendi correlati tra di loro.

Gli aspetti del problema appena elencati saranno oggetto di approfondimento nell'ambito del progetto «Clima e incendi boschivi al Sud delle Alpi», finanziato dal Fondo Nazionale per la Ricerca quale progetto del Programma nazionale di ricerca 31 (Mutamenti climatici e catastrofi naturali) ed eseguito sotto la responsabilità e il coordinamento della Sottostazione Sud delle Alpi dell'FNP. Oltre alla messa a punto di un modello definitivo e più dettagliato per la previsione del pericolo di incendio al Sud delle Alpi, la ricerca prevede l'esecuzione di uno studio sull'andamento della frequenza degli incendi in questo secolo, la valutazione del ruolo dei principali fattori d'influenza (meteorologia, fattori socioeconomici, organizzazione corpo antincendio, disposizioni di legge, ecc.) e l'impostazione di studi sull'impatto ecologico degli incendi sull'ecosistema bosco. Quale base di riferimento per tutti gli studi è prevista l'organizzazione di una banca dati relazionale sugli incendi boschivi al Sud delle Alpi.

#### *Ringraziamenti*

Si ringraziano in particolare l'Ing. A. Lanz, collaboratore presso la Cattedra di Assestamento alla Scuola Politecnica Federale di Zurigo per i preziosi consigli sull'uso dei programmi di statistica, il meteorologo P. Ambrosetti dell'Osservatorio ticinese di Locarno-Monti per la messa a disposizione dei dati e per i preziosi consigli sugli aspetti meteorologici, l'Ing. G. Corti, del VI circondario forestale cantonale, per le informazioni sugli incendi e per il materiale messo a disposizione, il Dr. A. Nosenzo, ricercatore presso il Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del Territorio dell'Università di Torino e l'ing. Marco Conedera, responsabile dell'FNP Sottostazione Sud delle Alpi, per gli aiuti e i consigli nell'ambito della redazione di questo articolo.

## Zusammenfassung

### Einfluss der Witterung auf den Gefahrenindex der Waldbrände im Tessin

Die Waldbrände sind einer der schlimmsten den Wald bedrohenden Faktoren im Tessin. Nicht nur wird der Waldboden geschädigt oder gar zerstört, sondern darüber hinaus verursacht das Feuer eine Veränderung aller Komponenten des Ökosystems Wald. Die Untersuchung der Häufigkeit und Verteilung der Waldbrände gibt wichtige Hinweise darauf, welche Faktoren das Vorkommen von Feuersbrünsten im Wald begünstigen. Wie in anderen vom Problem betroffenen Regionen spielen auch auf der Alpensüdseite die klimatischen Faktoren eine zentrale Rolle; zum einen begünstigt das Klima die Entwicklung einer schnell wachsenden und leicht brennbaren Vegetationsdecke, zum anderen spielen Trockenperioden, milde, niederschlagsarme Winter und die austrocknende Wirkung des Nord-Föhns eine wesentliche Rolle.

Der Zweck dieser Arbeit ist die Untersuchung des Einflusses der Witterung auf den Gefahrenindex der Waldbrände im Tessin, indem meteorologische Daten mit Brandereignissen aus den Jahren 1980 bis 1990 korreliert werden. Die Arbeit soll besser den Einfluss der Witterung auf die Waldbrandgefahr im Kanton Tessin abzuschätzen erlauben sowie die Möglichkeit bieten, Waldbrandgefahren auf wissenschaftlicher Grundlage vorhersagen zu können. Diese Aspekte sind insbesondere auch für den lokalen Forstdienst und für die Mitarbeiter am Meteorologischen Institut von Locarno-Monti von Interesse, die für den Erlass des auf Vorschriften von 1978 (regolamento sulla polizia del fuoco) beruhenden absoluten Verbotes, im Freien Feuer zu entfachen, verantwortlich sind.

Die Berechnungen beziehen sich auf eine Periode von 4018 Tagen, innerhalb welcher sich 619 Brände ereigneten. Die Informationen über diese Brände wurden mittels EDV aufgenommen. Die verwendeten meteorologischen Daten (mittlere Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit (12 Uhr), Niederschläge, maximale mittlere Windgeschwindigkeit, Einstrahlung) stammen von der meteorologischen Messstation von Locarno-Monti. Mit einem EDV-Programm (SAS, Statistical Analysis System) wurden die beiden Informationsquellen auf eine vergleichbare Grundlage gestellt. Im Rahmen dieser Studie wurde unter Anwendung eines von der Universität Turin entwickelten Indexes (IREPI, Indice di Riduzione Evapotraspirazionale del Pericolo d'Incendio) versucht, den geographischen Verhältnissen des Kantons Tessin Rechnung zu tragen. Ausgehend von einer statistischen Analyse unter Anwendung des Poisson-Modelles und des Prinzips der Maximum Likelihood wurde schliesslich ein vorläufiger Index der Waldbrandgefahr in Abhängigkeit des IREPI entwickelt.

Die Wahrscheinlichkeitsberechnungen wurden mit dem Chi-Quadrat-Test verifiziert. Für die Wintersaison sind die Variablen IREPI (IREPI)<sup>2</sup>, Arbeits- und Festtage statistisch signifikant, für die Sommersaison lediglich die Variablen IREPI und (IREPI)<sup>2</sup>. Das Schlussresultat wurde graphisch dargestellt; die Kurven zeigen die Wahrscheinlichkeit von 0, 1, 2 oder 3 und mehr Bränden in Funktion des IREPI, der Jahreszeit (Winter oder Sommer) und des Tages (Arbeits- oder Feiertag). Obschon das Modell bezüglich der Berechnung der Wasserbilanz und der Statistik Schwächen aufweist, ist die ermittelte Korrelation sehr gut: Entsprechend lässt sich folgern, dass der Gefahrenindex IREPI auch für die Tessiner Verhältnisse geeignet ist, wird doch der starke Einfluss der Witterungsverhältnisse auf das Auftreten von Waldbränden bestätigt.

Übersetzung: *Andreas Bernasconi*

## Bibliografia

- Bovio, G., Quaglino, A., Nosenzo, A., 1984: Individuazione di un indice di previsione per il pericolo di incendi boschivi. *Monti e Boschi*, 35, 4: 38–44.
- Bovio, G., Quaglino, A., Nosenzo, A., 1986: Prima ipotesi di applicazione dell'indice IREPI in Valle d'Aosta. Regione Autonoma Valle d'Aosta e Università degli studi di Torino-Istituto di Selvicoltura e Assestamento forestale.
- Brühlhart, A., 1969: Jahreszeitliche Veränderungen der Wasserbindung und der Wasserbewegung in Waldböden des schweizerischen Mittellandes. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw.*, 45, 2: 125–232.
- Ceschi, I., 1977: Gli incendi boschivi nel Ticino. *Bollettino della Società ticinese di Scienze Naturali*, anno LXV, 63–102 pp.
- Corti, G. (1990): Incendi boschivi nel Canton Ticino. *Schweiz. Feuerwehrzeitung*, 116, 8: p. 513–542.
- Germann, P., 1976: Wasserhaushalt und Elektrolytverlagerung in einem mit Wald und einem mit Wiese bestockten Boden in ebener Lage. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes.*, 52, 3: 159–309.
- Item, H., 1974: Ein Modell für den Wasserhaushalt eines Laubwaldes. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes.*, 50, 3: 137–331.
- Item, H., 1981: Ein Wasserhaushaltmodell für Wald und Wiese. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes.*, 57, 1: 1–82.
- Jennrich, R. I., Moore, R. H., 1975: Maximum Likelihood estimation by means of Non linear Least Squares. *American Statistical Association, 1975 Proceedings of the Statistical Computing Section*, 57–65.
- Marcozzi, M., 1991: Influenza della meteorologia sull'indice di pericolo degli incendi boschivi nel Canton Ticino. Lavoro di diploma elaborato presso la Cattedra di Assestamento forestale della facoltà di Scienze forestali della SPF di Zurigo. 69 p. (inedito).
- Penman, H. L., 1956: Estimating evaporation. *Trans. Amer. geophys. Union*, 37, 1: 43–50.
- Penman, H. L., 1959: Notes on the Water Balance of the Sperbelgraben and Rappengraben. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes.*, 35, 1: 99–109.
- Consiglio di Stato del Cantone Ticino*: Regolamento sulla polizia del fuoco (del 4 luglio 1978).
- Schulz, E. L., 1962: A graphical procedure to estimate potential evapotranspiration by the Penman method. *Civil Engineering Dep., Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado*, 6 p.
- Sezione forestale cantonale*: Relazioni annuali 1973–1989. Bellinzona.
- Thams, J. C., 1953: Zur Meteorologie der Waldbrände im Tessin. *Leben und Umwelt*, 8: 169–173.
- Ufficio federale di statistica e Direzione federale delle foreste*, 1989: *Jahrbuch der schweizerischen Wald- und Holzwirtschaft*. 7 Land- und Forstwirtschaft. Waldbrandstatistik.

### Autori:

Marco Marcozzi, ing. forest., FNP Sottostazione Sud delle Alpi, c/o Sezione Forestale Cantonale, Palazzo amministrativo 2, 6501 Bellinzona.

Prof. Giovanni Bovio, associato di Assestamento forestale, Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura, Gestione del Territorio, Università di Torino, via L. da Vinci 44, Grugliasco, Italia.

PD Dr. Daniel Mandallaz, Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum der ETH Zürich, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

Prof. Dr. Peter Bachmann, Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum der ETH Zürich, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.