

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/288629080>

# Indici meteorologici di pericolosità di incendio forestale: una valutazione di efficacia nella regione Emilia-Romagna (Meteorological forest fire hazard indices evaluated in Emilia...

Article in *Italian Journal of Agrometeorology* · December 2014

CITATIONS

0

READS

210

4 authors, including:



**Vittorio Marletto**

Arpae (Environment and Energy Agency of Emilia-Romagna, Italy)

114 PUBLICATIONS 1,743 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

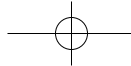


**Francesca Ventura**

University of Bologna

69 PUBLICATIONS 2,167 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



# Indici meteorologici di pericolosità di incendio forestale: una valutazione di efficacia nella regione Emilia-Romagna

Davide Coi<sup>1</sup>, Andrea Selvini<sup>1</sup>, Vittorio Marletto<sup>1</sup>, Francesca Ventura<sup>2\*</sup>

**Abstract:** Several forest fire hazard indices are available, based on current and past atmospheric conditions, as well as on land conditions and of potentially combustible vegetation state. In this work we verified the effectiveness of two indices, operationally used in Emilia-Romagna region, Italy, comparing them with forest fire data available for years 2004-2008. II is the ignition index, representing soil and light fuel moisture status in view of the risk of possible fire start, while IP is propagation index, representing the risk of fire development and expansion after ignition. In Emilia-Romagna II and IP are updated daily by the regional weather service and made available in the form of maps to the local civil protection agency. IP and II values were compared with official statistics on both the number and size of forest fires in six sites representative of the plain and of the Apennine mountain ridge. Comparisons showed that anomalies of the indices, determined in comparison with average values of years 1990-2011, were more related with both the number and size of forest fires, than the absolute values assumed by the indices.

**Keywords:** Fire Danger Index, Fire Index performance, mediterranean climate.

**Riassunto:** Per la valutazione del rischio di incendio boschivo e la relativa attività di prevenzione sono disponibili numerosi indici di pericolosità potenziale, che considerano le condizioni atmosferiche istantanee e pregresse, nonché le condizioni del territorio e della vegetazione potenzialmente combustibile. In questo lavoro abbiamo verificato l'efficienza di due indici di pericolosità utilizzati operativamente in Emilia-Romagna, a confronto con dati di incendio boschivo degli anni 2004-2008. Il primo è l'indice di innesco II, rappresentativo dell'umidità del terreno e del combustibile leggero, e quindi della possibilità che i combustibili forestali si incendino, mentre il secondo è l'indice di propagazione IP, rappresentativo delle condizioni di sviluppo e avanzamento dell'incendio dopo l'innesco. Essi vengono aggiornati quotidianamente e sono a disposizione della protezione civile sotto forma di mappe regionali. II e IP sono stati confrontati con il numero di incendi e con la loro estensione su sei località rappresentative della regione. Il confronto ha mostrato una buona correlazione tra i valori di II e il numero di eventi di incendio e l'utilità delle anomalie di entrambi gli indici, determinate dal raffronto con una serie climatica relativa agli anni 1990-2011, ai fini delle attività operative di prevenzione degli incendi boschivi.

**Parole chiave:** Indice Pericolo di Incendio; Efficacia Indice Incendio; clima mediterraneo.

## INTRODUZIONE

Il problema degli incendi boschivi è particolarmente grave, soprattutto nelle regioni mediterranee, perché comporta sia la messa a repentaglio di beni ambientali preziosi dal punto di vista della biodiversità e del bilancio globale del carbonio, sia la distruzione o l'impoverimento di importanti risorse, primariamente le foreste ed il suolo, nonché l'immissione in atmosfera di gas serra, o il potenziale cambio di uso del suolo (FAO, 2007). Gli incendi forestali sono oggetto di indagine anche in merito agli effetti del cambiamento climatico, che pare favorire la diffusione ed intensità (Flannigan *et al.*, 2000; Harris *et al.*, 2013). Molti lavori studiano gli effetti del cambiamento climatico sul rischio incendi (numero di

giorni con rischio di incendio, durata della stagione a rischio di incendio, ecc.) in particolare per i paesi dell'area mediterranea (Moriondo *et al.*, 2006, Thonicke *et al.*, 2013, Karali *et al.*, 2014).

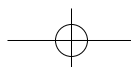
In Italia non esistono le condizioni idonee per innescare l'autocombustione dei boschi, quindi non può esistere un legame deterministico tra le osservabili meteorologiche e l'occorrenza di incendi boschivi (CFS, 2012). Le condizioni meteorologiche non sono quindi causa diretta di incendi boschivi ma influiscono notevolmente sia sulla diffusione di incendi colposi sia sulla scelta del momento favorevole per appiccare dolosamente un incendio.

La vigilanza ed il controllo degli organi dello stato e delle regioni nell'applicazione delle leggi a salvaguardia dei boschi, insieme al coordinamento delle squadre anti-incendio, incide in maniera rilevante sia nel limitare il numero degli incendi boschivi sia la loro estensione. In questo contesto la valutazione

\* Corresponding author's e-mail: francesca.ventura@unibo.it

<sup>1</sup> Arpa Emilia-Romagna, Servizio IdroMeteoClima, Bologna.

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Università di Bologna, Bologna.  
Received 16 July 2014, accepted 31 August 2014.



preventiva della pericolosità potenziale di incendio boschivo per mezzo di indici meteo-climatici è sicuramente strumento importante per la prevenzione e per la protezione del territorio.

Negli ultimi decenni sono stati sviluppati numerosi indici di rischio d'incendio (indici di pericolosità secondo la "Legge-quadro in materia di incendi boschivi" n. 353 del 21 novembre 2000), che considerano le condizioni atmosferiche istantanee e pregresse, nonché le condizioni del territorio e del materiale infiammabile. Anche l'intensità e la velocità di propagazione dell'incendio dipendono dalle condizioni meteorologiche presenti al momento dell'innescò dell'evento. Lo studio e lo sviluppo di opportuni indici meteorologici è stato portato avanti in Italia e all'estero da numerosi gruppi di ricerca (per esempio Palmieri *et al.*, 1992; Maracchi and Costantini, 1998; Xavier Viegas *et al.*, 1999, Aguado *et al.*, 2003, Sirca *et al.*, 2006, Sharples *et al.*, 2009). Gli indici proposti per quel che riguarda l'insorgenza dell'incendio sono spesso basati su dati di temperatura dell'aria e precipitazione attuale e pregressa, con l'aggiunta della velocità del vento per quel che riguarda la propagazione.

Nell'ambito della campagna di prevenzione degli incendi boschivi dell'Agenzia di protezione civile regionale (Regione Emilia-Romagna, 2012) l'Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente (Arpa) dell'Emilia-Romagna fornisce lo stato attuale e la previsione a tre giorni degli indici di pericolosità utilizzati dal Corpo Forestale dello Stato, nella versione numerica di Ventura *et al.*, (2001). In effetti due sono gli indici che concorrono a determinare il pericolo meteorologico di incendio boschivo, l'indice di innesco (II) e l'indice di propagazione (IP), calcolati entrambi con dati meteorologici misurati e previsti. Il loro utilizzo avviene attraverso l'uso delle previsioni meteorologiche a tre giorni, che permettono il calcolo della previsione a tre giorni di II e IP

e la produzione di mappe previsionali degli indici. Un esempio delle mappe è riportato in Fig. 1.

In questo lavoro si è voluta verificare l'efficacia dei due indici, calcolandoli a livello regionale per il periodo 2004-2008 e confrontandoli con dati di incendio boschivo effettivamente verificatisi in Emilia-Romagna. Questo ai fini di fornire agli utilizzatori operativi della protezione civile una valutazione quantitativa delle prestazioni degli indici stessi sul territorio regionale e di verificare la necessità di eventuali modifiche e/o integrazioni alle metodologie utilizzate.

## MATERIALI E METODI

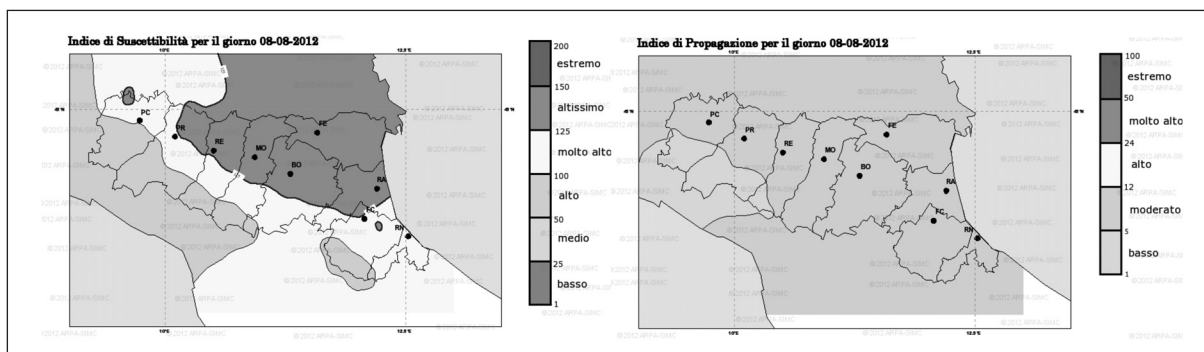
L'indice di pericolo d'incendio boschivo è la somma di due componenti, Indice di Innesco II e Indice di Propagazione IP, che prendono in considerazione aspetti diversi dell'ambiente nel quale l'evento può avere luogo e svilupparsi.

L'indice II è rappresentativo del deficit idrico e quindi delle condizioni meteorologiche in un arco di tempo precedente la data in cui viene calcolato; l'indice IP invece stima le caratteristiche di propagazione dell'incendio, ed è funzione delle condizioni meteorologiche presenti al momento dell'innescò. I dati meteorologici necessari al calcolo dei due indici sono temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità del vento e precipitazioni.

Una volta calcolati gli indici per le date in cui si sono verificati eventi di incendi boschivi essi sono stati messi in relazione con il numero di eventi (II) e le superfici bruciate (IP).

### Indice di Innesco (II)

Questo indice è rappresentativo dell'umidità del terreno e del combustibile leggero (definito come quello con diametro minore di 6 mm), e quindi della possibilità che i combustibili forestali si incendino, ovvero della facilità con cui l'incendio può avere inizio.



**Fig. 1** - Mappe previsionali dell'indice di innesco e dell'indice di propagazione per il giorno 8 agosto 2012 in Emilia-Romagna.

*Fig. 1 - Predictive Maps of ignition and propagation index for August 8, 2012, in Emilia-Romagna.*

Esso è basato sul fatto che l'evaporazione può essere stimata in funzione della temperatura dell'aria e che, in assenza di pioggia, l'umidità del terreno diminuisce a causa dell'evaporazione. Esso può essere considerato un'espressione del deficit idrico, stima quindi una sorta di bilancio idrico del suolo a sua volta correlato alle condizioni di stress vegetativo delle piante, alla suscettibilità della vegetazione ad infiammarsi ed alla possibilità che il fuoco attecchisca. Tale indice aumenta in funzione della temperatura massima  $T_x$  e del numero di giorni senza precipitazioni e diminuisce in seguito alle precipitazioni. In particolare  $II$  diminuisce in presenza di piogge efficaci  $Pe$  (mm), definite come le precipitazioni superiori a 5 mm, soglia corrispondente all'intercettazione della pioggia da parte del manto forestale e relativa rievaporazione (Ministero de agricultura, 1982), e aumenta in funzione della temperatura massima dell'aria, secondo una serie di funzioni empiriche  $f_n$ , con  $n$  dipendente dal valore dell'indice stesso, una volta rimosso l'effetto della pioggia efficace (Tab. 1).

In sintesi, al giorno  $i$ :

$$II_i = II_{i-1} - Pe_i + f_n(T_x) \quad (1)$$

Per esempio se:

$$II_{i-1} = 61, Pe_i = 10 - 5 = 5 \text{ mm}, T_x = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

risulterà

$$f_5 = (0.0055 * 20^2 - 0.0888 * 20 - 0.2144) = 4.64 \quad (2)$$

$$II_i = 61 - 5 + 4.64 = 51.36 \quad (3)$$

$II$  varia su una scala adimensionale estesa da 0 (basso) a 200 (estremo) come riportato in Tab. 2.

### Indice di Propagazione (IP)

IP è rappresentativo delle condizioni di sviluppo e avanzamento del fuoco una volta che l'incendio

n	II	$f_n$
1	0 - 12	$f_1 = 0.0091 * T_x^2 - 0.2491 * T_x + 1.8753$
2	13 - 25	$f_2 = 0.0094 * T_x^2 - 0.2770 * T_x + 2.1622$
3	26 - 38	$f_3 = 0.0073 * T_x^2 - 0.1666 * T_x + 0.7998$
4	39 - 51	$f_4 = 0.0078 * T_x^2 - 0.2232 * T_x + 1.7057$
5	52 - 64	$f_5 = 0.0055 * T_x^2 - 0.0888 * T_x - 0.2144$
6	65 - 77	$f_6 = 0.0082 * T_x^2 - 0.2639 * T_x + 2.2555$
7	78 - 90	$f_7 = 0.0038 * T_x^2 - 0.0237 * T_x - 1.1030$
8	91 - 103	$f_8 = 0.0047 * T_x^2 - 0.0746 * T_x - 0.4494$
9	104 - 116	$f_9 = 0.0087 * T_x^2 - 0.3350 * T_x + 3.3028$
10	117 - 129	$f_{10} = 0.0093 * T_x^2 - 0.3815 * T_x + 3.9422$
11	130 - 142	$f_{11} = 0.1694 * T_x - 4.1954$
12	143 - 150	$f_{12} = 0$ ; se $T_x \geq 30$ , $f=1$ ; se $T_x \geq 38$ , $f=2$
13	151 - 163	$f_{13} = 0$ , se $T_x \geq 34$ , $f=1$
14	164 - 175	$f_{14} = 0$ , se $T_x \geq 42$ , $f=1$
15	> 175	$f_{15} = 0$

**Tab. 1** - Funzioni empiriche di incremento giornaliero dell'indice di innesco  $II$  in base alla temperatura massima dell'aria  $T_x$  e al livello raggiunto dall'indice stesso.

*Tab. 1 - Empirical functions to determine the daily variation of the ignition index  $II$  as a function of maximum air temperature  $T_x$  and of the index itself.*

abbia avuto inizio. Esso viene calcolato, nel giorno  $i$ -esimo, tramite l'espressione empirica:

$$IP = \exp(0.879 + 0.1771 * FA - 0.346 * U_i + 0.0326 * T_i + 0.0233 * V_i) \quad (4)$$

dove  $U$  è l'umidità relativa media giornaliera (%),  $T$  è la temperatura media giornaliera ( $^\circ\text{C}$ ),  $V$  è la velocità media del vento ( $\text{km h}^{-1}$ ) e  $FA$  rappresenta una funzione di aridità (Tab. 3) scelta in base al numero di giorni trascorsi dall'ultimo giorno piovoso e

Valore	Classe	Interpretazione
0 - 25	Basso	Innesco molto difficile.
25 - 50	Medio	Può bruciare solo il combustibile leggero morto.
50 - 100	Alto	Le erbacee annuali secche possono bruciare completamente.
100 - 125	Molto alto	Il combustibile morto pesante (rami, tronchi, ecc) secca completamente e può bruciare fino alla completa consumazione. Per $II > 100$ l'estinzione dell'incendio è molto difficile.
125 - 150	Altissimo	Il contenuto di umidità degli arbusti vivi è basso, sono infiammabili.
150 - 200	Estremo	Gli alberi che crescono in suoli poco profondi possono seccare. I fuochi di chioma si sviluppano rapidamente.

**Tab. 2** - Indice di Innesco.  
*Tab. 2 - Ignition Index.*

Numero di giorni senza pioggia	Funzione di Aridità
0	$FA = 6.982 - 2.528 \log(P) + 0.021 II$
1-4	$FA = 5.174 - 0.062P + 0.031 II$
5-8	$FA = 5.226 - 0.039P + 0.032 II$
9-15	$FA = 5.122 - 0.013P + 0.032 II$
16-365	$FA = 5.054 - 0.006P + 0.032 II$

**Tab. 3** - Formule per il calcolo della Funzione di Aridità FA.  
*Tab. 3 - Formulas to compute the Aridity Function FA.*

Valore	Pericolo
1 - 5	Basso
5 - 12	Moderato
12 - 24	Alto
25 - 50	Molto alto
50 - 100	Estremo

**Tab. 4** - Indice di propagazione IP.  
*Tab. 4 - Propagation Index IP.*

dependente dal valore dell'indice di innesco e dalla quantità di precipitazione (P) eventualmente verificatasi nel giorno di calcolo.

L'indice IP può essere anche usato per stimare la velocità di propagazione delle fiamme su terreni pianeggianti e declivi, qualora si disponga di una stima della quantità di combustibile leggero presente sul terreno e delle pendenze corrispondenti (per dettagli si veda Ventura *et al.*, 2001).

A parità di condizioni meteorologiche in boschi piuttosto radi la velocità di avanzamento dell'incendio sarà probabilmente maggiore a causa della maggiore velocità del vento. Anche l'indice IP è adimensionale e varia nell'intervallo 1-100, suddiviso nelle fasce di pericolo da "basso" ad "estremo",

come riportato in Tab. 4. La scala utilizzata è di tipo lineare, ovvero si intende che la gravità dell'incendio cresce proporzionalmente all'indice IP.

### Dati meteorologici

In questo lavoro i dati meteorologici sono stati utilizzati in due modi diversi:

- Per il calcolo degli indici II e IP climatologici, per ciascuna grandezza è stata calcolata la media del periodo 1990-2011 dei dati decadal per ciascuno dei punti di griglia selezionati;
- Nel caso della verifica dell'efficacia degli indici sono stati utilizzati i dati meteorologici in corrispondenza del punto di griglia nel quale si è verificato ciascun incendio del database descritto nel punto successivo.

Più nel dettaglio, per caratterizzare la regione Emilia-Romagna dal punto di vista del rischio di incendio, gli indici sono stati calcolati nel periodo 1990-2011 a partire da dati climatici tipici di diversi regimi termo-pluviometrici presenti in regione. A questo scopo i valori degli indici sono stati determinati utilizzando dati ricavati da sei celle quadrate (5 km di lato) della griglia regionale di interpolazione (Antolini e Tomei, 2006), rappresentative della regione dal punto di vista microclimatico. Le caratteristiche dei punti selezionati sono riportate in Tab. 5. Per semplicità gli indici climatici sono stati calcolati su base decennale, utilizzando valori interpolati spazialmente di temperatura, umidità relativa, velocità del vento e precipitazioni, mediati nel periodo 1990-2011.

### Dati di incendio boschivo

I dati relativi agli incendi boschivi sono stati forniti dal Corpo Forestale dello Stato e dall'Agenzia di Protezione Civile della regione Emilia Romagna. In particolare si tratta per ciascuna data, di dati divisi per comune di occorrenza, specificando se si tratta

Sito	Latitudine	Longitudine	Altitudine (m)	Tipologia
Bologna (BO)	44.50	11.34	75	Pianura centrale
Piacenza (PC)	45.04	09.64	72	Pianura occidentale
Rimini (RN)	44.05	12.54	8	Pianura orientale
Bedonia (PR)	44.54	09.64	521	Appennino centro
Sestola (MO)	44.27	10.77	985	Appennino occidentale
Campigna (FC)	43.87	11.78	1097	Appennino orientale

**Tab. 5** - Punti della griglia meteo regionale utilizzati per la caratterizzazione climatica.  
*Tab. 5 - Grid points used for the characterization of regional climate.*

di incendi di sterpaglia/ sottobosco/ bosco, con il numero di ettari bruciati e sono correlati da alcune indicazioni di tipo operativo (risorse impegnate, interventi aerei ecc.) relativi all'operato delle Guardie Forestali.

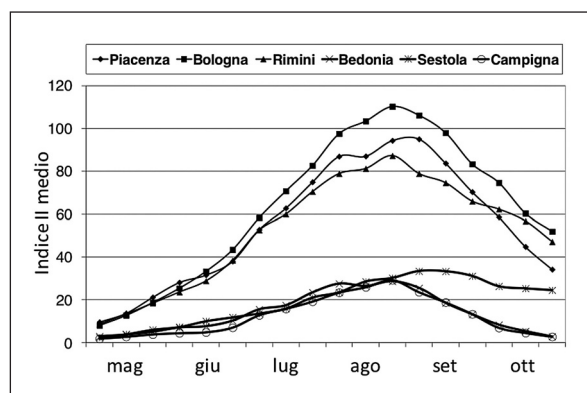
I dati di incendio sono stati geo-referenziati per confrontarli con i valori degli indici calcolati nella maglia della griglia regionale corrispondente a ogni evento. Ciò è stato fatto dopo aver selezionato i dati riguardanti gli incendi esclusivamente boschivi. Alcuni dati sono stati eliminati poiché incompleti, in particolare le annotazioni riguardanti il periodo 2009-2011 non riportavano la superficie di bosco bruciata, o la riportavano solo saltuariamente, rendendo i dati inutilizzabili ai fini dello studio. Si segnala inoltre un periodo con assenza di rilevazioni a cavallo del 2006.

Per valutare l'affidabilità degli indici si è deciso di analizzare esclusivamente gli eventi verificatisi nel semestre più caldo (da maggio a ottobre), poiché questo è il periodo più critico relativamente al numero degli incendi ed alla dimensione delle aree bruciate, così il campione dei dati residui si è ridotto a circa 300 casi, distribuiti tra il 2004 e il 2008. A questo punto il numero di eventi effettivi di incendio è stato messo a confronto con l'indice II, mentre gli ettari di bosco interessati dal fuoco sono stati confrontati con i valori dell'indice IP.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

### Indice di Innesco

Nel grafico in Fig. 2 è riportato l'andamento dell'indice di innesco climatologico da maggio a ottobre, per le sei località campione di pianura e

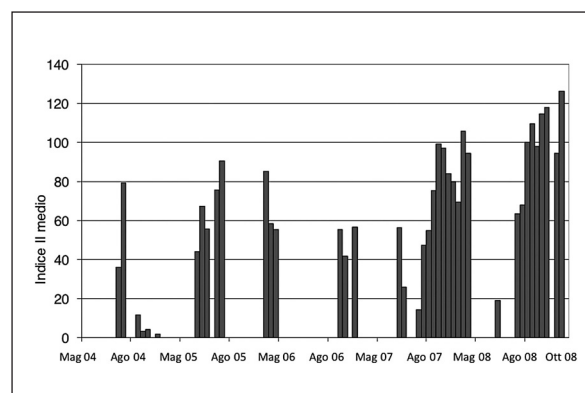


**Fig. 2** - Indice di innesco medio decadale per sei punti della regione Emilia-Romagna, calcolato sul semestre di maggior frequenza degli incendi (anni 1990-2011).

*Fig. 2 - Index ignition decadal average for six points of the Emilia-Romagna region, calculated on the semester of highest frequency of fires (years 1990-2011).*

montagna, nei settori occidentale, centrale e orientale della regione. L'indice cresce con l'avanzare della stagione calda fino a raggiungere un picco nella terza decade di agosto, per poi discendere al diminuire delle temperature ed al ritorno delle precipitazioni autunnali. I valori dell'indice sono sensibilmente minori sulle zone montuose rispetto alla pianura, poiché le precipitazioni convettive della stagione estiva sono più frequenti ed intense rispetto alla pianura e le temperature si mantengono più basse. Sono invece maggiori nella zona centrale della regione dove le precipitazioni estive sono inferiori rispetto alla zona occidentale, e dove le temperature sono più elevate rispetto alla zona orientale nella quale è anche presente l'effetto mitigante del mare Adriatico. L'indice medio di innesco in Appennino si mantiene nelle classi basso-medio mentre in pianura tra agosto e settembre raggiunge le classi alto - molto alto.

In Fig. 3 si riporta il valore dell'indice di innesco calcolato per le decadi nelle quali si sia verificato almeno un evento di incendio di tipo boschivo, in tutti i punti nei quali l'incendio è occorso, nell'intera regione e durante il semestre maggio-ottobre per gli anni dal 2004 al 2008. I valori della decade sono mediati se nella stessa si sono verificati più eventi, anche in siti diversi. Dal grafico si nota che si verificano incendi anche quando l'indice di innesco (II) è piuttosto basso. In particolare dai dati disponibili si evince che in Emilia-Romagna nel periodo considerato si sono verificati 11 eventi con II basso (II £ 25), 17 eventi con II medio (25 < II £ 50), 101 eventi con II alto (50 < II £ 100) e 26 eventi con II molto alto (100 < II £ 125), nessun evento con classi superiori. In pratica dunque non



**Fig. 3** - Indice di innesco nelle decadi in cui si sono verificati incendi boschivi tra maggio e ottobre per gli anni 2004-2008 in Emilia-Romagna.

*Fig. 3 - Ignition index in the decades in which fires occurred between May and October for the years 2004 - 2008 in the Emilia-Romagna region.*

si rileva un valore di soglia dell'indice che discrimini l'evenienza degli incendi dalla non evenienza degli stessi. Il numero di incendi per decadi appare comunque ben correlato con i valori medi decadal dell'indice di innesco ( $R = 0.73$ ).

In mancanza di una soglia evidente si è presa in esame anche l'anomalia dell'indice rispetto ai valori climatici di riferimento (Fig. 2), calcolata come differenza tra l'indice effettivo in occasione del verificarsi di un incendio e il valore medio climatologico dell'indice nella stessa data e luogo. A valori positivi dell'anomalia corrispondono quindi valori reali superiori alla media del periodo e viceversa in caso di valori negativi.

In Fig. 4 si riporta la distribuzione del numero di eventi di incendio boschivo per classi di anomalia dell'indice di innesco, a prescindere dall'estensione dell'area bruciata. Il grafico mostra che la distribuzione del numero di incendi boschivi non aumenta sensibilmente in presenza di forti anomalie positive dell'indice di innesco, la massima frequenza di distribuzione è invece attestata intorno a valori dell'indice di poco superiori alle sue medie climatiche. Si possono sviluppare incendi anche con anomalie negative, sebbene siano più popolate le classi di anomalia positiva. Quindi dall'esame visivo del grafico si può dire che in Emilia-Romagna nella stagione calda i valori medi climatici dell'indice sono già sufficienti a favorire l'evenienza di incendio boschivo, e che la maggior parte degli eventi si verifica in presenza di anomalie dell'ordine di 5 - 35 punti di II.

Dal punto di vista operativo questa informazione risulta utile ai fini di protezione civile, dato che il rag-

giungimento del valore climatico da parte dell'indice II può attivare le opportune procedure di attenzione.

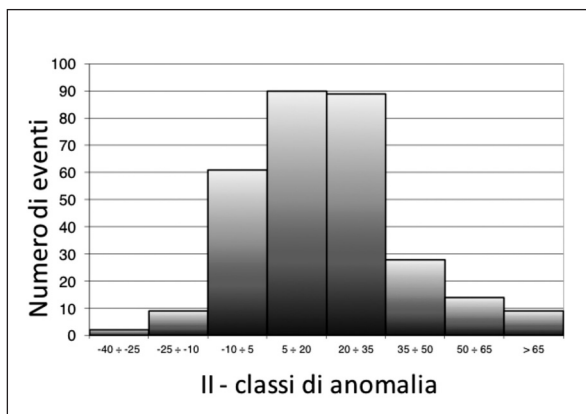
### Indice di Propagazione

Anche nel caso dell'indice di propagazioni degli incendi si è seguita la procedura della caratterizzazione climatologica della regione. Analogamente al precedente anche IP presenta una distribuzione areale differenziata, sebbene non così evidente come per l'indice di innesco.

In Fig. 5 è illustrato l'andamento climatico dell'indice di propagazione IP per sei siti dell'Emilia-Romagna negli anni 1990-2011 tra maggio e ottobre. L'indice medio presenta in generale valori molto bassi, inferiori a 6 per la curva dei valori più intensi, rappresentata da Bologna. In generale dunque nella regione si ottengono sempre valori di IP compresi nella fasce "basso" e "moderato".

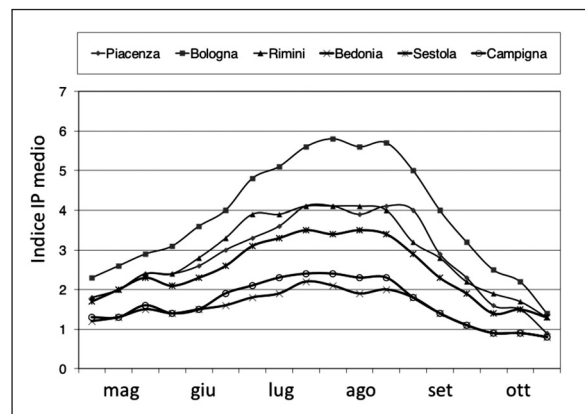
La Fig. 6 mostra i valori medi decadal di IP nel periodo aprile 2004 - ottobre 2008, in corrispondenza delle decadi in cui sono stati rilevati gli eventi effettivi di incendio. Salvo un caso i valori di IP si mantengono sempre inferiori a 12, ovvero nelle fasce di pericolo da basso a moderato, rispecchiando la bassa ventosità della regione Emilia-Romagna (Marletto *et al.*, 2009). La correlazione tra il valore di IP e la superficie bruciata in tutti gli eventi analizzati appare bassa ( $R = 0.22$ ).

Anche per questo indice abbiamo determinato le anomalie rispetto al periodo di riferimento, come nel caso dell'indice di innesco. In Fig. 7 è rappresentato il numero medio di ettari bruciati per evento, nella decade, in funzione della classe di ano-



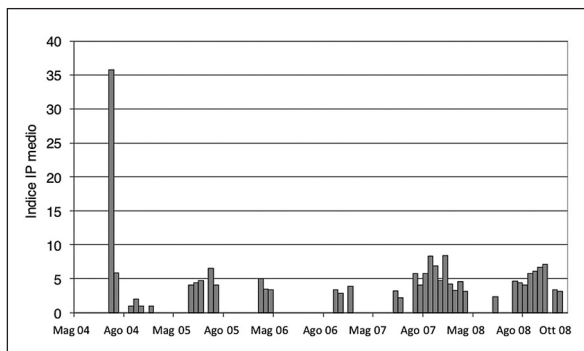
**Fig. 4** - Distribuzione del numero di incendi boschivi in funzione delle classi di anomalia dell'indice di innesco, per lo stesso periodo di Fig. 3.

*Fig. 4 - Distribution of the number of forest fires on the basis of the classes of the ignition index, for the same period of Fig. 3.*



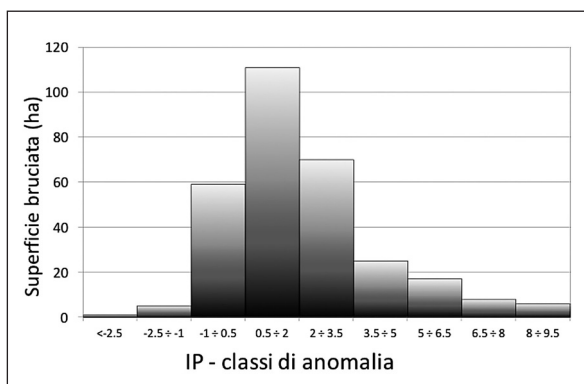
**Fig. 5** - Indice di Propagazione medio decadale per sei punti della regione Emilia-Romagna, calcolato sul periodo di maggior frequenza degli incendi (anni 1990-2011).

*Fig. 5 - Propagation Index decadal average for six points in the Emilia-Romagna region, calculated on the period of greatest frequency of fires (years 1990-2011).*



**Fig. 6** - Indice di propagazione nelle decadi in cui si sono verificati incendi boschivi tra maggio 2004 e ottobre 2008 in Emilia-Romagna.

*Fig. 6 - Index of propagation in the decades in which fires occurred between May 2004 and October 2008 in the Emilia-Romagna region.*



**Fig. 7** - Distribuzione della superficie percorsa dal fuoco durante incendi boschivi in funzione delle classi di anomalia dell'Indice di Propagazione, nello stesso periodo di Fig. 6.

*Fig. 7 - Distribution of the surface covered by fire during forest fires according to the classes of Propagation Index anomaly in the same period in Fig. 6.*

malia dell'indice IP. Si può notare come l'anomalia sia preferenzialmente positiva, sebbene piccole superfici sono bruciate in presenza di anomalie negative dell'indice. In generale comunque la maggior parte degli ettari bruciati di bosco per evento si presenta con anomalie di IP piccole, ovvero in situazioni prossime a quelle climatiche.

Dal punto di vista operativo anche questa informazione risulta utile ai fini di protezione civile, dato che il raggiungimento del valore climatico da parte dell'indice IP può ingenerare estensioni bruciate non trascurabili.

## CONCLUSIONI

Nella regione Emilia-Romagna l'innesco degli incendi boschivi e il relativo sviluppo è influenzato dalle condizioni meteorologiche pregresse e previ-

ste, nonostante che gli eventi effettivi di incendio, appaiano tutti causati da fatti colposi o dolosi.

In questo lavoro si è verificata l'efficacia di due indici meteorologici di pericolosità, attualmente utilizzati dal Corpo Forestale dello Stato, e disponibili in versione rivista da Arpa Emilia-Romagna presso l'Agenzia regionale di Protezione Civile; gli indici rappresentano rispettivamente (II) la probabilità dell'innesco di un incendio e (IP) di propagazione dello stesso. I prodotti forniti da Arpa sfruttano anche le previsioni meteorologiche numeriche, permettendo quindi la previsione a tre giorni di II e IP e la produzione delle relative mappe regionali.

Gli indici, calcolati a livello regionale per il periodo 2004-2008, sono stati confrontati con i dati di incendio boschivo rilevati in Emilia-Romagna dal Cfs. Dal confronto tra i valori degli indici e gli incendi effettivamente verificatisi, sia come occorrenza che come estensione, si è notato che II appare ben correlato con la numerosità degli eventi mentre IP non appare ben correlato alla loro estensione. Inoltre si è notato che l'anomalia degli indici rispetto ai valori medi degli indici stessi calcolati nel periodo 1990-2011 risulta operativamente utile, in particolare se affiancata al valore assoluto degli indici stessi.

Alla luce di questa analisi le procedure attuali verranno integrate e riporteranno mappe di previsione e di anomalia degli indici rispetto al clima. Ci attendiamo che questo accorgimento renda più efficace l'uso degli indici, che tuttavia forniscono già utili indicazioni operative ai fini della prevenzione degli incendi boschivi in Emilia-Romagna.

## BIBLIOGRAFIA

- Aguado I., Chuvieco E., Martín P., Salas J., 2003. Assessment of forest fire danger conditions in southern Spain from NOAA images and meteorological indices. *International Journal of Remote Sensing*, 24(8), 1653-1668. DOI: 10.1080/01431160210144688
- Antolini G., Tomei F., 2006. Praga - programma di analisi e gestione di dati agrometeorologici. Atti del convegno Aiam2006, Torino, 6-8 giugno 2006, Riam 11(suppl. 1), 79-82. [http://www.agrometeorologia.it/documenti/Aiam2006/Antolini\\_praga.pdf](http://www.agrometeorologia.it/documenti/Aiam2006/Antolini_praga.pdf)
- Corpo forestale dello Stato, Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, 2012. Incendi boschivi 2011. [www3.corpoforestale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/7747](http://www3.corpoforestale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/7747)
- Costantini R., Maracchi G., 1998. A Meteorological Model for Forest Fire Forecast in Tuscany.
- FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007. Fire management global as-



assessment 2006. A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. FAO Forestry Paper 151, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/A0969E/A0969E00.pdf>

Flannigan M.D., Stocks B.J., Wotton B.M., 2000. Climate change and forest fires. *Science of The Total Environment* 262 (3), 221-229.

Harris S.A.B., Nicholls N.A., Tapper N.A., 2013. Forecasting fire activity in Victoria, Australia, using antecedent climate variables and ENSO indices. *International Journal of Wildland Fire* - <http://dx.doi.org/10.1071/WF13024>.

Karali A., Hatzaki M., Giannakopoulos C., Roussos A., Xanthopoulos G., Tenentes V., 2014. Sensitivity and evaluation of current fire risk and future projections. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 143-153.

Maracchi G., Costantini R., 1998. A Meteorological Model for Forest Fire Forecast in Tuscany. Proceedings of III International Conference on Forest Fire Research "Forest Fire Research", Coimbra 16/20 November 1988, Portugal. Edited by: D. X. Viegas, ADAI Univ. Coimbra, Portugal, 1085-1098.

Marletto V., Antolini G., Tomei F., Pavan V., Tomozeiu R., 2009. Atlante idroclimatico dell'Emilia-Romagna 1961-2008. Quaderni di Arpa Emilia-Romagna, ISBN 88-87854-24-6 (<http://www.arpa.emr.it/sim/?clima>).

Ministerio de agricultura, pesca y alimentacion, Instituto nacional para la conservacion de la naturaleza, 1982. Manual de prediccion del peligro de incendios forestales. 110 pp.

Moriondo M., Good P., Durao R., Bindi M., Giannakopoulos G., Corte-Real J., 2006. Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Clim Res* 31:85-95.

Palmieri S., Inghilesi R., Siani A.M., and Martellacci C., 1992. Un indice meteorologico di rischio per incendi boschivi. *Bollettino Geofisico* 15, 49-62.

Regione Emilia-Romagna - Piano regionale di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi ex L.353/2000. Periodo 2012-2016 (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/foreste/attivita/incendi-boschivi>).

Sharples J.J., McRae R.H.D., Weber R.O., Gill A.M., 2009. A simple index for assessing fire danger rating. *Environmental Modelling & Software* 24 (2009) 764-774.

Sirca C., Spano D., Pisanu P., Duce P., Delogu G., Cicalò G.O., 2006. Ichnusa Fire Index: Development and preliminary evaluation at local scale. *Forest Ecology and Management*, DOI: 10.1016/j.foreco.2006.08.279.

Thonicke K., von Bloh W., Lutz J., Knorr W., Wu M., Arneeth A., 2013. Changes in future fire regimes under climate change. *Geophysical Research Abstracts* 15, EGU2013-6114-2.

Ventura F., Marletto V., Zinoni F., 2001. Un metodo di calcolo dell'indice meteorologico di rischio di incendio forestale. *Sherwood* 60, 13-16 (pdf disponibile presso gli autori, a richiesta).

Xavier Viegas D., Bovio G., Ferreira A., Nosenzo A., Sol B., 1999. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of Wildland Fire* 9(4) 235-246.