



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI AGRARIA

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA
TERRITORIO, AMBIENTE, RISORSE E SALUTE
INDIRIZZO: ECOLOGIA

XXI CICLO

Applicazione del *Canadian Forest Fire Weather Index System* nel contesto della Grande Regione Alpina (GAR): potenzialità e problematiche

Direttore della Scuola di Dottorato:
Ch.mo Prof. Vasco Boatto

Supervisore
Ch.mo Prof. Tommaso Anfodillo

Dottoranda

EVA VALESE

Matr. 964811/DR

ANNO ACCADEMICO 2008

INDICE

ABSTRACT

ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

1. INTRODUZIONE	7
1.1. SISTEMI DI CALCOLO DEL PERICOLO DI INCENDIO IN NORD - ITALIA	9
1.2. IL CANADIAN FOREST FIRE WEATHER INDEX SYSTEM	10
1.2.1. IL FINE FUEL MOISTURE CODE (FFMC)	12
1.2.2. IL DUFF MOISTURE CODE (DMC)	13
1.2.3. IL DROUGHT CODE (DC)	14
1.2.5. IL BUILD UP INDEX (BUI)	17
1.2.6. IL FIRE WEATHER INDEX (FWI)	18
1.2.8. INTERPRETAZIONE DEL CFFWIS E MODULI SUPPLEMENTARI DEL CFFDRS	20
1.3. LA REGIONI ITALIANE SETTENTRIONALI NELLA GRANDE REGIONE ALPINA E IL PERICOLO D'INCENDIO BOSCHIVO	23
1.3.1. GAR E MULTI-SCALE APPROACH	23
1.3.2. CARATTERISTICHE DEGLI INCENDI BOSCHIVI NELLE REGIONI ITALIANE SETTENTRIONALI	28
1.4. OBIETTIVI	33
2. REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI CALCOLO DELL'INDICE DI PERICOLO CANADESE SPAZIALIZZATO PER LA REGIONE VENETO	34
2.1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI	34
2.2. FASE 1: ANALISI CLIMATICA E SCELTA DELLE STAZIONI PER IL CALCOLO GIORNALIERO DELL'INDICE	34
2.2.1. PREDISPOSIZIONE DEL DATASET	35
2.2.2. METODOLOGIA PER LA DEFINIZIONE DELLE AREE CLIMATICAMENTE OMOGENEE	36
2.2.3. METODOLOGIA PER LA SCELTA DELLE STAZIONI PIÙ RAPPRESENTATIVE	39
2.2.4. RISULTATI E DISCUSSIONE	40
2.3. FASE 2: PREDISPOSIZIONE DEL SISTEMA DI CALCOLO DELL'INDICE E DI RESTITUZIONE DEI RISULTATI ALL'UTENTE	45
2.4. FASE 3: PERFORMANCE DELL'INDICE E CALIBRAZIONE PILOTA IN PROVINCIA DI VERONA	47
2.4.1. PREDISPOSIZIONE DEL DATASET	48
2.4.2. METODOLOGIA DI CALIBRAZIONE E ANALISI DELLA PERFORMANCE	50
2.4.3. RISULTATI E DISCUSSIONE	51
2.5. CONCLUSIONI	54
3. VALUTAZIONE DEI FATTORI PREDISPONENTI IL VERIFICARSI DI FUOCHI DI CHIOMA IN VALLE D'AOSTA	55
3.1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI	55
3.2. MATERIALI E METODI	59
3.2.1. SITI, SPECIE STUDIATE E MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO	59
3.2.2. INDICI METEOROLOGICI PER LA PREVISIONE DELL'UMIDITÀ DEI COMBUSTIBILI VIVI	62
3.2.3. METODOLOGIA DI INDAGINE PER LA DEFINIZIONE DEI MODELLI PREDITTIVI	63
3.3. RISULTATI	65
3.4. DISCUSSIONE	75
3.5. CONCLUSIONI	82

<u>4. VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'INDICE RISPETTO AD ALCUNI EVENTI STRAORDINARI IN LOMBARDIA</u>	83
4.1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI	83
4.2. MATERIALI E METODI	84
4.2.1. EVENTI STRAORDINARI CONSIDERATI E INFORMAZIONI A DISPOSIZIONE PER LA VALUTAZIONE DEL PERICOLO D'INCENDIO	84
4.3. RISULTATI E DISCUSSIONE	89
4.4. CONCLUSIONI	99
<u>5. CONCLUSIONI</u>	101
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	104
<u>ALLEGATO I. ALGORITMI E SCHEMA DI CALCOLO DEL <i>FIRE WEATHER INDEX</i></u>	114
<u>ALLEGATO IIA. COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE CALCOLATI UTILIZZANDO IL DATASET NEVE0 (AZZERAMENTO DEI VALORI DEGLI INDICI DEL CFFWI IN PRESENZA DI NEVE AL SUOLO)</u>	117
<u>ALLEGATO IIB. COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE CALCOLATI UTILIZZANDO IL DATASET NEVE1 (CONVERSIONE DELLA NEVE AL SUOLO IN ACQUA PIOVANA PER IL CALCOLO DEGLI INDICI DEL CFFWI)</u>	125
<u>ALLEGATO III. BOLLETTINO METEO AIB</u>	133
<u>ALLEGATO IV. BOLLETTINO FWI</u>	135
<u>ALLEGATO V. TABELLA C5 ESTRATTA DAL <i>RED BOOK</i> (TAYLOR <i>ET AL.</i> 1997)</u>	139
<u>ALLEGATO VI. SITUAZIONI SINOTTICHE</u>	140

"Si vis pacem para bellum"

SUMMARY

Wildland fires are not the main ecological disturbance in Northern Italy, but the need of operative personnel on the field justifies the research of new tools to ensure them a safe work environment. In this study the application of the Canadian Forest Fire Weather Index System has been analysed, with a focus on three Italian regions: Veneto, Aosta Valley and Lombardy. Both initial phase of implementation and advanced applications have been taken into account. The regions have been considered in the frame of the Greater Alpine Region (GAR), in order to provide a multi-scale approach. In particular, it has been studied: 1) the initial implementation of the fire danger system, and the index spatialization in Veneto, followed by a pilot calibration in Verona province; 2) the evaluation of crown fires leading factors and production of models to predict the critical live fine fuels moisture in Aosta Valley; 3) preliminary evaluation of FWI System performance in regard to large fires (burnt area higher than 100 ha) in Lombardy. Results of the work are addressed to enhance the actual knowledge on winter fires and to underline their specificity.

RIASSUNTO

Pur non rappresentando il principale disturbo ecologico in Nord Italia, gli incendi boschivi impegnano sul campo il personale operativo, a cui va assicurata la sicurezza dell'ambiente di lavoro. In questa ricerca viene analizzata l'applicazione del *Canadian Forest Fire Weather Index System* in alcune regioni dell'Italia Settentrionale (Veneto, Valle d'Aosta e Lombardia), sia a livello di predisposizione iniziale del sistema che di esplorazione avanzata di potenzialità e problematiche. Lo studio contestualizza queste regioni nel contesto della Grande Regione Alpina, prendendo in considerazione diversi livelli spaziali di analisi. Tre le principali tematiche affrontate: 1) la realizzazione di un sistema di calcolo e la spazializzazione dell'indice di pericolo canadese nella regione Veneto e una calibrazione pilota in Provincia di Verona; 2) la valutazione dei fattori predisponenti il verificarsi di fuochi di chioma in Valle d'Aosta con la produzione di modelli predittivi della variazione di umidità nei combustibili aerei vivi; 3) la valutazione preliminare dell'indice rispetto ad alcuni eventi straordinari in Lombardia. Gli avanzamenti prodotti mirano a riempire, seppur parzialmente, le lacune nella conoscenza degli incendi boschivi invernali, e ad evidenziarne la specificità.

1. INTRODUZIONE

Il fuoco in foresta è una perturbazione ecologica complessa e poliedrica, che da sempre mette l'uomo di fronte a situazioni inattese. La determinazione del pericolo d'incendio è alla base di tutti i più avanzati servizi di antincendio boschivo e contribuisce a limitare questo grado di incertezza, integrando le conoscenze scientifiche con l'esperienza operativa, in applicazioni pratiche di *fire management* (Taylor e Alexander, 2006). La predisposizione di un sistema di calcolo del pericolo fornisce supporto decisionale alla gestione e al controllo del fuoco dove sia necessario pianificare la vigilanza sul territorio (rotte dei mezzi aerei e punti di controllo dei mezzi terrestri); prepararsi all'emergenza e dichiarare lo stato di allerta (predisposizione di un flusso operativo diverso a seconda della fase di emergenza); migliorare le condizioni di sicurezza sul lavoro; emanare divieti e misure di sicurezza per la popolazione; pianificare fuochi prescritti o altre attività legate alla gestione dei combustibili e alla prevenzione dei grandi incendi (Van Nest e Alexander 1999). È bene precisare che in questo lavoro, col termine pericolo d'incendio, si intende la probabilità che un fuoco forestale si verifichi, in presenza di condizioni che possono facilitarne l'innescò o la propagazione (Chuvieco *et al.* 2003), a differenza del termine rischio che designa il pericolo in relazione alla vulnerabilità di un certo territorio, a sua volta determinata dal valore dei beni presenti e della possibile perdita di vite umane (Bachman e Allgower 1998).

Tradizionalmente, nei paesi europei, il pericolo di incendio è stato calcolato su scala nazionale o locale usando diversi metodi e tipologie di dati. Per rendere gli indici confrontabili tra loro, l'Unione Europea incaricò nel 1997 il *Joint Research Center* di Ispra di mettere a punto il Sistema Informativo Europeo degli Incendi Forestali (*EFFIS*) (San Miguel-Ayanz *et al.* 2003, Camia *et al.* 2006), per costituire un'interfaccia aperta agli stati membri e ai servizi della Commissione su questo tema. Il modulo corrispondente al pericolo d'incendio è stato denominato *European Forest Fire Risk Forecasting System (EFFRFS)* e fornisce una previsione del pericolo durante la stagione di massima ricorrenza (da maggio a ottobre). La valutazione del pericolo d'incendio è stata considerata sia partendo da indicatori di tipo statico (di lungo periodo o strutturali) sia indicatori di tipo dinamico (di breve periodo) (tabella 1). Gli indici meteorologici di pericolo (o indici di rischio meteorologico secondo la nomenclatura *EFFIS*) si possono raggruppare secondo l'approccio utilizzato per la selezione e integrazione delle variabili, come ben descritto da Chuvieco *et al.* (1999) e vengono calcolati a partire da parametri meteorologici giornalieri. In letteratura, questi indici vengono spesso denominati semplicemente indici di pericolo (San Miguel-Ayanz 2002).

Inizialmente, tramite il software *EUDIC* (Bovio e Camia, 1999), venivano calcolati sei indici (Bovio e Camia 2000), selezionati per rappresentare gli indici meteorologici utilizzati nell'Europa Meridionale : *Behave* (Rothermel *et al.* 1986; Viney, 1991), il *Canadian Fire Weather Index* (Van

Wagner, 1987), l'Indice Portoghese (Gonçalves e Lourenço, 1990), il Metodo Spagnolo per la stima della probabilità di accensione (ICONA, 1993), il *Sol Numerical Risk* (Drouet e Sol, 1993; Sol, 1990) e l'Indice di Pericolo Italiano (Palmieri *et al.* 1993). I diversi metodi di calcolo vennero testati in parallelo, ricorrendo spesso a collaborazioni tra specialisti di diversi paesi (Viegas *et al.* 1999). Infine, nel 2007, il *Fire Weather Index* venne scelto per la valutazione del pericolo giornaliero nel network *EFFIS*, modificando leggermente gli algoritmi di calcolo per sopperire alle differenze nella lunghezza del giorno all'interno dell'Unione Europea. Pur nascendo come sistema di calcolo del pericolo in foreste prevalentemente boreali, il *Canadian Forest Fire Weather Index System (CFFWIS)* dimostra due caratteristiche che lo rendono, attualmente, il sistema che ha trovato maggiore diffusione a livello globale: la semplicità e l'adattabilità, resa attraverso fattori di correzione o soglie di pericolosità (Lawson e Armitage 2008, Dymond *et al.* 2005, De Groot *et al.* 2006). Il sistema informativo europeo è stato concepito per assistere la Protezione Civile nei casi in cui il livello di pericolo richiedesse una cooperazione internazionale (San Miguel-Ayanz 2002). In Italia, questo bisogno era stato sottolineato già nel 1976 nella pubblicazione di Berti, in cui, tra l'altro, si fanno brevi cenni al concetto, ancora non ben definito, di "coefficiente di pericolo per incendio boschivo". Queste prime considerazioni furono approfondite in occasione del Convegno Internazionale di Studi sui Problemi degli Incendi Boschivi in Ambiente Mediterraneo, tenutosi a Bari nel 1983, durante il quale Louis Trabaud espresse una prima valutazione sui principali sistemi internazionali allora disponibili (AA.VV. 1984), identificati nel sistema australiano (Cheney 1968; McArthur 1966), canadese (Van Wagner 1974a) e americano (Deeming *et al.* 1972), mentre diverse regioni italiane relazionarono sull'utilizzo del noto "regolo" utilizzato per anni dal CFS. Dopo il provvedimento preso nel 1972 (1972, DPR n. 8), che delegava alle Regioni italiane l'amministrazione dell'antincendio boschivo, ogni Regione ha deciso come e se dotarsi di un nuovo sistema di calcolo, mentre a livello nazionale la Protezione Civile ha elaborato un nuovo sistema (*RISICO*), basato anch'esso su alcune assunzioni del *CFFWIS*, che in futuro darà indicazioni sull'intensità del fronte di fiamma, ma che necessita ancora di informazioni georiferite relativamente ai combustibili forestali (Fiorucci *et al.* 2006, Fiorucci *et al.* 2004).

Indicatori statici	Indicatori dinamici
Probabilità di accadimento	Indici di rischio meteorologico
Danno probabile	<i>Vegetation stress fire risk</i> (Illera <i>et al.</i> 1996) <i>Fire Potential Index</i> (Sebastian <i>et al.</i> 2002)

Tabella 1 Indicatori di pericolo valutati da *EFFIS*. Fonte: Ayanz (2002)

1.1. SISTEMI DI CALCOLO DEL PERICOLO DI INCENDIO IN NORD - ITALIA

Le regioni nord-italiane dividono in sette unità amministrative un'area di circa 100,000 km² e la loro dimensione media è assimilabile ad un quadrato di 120 km x 120 km; il confine nazionale attraversa le aree alpine generando contaminazioni e particolarità linguistiche. Il frazionamento gestionale che ne consegue ostacola una visione strategica degli incendi e rende meno diretta la cooperazione tra regioni diverse. Negli ultimi due anni è emersa la necessità di condividere esperienze e di trovare soluzioni comuni, sfociata in alcune riunioni tecniche organizzate da addetti ai lavori di diverse regioni, provenienti sia da realtà operative, che amministrative e accademiche. È stata presa in considerazione l'idea di adottare lo stesso sistema di calcolo del pericolo, coinvolgendo anche i Paesi vicini. La scelta è ricaduta sul *Canadian Forest Fire Weather Index System* che viene utilizzato in Valle d'Aosta dal 1994 e in Piemonte dal 2005. Si trattava non solo di acquisire nuove tecnologie, ma soprattutto di trovare una piattaforma dove confrontare le rispettive casistiche di incendi. Indirettamente, l'applicazione di uno strumento comune può migliorare la conoscenza globale del fenomeno e facilitare la creazione di un'"identità alpina", che non è ancora stata riconosciuta nemmeno a livello centrale: basti pensare che i bollettini antincendio inviati dalla Protezione Civile Nazionale escludono totalmente la stagione invernale. Anche l'*EFFIS* produce una previsione del pericolo limitata al periodo maggio - ottobre.

Le regioni che hanno scelto di aderire all'applicazione del *FWI* sono state il Veneto, che aveva preso questa decisione precedentemente, la Lombardia, che sta predisponendo il sistema, e il Friuli, in cui era stato elaborato un indice specifico di pericolo che non ha trovato una vera applicazione (Stefanuto 2000). Le altre regioni, Liguria e Province Autonome di Trento e Bolzano, utilizzano un sistema diverso. Il Liguria è attivo da anni lo *SPIRL* (Servizio Previsione Incendi Regione Liguria) che fornisce ogni giorno e per tutto l'anno la previsione delle aree a maggior rischio di innesco e propagazione degli incendi e informazioni in tempo reale durante le operazioni di spegnimento (Fiorucci *et al.* 2002). In Trentino, recentemente, è stato predisposto un nuovo sistema per l'individuazione delle aree a rischio d'incendio boschivo, basato sulla classificazione dei fattori predisponenti in ambiente GIS, attraverso la caratterizzazione analitica di aspetti morfologici, vegetazionali e antropici (Marzano *et al.* 2008). In Piemonte, prima di adottare il *FWI*, il pericolo veniva monitorato attraverso l'indice *IREPI* o Indice di Riduzione Evapotraspirazionale per il Pericolo d'Incendio (Bovio *et al.* 1984), basato sulla quantificazione della differenza tra l'evapotraspirazione potenziale e l'evapotraspirazione reale giornaliera. Pur dimostrandosi adeguato per il calcolo del pericolo nella stagione invernale, l'indice è stato sostituito dal *Fire Weather Index* perché di più semplice gestione.

1.2. IL CANADIAN FOREST FIRE WEATHER INDEX SYSTEM

La prima versione del *Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System* uscì nel 1970 (Van Wagner 1970; Schroeder e Buck 1970) dopo un lavoro di diversi anni, svolto da un nutrito numero di ricercatori del *Canadian Forestry Service*, e basato su esperimenti svolti in campo. I dati raccolti riguardavano parametri meteorologici, contenuti idrici dei combustibili forestali e misure del comportamento del fuoco su piccola scala, e sono gli stessi su cui si basa il sistema attualmente in uso. L'*FWI System* fu formalmente predisposto nella versione corrente da Van Wagner nella pubblicazione FTR-35 del *Canadian Forestry Service* (1987). Basicamente si tratta di un set di equazioni empiriche (Van Wagner e Pickett 1985) che si riferiscono ad un tipo di combustibile standard corrispondente alle pinete di *Pinus banksiana* e *Pinus contorta*¹ adatte come misura generale del pericolo d'incendio in Canada. La questione di come considerare il comportamento del fuoco in base al modello di combustibile doveva essere separata e affrontata in altro modo. Le equazioni stimano il contenuto idrico del combustibile morto sulla base di relazioni empiriche di idratazione e disidratazione (*wetting* e *drying rates*) rispetto ai principali parametri meteorologici. Questi parametri vengono registrati giornalmente in un orario compreso tra le 12 e le 13, rappresentativo del picco giornaliero di pericolo (che generalmente si manifesta attorno alle ore 16:00). Le variabili considerate sono la temperatura dell'aria, l'umidità relativa, la velocità del vento a 10 m dal suolo, e le precipitazioni che si sono verificate durante le precedenti 24 ore. L'ora considerata per la misurazione delle variabili viene definita ora locale standard (*LST*) e deve essere specificato il mese corrente, perché l'indice varia in funzione della stagione.

L'*FWI System* comprende 6 componenti (figura 1) di cui tre relative all'umidità del combustibile e tre relative al comportamento del fuoco. Le tre componenti relative all'umidità del combustibile (*FFMC*, *DMC* e *DC*) sono modelli dinamici che stimano la variazione di contenuto idrico di tre classi di combustibile forestale con dimensioni e peso diversi (leggeri, medi e pesanti), distinti per classi di *timelag*. Per *timelag* si intende il tempo necessario affinché i combustibili morti perdano il 63% della differenza fra la loro umidità iniziale e il contenuto idrico di equilibrio in condizioni di temperatura e umidità relativa standard (Brown *et al.*, 1982). I secondi tre (*ISI*, *BUI* e *FWI*) sono indici del comportamento del fuoco che rappresentano il tasso di diffusione, il carico di combustibile consumato e l'intensità del fuoco. Ad ogni componente corrisponde una scala appropriata.

Il confronto tra gli indici di umidità va reso in termini di capacità idrica e velocità di disidratazione. Si ipotizza che ogni combustibile si disidrati esponenzialmente fino a raggiungere

¹ In realtà, durante la predisposizione del sistema, furono utilizzati anche dati raccolti in pinete di *Pinus resinosa* e *Pinus strobus*.

l'attuale contenuto in umidità. La corretta misura della velocità di disidratazione può essere il *timelag* o la pendenza della curva esponenziale del contenuto idrico sul tempo, chiamata *log drying rate*. La tabella 2 indica per ogni codice il *timelag* in termini di giorni normali (con temperatura a mezzogiorno di 21.1°C e umidità relativa del 45% in luglio), così come la capacità idrica e le proprietà del combustibile. I due codici di umidità a lenta risposta, *DMC* e *DC*, rispondono al cambiamento della lunghezza del giorno e al progredire della stagione. Questa caratteristica è necessaria perché la quantità di umidità persa ogni giorno dipende tanto dal tempo disponibile quanto dalle condizioni atmosferiche.

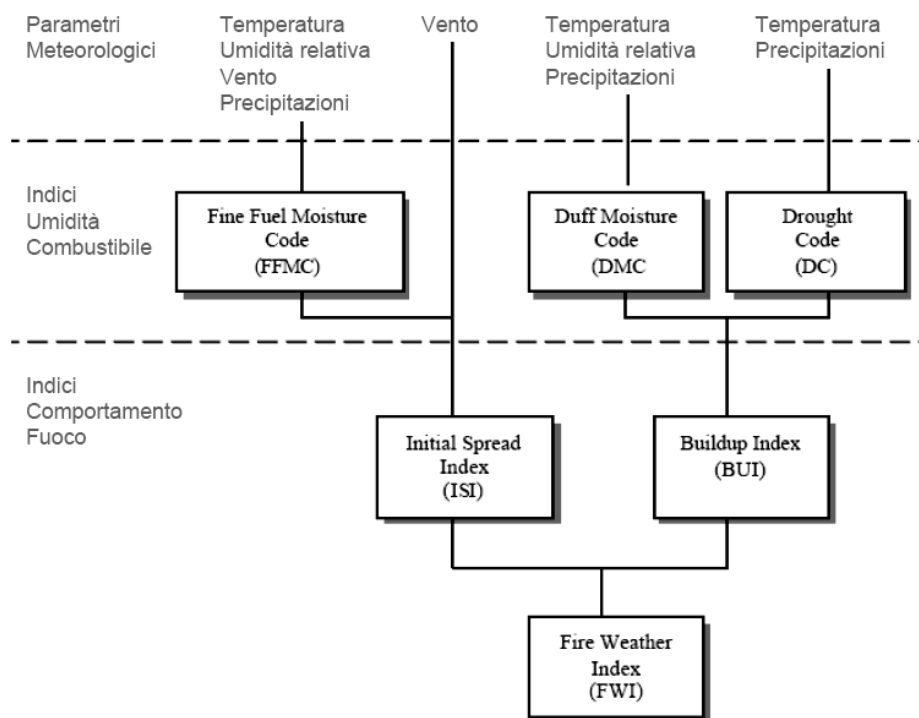


Figura 1 Struttura del *Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System*. Fonte: Van Wagner (1987)

Indice	<i>Timelag</i> (gg)	Capacità idrica (mm)	Densità (g cm ⁻³)	Contenuto idrico a saturazione (%)	Profondità nominale del combustibile (cm)	Carico nominale di combustibile (Kg m ⁻²)
<i>FFMC</i>	2/3	0.6	0.021	250	1.2	0.25
<i>DMC</i>	15	15	0.071	300	7	5
<i>DC</i>	53	100	0.139	400	18	25

Tabella 2 Caratteristiche dei tre indici di disidratazione. I valori di *timelag*, espresso in termini di giorni normali (temperatura alle ore 12 pari a 21.1°C e umidità relativa pari a 45% nel mese di luglio). Fonte: Lawson e Armitage (2008)

1.2.1. IL FINE FUEL MOISTURE CODE (FFMC)

Il *Fine Fuel Moisture Code (FFMC)* rappresenta il contenuto idrico della lettiera e di altri combustibili fini, rapportabili all'umidità dei primi centimetri di suolo, sensibili alla variazione di tutti i parametri meteorologici. Essendo il punto di partenza del sistema, si rifà agli indici di umidità del giorno precedente. Il precursore di *FFMC* è il *Tracer Index for litter* che apparve come la principale componente di un primo sistema di calcolo del pericolo pensato per le pinete presenti a Petawawa, in Canada (Wright 1937). Il *Tracer Index* fu sviluppato partendo da parametri meteorologici e di umidità del combustibile in pineta ricorrendo a modelli di regressione multipla tra contenuto idrico e condizioni atmosferiche. Il combustibile rappresentava uno strato di aghi e altri materiali presenti nella lettiera, del peso di circa 0.25 kg m^{-2} , dalla rapida disidratazione. Ipotizzando che l'umidità degli aghi di pino (espressa come percentuale) avesse un intervallo di 250, si predispose successivamente una scala che andava da 0 a 101 (figura 2A), descritta dalle seguenti equazioni, con andamento esponenziale:

$$F = 59.5 * \frac{(250 - m)}{(147.2 + m)} \quad [1]$$

$$m = 147.2 * \frac{(101 - F)}{(59.5 + F)} \quad [2]$$

dove:

F = valore di *FFMC*

m = contenuto idrico corrente dei combustibili fini (% rispetto al peso secco).

Per passare dal *Tracer Index* a *FFMC*, vennero isolate le sequenze di disidratazione misurate giorno per giorno con umidità relativa, vento e temperatura costanti, partendo da una condizione di saturazione e procedendo finché non veniva più riscontrata alcuna variazione (in tabella 3 sono riportati alcuni valori indicativi di *FFMC*). In questo modo si determinava il contenuto idrico di equilibrio (E). Sottraendo E ai contenuti idrici misurati ogni giorno (m), si ottenevano i contenuti idrici "liberi", che venivano poi rappresentati in forma logaritmica in funzione del tempo. In questo modo si otteneva un set di 6 curve semilogaritmiche per diverse velocità del vento e per 8 classi di umidità relativa, ciascuna per la classe di temperatura originale (15.6 - 26.7 °C), in cui la temperatura centrale (21.1°C) veniva presa come temperatura normale per l'intera analisi. Un procedimento simile fu condotto per definire la fase di idratazione. L'effetto delle precipitazioni venne distinto in tre equazioni considerando la quantità di pioggia caduta e l'umidità del combustibile in quel momento. Infatti, più il combustibile è idratato, meno acqua riesce ad assorbire. Le equazioni per il calcolo di *FFMC* (e delle altre componenti) sono riportate in dettaglio nell'allegato 1.

Giorni senza piogge	<i>FFMC</i> a diverse temperature, UR = 45%, VV = 18 km h ⁻¹			<i>FFMC</i> a diverse umidità relative, T = 20 °C, VV = 18 km h ⁻¹			<i>FFMC</i> a diverse velocità vento, T = 20 °C, UR = 45%		
	10 °C	20 °C	30 °C	65%	45%	25%	4 km h ⁻¹	18 km h ⁻¹	32 km h ⁻¹
0	70	70	70	70	70	70	70	70	70
1	80	84	87	79	84	88	82	84	85
2	84	87 *	89 *	82	87 *	91 *	86	87 *	87 *
3	85 *			85 *			87 *		

Tabella 3 Recupero di *FFMC* dopo le precipitazioni con tre livelli di temperatura (T), umidità relativa (UR) o velocità del vento (VV), con *FFMC* iniziale pari a 70. * = Equilibrio. Fonte: Lawson e Armitage (2008)

Poiché il sistema è stato costruito per fornire una previsione del potenziale pirologico giornaliero (Alexander e DeGroot 1988), non vi sono riferimenti alle variazioni orarie di umidità. L'*FFMC* standard descrive la situazione corrispondente a mezzogiorno, quindi eventuali variazioni repentine del tempo, successive al calcolo, non vengono catturate. Per riempire questa lacuna, Van Wagner (1977) sviluppò l'*hourly FFMC*, che viene normalmente consultato dalle agenzie forestali canadesi, mentre Lawson *et al.* (1996) derivarono delle tabelle di variazione oraria (*diurnal FFMC*) che non richiedono la misura di dati orari.

1.2.2. IL *DUFF MOISTURE CODE* (*DMC*)

Il *Duff Moisture Code* (*DMC*) rappresenta il contenuto idrico medio di materiale non perfettamente compattato e di materiale organico in decomposizione (in prevalenza humus), assimilabile all'orizzonte F (*duff layer*), con un carico di combustibile di circa 5 kg m⁻². Dà un'indicazione di quanto materiale verrà consumato negli strati organici moderatamente profondi (7 cm) e nei materiali legnosi di media grandezza. Per sviluppare l'indice furono necessari quattro anni di rilievi in campo, che consistevano nel pesare ogni giorno porzioni di materia organica corrispondenti a rettangoli di 60 cm x 40 cm (Van Vagner 1970). Per ipotesi il contenuto idrico massimo veniva posto pari a 300, e il contenuto idrico di equilibrio del terreno pari a 20. Per tali valori la scala (figura 2B) dell'indice viene definita come:

$$P = 244.72 - 43.43 * \ln(M - 20) \quad [3]$$

dove:

P = valore di *DMC*

M = contenuto idrico dei combustibili di media grandezza (% rispetto al peso secco).

Questa scala permette di conteggiare gli incrementi giornalieri di disidratazione indipendentemente dal valore dell'indice. L'indice viene calcolato considerando precipitazioni, umidità relativa e temperatura. Per quanto riguarda le precipitazioni si assume, come per *FFMC*, che l'effetto idratante della pioggia diminuisca con valori crescenti di umidità iniziale, e che lo strato organico ritenga in maggior misura piogge leggere rispetto a piogge intense.

1.2.3. IL *DROUGHT CODE* (*DC*)

Il *Drought Code* (*DC*) rappresenta il contenuto idrico medio degli strati profondi (10-20 cm) di materiale organico compattato avente un carico di combustibile di circa 25 kg m^{-2} ; indica gli effetti della siccità stagionale e la quantità di fumo emessa dai combustibili degli strati profondi e dai materiali molto grossolani, come le ceppaie e i fusti a terra (*woody debris*). La prima versione dell'indice o *Stored Moisture Index* (Turner 1966) serviva a quantificare l'acqua immagazzinata nel suolo piuttosto che l'umidità di combustibili grossolani. L'adattabilità dell'indice fu verificata per strati profondi di terreno e combustibili presenti in popolamenti di *Abies balsamea* e *Picea mariana* nell'isola di Vancouver, a Petawawa e in Quebec (Muraro e Lawson, 1970; Van Wagner 1974a). È necessario un periodo prolungato di siccità (il sistema utilizza un *timelag* di 53 giorni) per provocare effetti su questo tipo di combustibili, anche a prescindere dall'umidità degli strati superiori (Muraro e Lawson, 1970; Kiil 1970). Si calcola con la precipitazione cumulata fino alle ore 13:00 e la temperatura registrata alla stessa ora, ma in mancanza di dati si possono utilizzare le precipitazioni giornaliere e la temperatura massima giornaliera (Miralles 2003). Nella forma originale, l'indice andava da zero a 800. La scala definitiva (Turner 1972) assunse una forma logaritmica aperta (figura 2C) analoga a quella elaborata per *DMC*, in cui il valore di 400 rappresentava il contenuto idrico teorico massimo del combustibile, secondo la seguente equazione:

$$D = 400 * \ln\left(\frac{800}{Q}\right) \quad [4]$$

dove:

D = valore di *DC*

Q = equivalente adimensionale dell'umidità.

Nel calcolo di *DC* (allegato 1), le precipitazioni inferiori a 2.8 mm non vengono considerate, mentre la fase di disidratazione viene assimilata all'evapotraspirazione potenziale e dipende dalla temperatura e dalla lunghezza della giornata, definita in base alla stagione.

Dei tre indici di umidità, solo il valore di DC trascina con sé l'effetto delle precipitazioni invernali nevose, che ne determinano il valore iniziale per la ripresa del calcolo in primavera (Van Wagner 1985, 1987). In Canada il calcolo di FWI viene interrotto durante l'inverno poiché la consistente presenza di neve ne azzerava il valore. Tuttavia può accadere che, in presenza di condizioni anomale di siccità in autunno e inverno, il grado di pericolo debba essere modificato (Lawson e Armitage 2008), situazione comparabile con quella degli ambienti alpini in cui difficilmente la neve permane al suolo per 53 giorni. Potrebbe quindi essere necessario l'aggiustamento dei coefficienti a e b (equazione 5) che stimano, rispettivamente, la neve persa per sublimazione (*carry - over fraction*) e il contributo della neve all'umidità del terreno (*wetting efficiency fraction*), e che corrispondono a uno in condizioni standard:

$$Q_s = (a * Q_f) + (b * 3.94 * r_w) \quad [5]$$

dove:

Q_s = equivalente dell'umidità iniziale (primaverile) alla ripresa del calcolo

Q_f = equivalente dell'umidità finale (autunnale) prima dell'interruzione del calcolo

r_w = precipitazioni invernali (mm)²

a = *carry - over fraction*

b = *wetting efficiency fraction*.

Q_f viene calcolato come:

$$Q_f = 800 * e^{-\frac{DC_f}{400}} \quad [6]$$

dove:

DC_f = valore finale (autunnale) di DC prima dell'interruzione del calcolo.

Quindi il valore di DC (DC_s) alla ripresa del calcolo corrisponde a:

$$DC_s = 400 * \ln\left(\frac{800}{Q_s}\right) \quad [7]$$

La scelta dei coefficienti a e b dipende dall'ambito in cui il calcolo deve essere effettuato e si appoggia alle indicazioni riportate in tabella 4.

Una volta calcolati gli indici di umidità dei combustibili, essi vengono combinati e messi in relazione con il fattore vento, ottenendo i tre sottoindici di comportamento del fuoco.

² L'equivalente in acqua delle precipitazioni deriva semplicemente dalla conversione dei centimetri di neve caduta in millimetri di pioggia (Alexander *et al.* 2002).

Costante		Valore	Criteri
<i>Carry-over fraction</i> dall'ultima interruzione (autunno)		1.0	<i>DC</i> calcolato fino al 1 novembre, copertura nevosa continua o gelate
		0.75	Calcolo di <i>DC</i> interrotto prima del verificarsi delle condizioni descritte sopra o area soggetta a venti föenizzati, che lasciano il terreno nudo e soggetto a disidratazione
		0.5	Aree boscate soggette a lunghi periodi autunno - invernali che favoriscono la disidratazione del suolo
<i>Wetting efficiency fraction</i> . Efficacia delle precipitazioni invernali nella ricarica delle riserve idriche alla ripresa (primavera)		0.9	Siti poco drenati, paludosi con strati organici profondi
		0.75	Le gelate intense non si verificano fino al tardo autunno; siti moderatamente drenati che permettono l'infiltrazione di buona parte dell'acqua dopo lo scioglimento della neve
		0.5	Aree soggette a venti föenizzati e aree soggette a gelate precoci e profonde; suoli ben drenati che favoriscono la rapida percolazione o topografie che favoriscono il rapido deflusso prima del disgelo

Tabella 4 Valori e criteri per la scelta delle costanti *a* e *b* alla ripresa del calcolo di *DC* dopo la stagione invernale. Fonte: Turner e Lawson (1978), Alexander (1983)

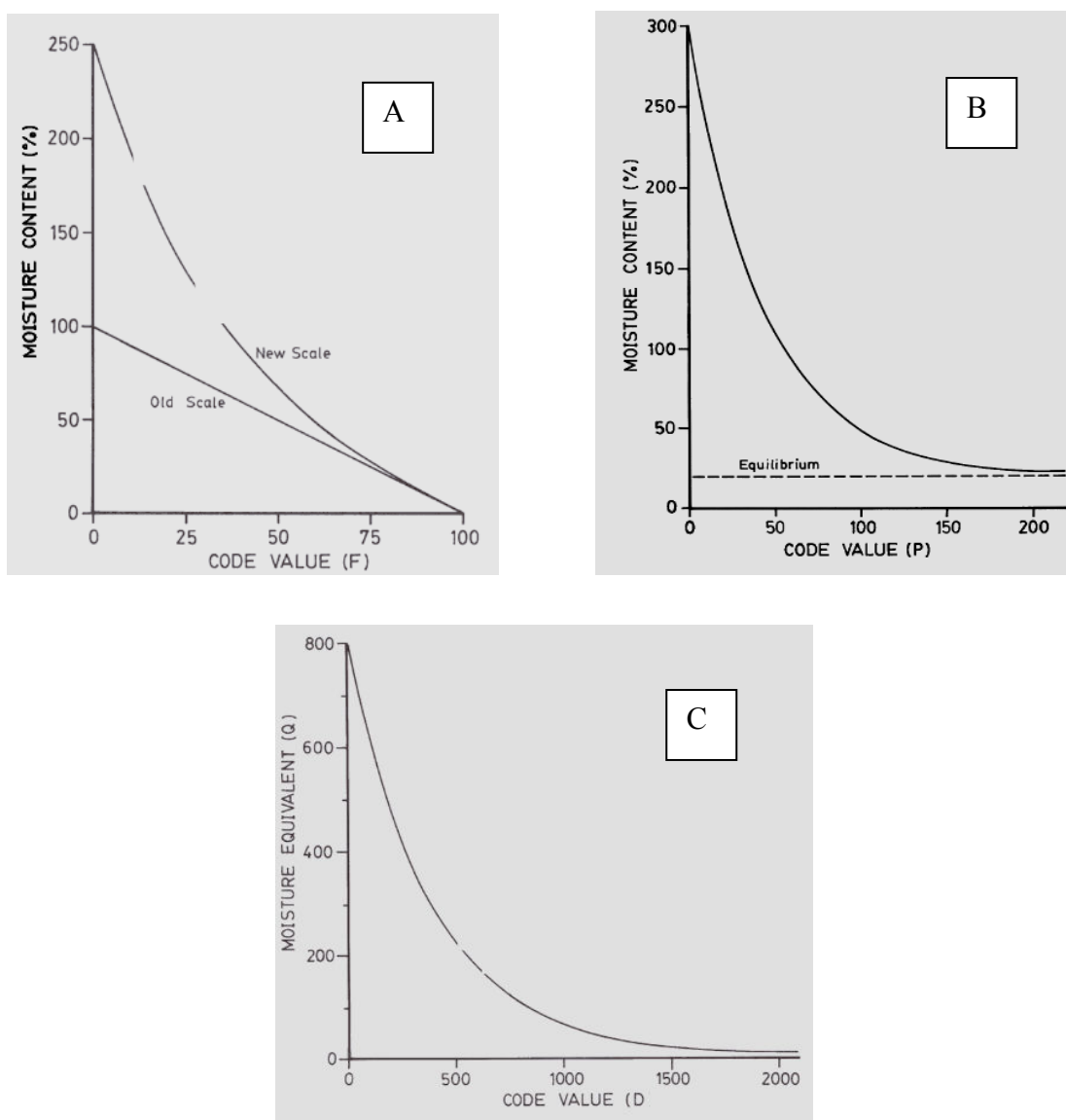


Figura 2 Valori dell'umidità dei combustibili fini rispetto a *FFMC* (scala originale e scala definitiva) (A); valori dell'umidità dei combustibili medi rispetto a *DMC* (B); valori dell'umidità equivalente dei combustibili pesanti rispetto a *DC* (C). Fonte: Van Wagner (1987)

1.2.4. L'INITIAL SPREAD INDEX (ISI)

L'*Initial Spread Index (ISI)*, come il *BUI*, è un indice intermedio funzionale alla determinazione dell'indice finale *FWI*. Rappresenta la velocità di propagazione del fuoco nella prima fase dell'incendio, a prescindere dalla quantità di combustibile, partendo dal presupposto che essa dipenda principalmente dalla velocità del vento e dall'umidità dei combustibili fini. Viene infatti calcolato in base al valore di *FFMC* e del parametro vento (espresso in Km h^{-1}). Più che descrivere il comportamento di un incendio appena dopo l'innescò, l'indice si riferisce alla velocità che un fronte assume quando i combustibili fini sono secchi mentre gli strati più profondi non lo sono ancora. Per isolare l'effetto del vento vennero esaminati diversi casi studio ed esperimenti di laboratorio, riguardanti eucalipteti australiani (McArthur 1967), formazioni americane (Nelson 1964, U.S. Forest Service 1958) e fuochi su *Pinus banksiana* a Petawawa (Simard 1968, Beall 1948), integrandoli nella funzione vento:

$$f(F) = e^{0.05039W} \quad [8]$$

dove:

W = velocità del vento a 10 m (Km h^{-1}).

Questa funzione raddoppia il valore di *ISI* per ogni incremento pari a 14 km h^{-1} . L'effetto di *FFMC* o effetto dell'umidità dei combustibili fini, venne quantificato utilizzando i dati raccolti per decenni e incorporati nel primo sistema canadese di calcolo del pericolo (Forestry Branch 1957). La funzione umidità venne così formulata:

$$f(F) = (91.9 * e^{-0.1386m}) * \frac{1 + m^{5.31}}{4.93 * 10^7} \quad [9]$$

dove:

m = contenuto idrico dei combustibili fini ricavato dall'equazione [2] (% rispetto al peso secco).

ISI è il prodotto tra queste due funzioni e una costante pari a 0.208:

$$ISI = 0.208 * f(W) * f(F) \quad [10]$$

1.2.5. IL BUILD UP INDEX (BUI)

Il *Build Up Index (BUI)* stima la quantità totale di combustibile disponibile per la propagazione, indicando come il fuoco si svilupperà dopo le prime fasi di propagazione, e costituisce la seconda componente intermedia per la determinazione di *FWI*. Formalmente, si tratta di una versione

modificata di *DMC* o *Adjusted Duff Moisture Code*. Infatti, anche se viene calcolato tramite i valori di *DMC* e *DC*, il peso di *DC* è limitato. Quando il valore di *DMC* è vicino allo zero, *DC* non entra nel calcolo, qualsiasi valore esso assuma. La funzione che meglio soddisfa questi presupposti è la media armonica, come descritto dall'equazione:

$$BUI = \frac{0.8 * DMC * DC}{DMC + (0.4 * DC)} \quad [11]$$

con $DMC \leq 0.4DC$.

BUI ha le seguenti proprietà: 1) l'incremento proporzionale dato da *DC* è variabile, aumentando quando il rapporto tra *DMC* e *DC* tende a 1; 2) tranne i casi in cui *DMC* è 0, il valore di *BUI* è sempre maggiore, ma mai doppio, del valore di *DMC* stesso; 3) il valore di *BUI*, dopo ogni pioggia, aumenta più velocemente rispetto a *DMC*; 4) poiché i valori di *DC* aumentano man mano che ci si avvicina al periodo estivo, a *BUI* è assegnato un leggero effetto di compensazione.

1.2.6. IL *FIRE WEATHER INDEX (FWI)*

Il *Fire Weather Index (FWI)*, o indice finale, combina l'informazione derivata da *ISI* e *BUI* fornendo una stima numerica del pericolo d'incendio più probabile. Rappresenta l'intensità del fuoco intesa come quantità di energia sprigionata per unità di lunghezza del fronte di fiamma (Byram 1959):

$$I = H * W * R \quad [12]$$

dove:

I = energia per unità di lunghezza per unità di tempo o intensità del fronte di fiamma ($\text{Kcal m}^{-1} \text{s}^{-1}$), qui rappresentata da *FWI*

H = calore sprigionato dalla combustione (Kcal), considerato costante

W = peso del combustibile consumato per unità di superficie (kg m^{-2}), rappresentato da *BUI*

R = velocità di avanzamento (m s^{-1}), rappresentata da *ISI*.

Questa interpretazione dell'indice deriva dallo studio di 22 incendi documentati dal programma sperimentale svolto a Petawawa, avvenuti in pineta di *Pinus resinosa* e *Pinus strobus*, durante i quali il valore dell'indice era noto e l'intensità poteva essere calcolata. In questo modo venne creata la prima scala (*D-scale*) limitata al valore 16 (figura 3A). Si scelse poi di mantenere la scala aperta, ritenendo che l'intensità frontale dell'incendio potesse assumere valori superiori in presenza di

condizioni meteorologiche più severe, e la funzione fu trasformata in una curva esponenziale (*S-scale*), come espresso dalla seguente equazione:

$$\ln S = 2.72 * (0.434 * \ln B)^{0.647} \quad [13]$$

dove:

S = valore di *FWI*

B = valore ottenuto combinando *ISI* e *BUI* secondo una serie di complesse trasformazioni per adattarli alla stessa scala dell'*FWI* (*D-scale*).

In realtà, per effetto della distorsione della scala S (figura 3B), *FWI* non rappresenta l'intensità secondo una proporzionalità diretta, bensì la lunghezza di fiamma (Byram 1959), che con buona approssimazione si può considerare proporzionale alla radice quadrata dell'intensità in presenza di fuochi radenti.

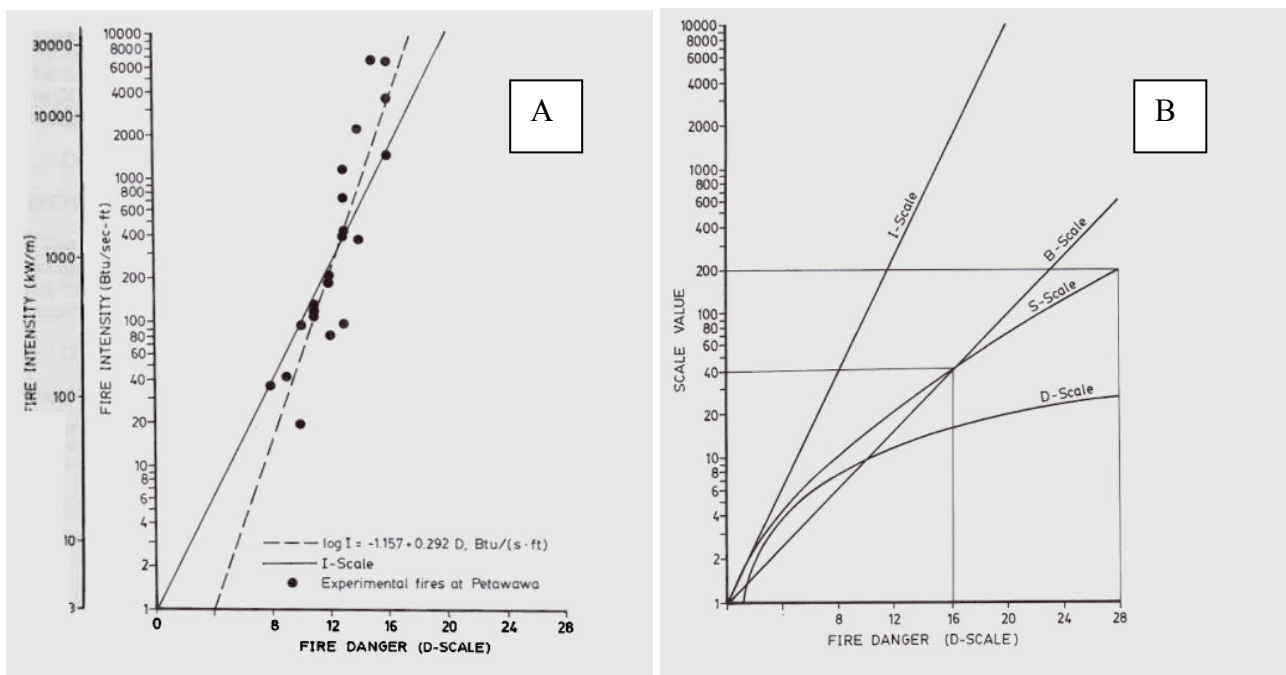


Figura 3 Rappresentazione della scala I e relazione tra l'intensità di fuochi sperimentali e la scala D (A); scale di *FWI* a confronto rispetto alla scala definitiva D (B). Fonte: Van Wagner (1987)

1.2.7. IL *DAILY SEVERITY RATING (DSR)* E IL *SEASONAL SEVERITY RATING (SSR)*

Alle sei componenti classiche si aggiunge una settima componente “accessoria” (*DSR* o *Daily Severity Rating*) che fornisce indicazioni sul grado di difficoltà durante le operazioni di estinzione, e viene calcolata come funzione esponenziale di *FWI*, dal momento che lo sforzo richiesto per l'estinzione non si può considerare direttamente proporzionale all'indice:

$$DSR = 0.0272 * S^{1.77}$$

[14]

dove:

S = valore di FWI .

Mediando i valori di DSR per l'intera stagione degli incendi si ottiene il *Seasonal Severity Rating* (SSR), utile a distinguere diverse stagioni per severità delle condizioni meteorologiche (o anche diverse regioni per severità degli incendi). Tuttavia il variare della severità per stagioni o regioni dipende anche dalle modalità di innesco e dalle risorse disponibili, difficilmente modellizzabili (Lawson e Armitage 2008).

1.2.8. INTERPRETAZIONE DEL $CFFWIS$ E MODULI SUPPLEMENTARI DEL $CFFDRS$

Il *Fire Weather Index* è la risultante di molteplici effetti e lo stesso valore può essere il prodotto di scenari molto diversi (Van Wagner 1987). Ad esempio, è sufficiente una manciata di giorni molto secchi per portare ad un netto incremento di $FFMC$ e DMC , anche se in precedenza si sono verificate piogge intense, che hanno mantenuto basso il valore di DC , mentre l'effetto della nebbia può condurre all'effetto opposto. Il peso del fattore vento è volutamente marcato, facendo variare in modo considerevole l'indice finale da un giorno all'altro. Di conseguenza, FWI da solo non fornisce un quadro completo del pericolo ed è consigliabile consultare il valore di tutte le componenti. A seconda dell'impiego richiesto e dell'utente, si possono delineare quattro livelli di interpretazione: 1) il valore di FWI preso singolarmente, utile a fissare le procedure operative da parte dell'ufficio centrale antincendio e per la generale informazione pubblica; 2) $FFMC$, DMC , DC e la velocità del vento, che descrivono l'effetto della disidratazione sul comportamento del fuoco previsto; 3) i valori di ISI e BUI , che proporzionano informazione sul comportamento del fuoco in termini di velocità di avanzamento e di combustibile disponibile, coadiuvando il personale operativo; 4) i parametri meteorologici e il numero di giorni dall'ultima precipitazione, come indicazione grezza ma di facile lettura (Van Wagner 1987, Lawson e Armitage 2008). Empiricamente sono state individuate delle soglie indicative che mettono in relazione il valore degli indici con informazioni di tipo operativo (tabella 5).

Per avere una visione più completa del fenomeno, è utile ricorrere a ulteriori informazioni (Lawson e Armitage 2008), ad esempio: valori estremi di umidità relativa e temperatura registrati durante la giornata; direzione del vento dominante e individuazione di variazioni locali legate alla topografia; localizzazione di fenomeni ceraunici; nuvolosità (anche rispetto alle nubi generatrici di fulmini); presenza di rugiada; profili atmosferici superiori; radiazione solare; misura diretta dell'umidità dei

combustibile tramite *fuel sticks*; copertura nevosa; pressione atmosferica (anche in relazione alla quota).

Indice	Valore indicativo	Informazione	Note	Range
<i>FFMC</i>	47	Innesco poco probabile	Ricorrenza o meno di incendi	0 - 101
	74	Soglia di innesco		
	92	Innesco estremamente probabile 9%		
<i>DMC</i>	20	L'orizzonte F non contribuisce alla propagazione del fronte		0 - ∞
	30	Condizioni secche		
	40	Fuochi superficiali intensi		
<i>DC</i>	300	Elevato, fuochi sotterranei	Disponibilità di acqua nei piccoli bacini, importante in fase di estinzione	0 - ∞
	500	Condizioni di siccità estreme e alte intensità del fuoco, fuori dalla capacità di estinzione e difficoltà di bonifica dovute al persistere di focolai sotterranei		
<i>ISI</i>	10	Elevate velocità di propagazione subito dopo la fase di accensione e passaggio in chioma	Superficie percorsa da fuoco	0 - ∞
	16	Tassi di propagazione estremamente rapidi		
<i>BUI</i>	40	Incendi radenti ed elevate intensità	Buon indicatore di attività e contributo alla propagazione	0 - ∞
	60	Comportamento estremo		
<i>FWI</i>	25-30	Comportamento critico (passaggio in chioma)	Indicazione di sintesi	0 - ∞
	50	Condizioni estreme		

Tabella 5 Soglie indicative che mettono in relazione il valore degli indici con informazioni di tipo operativo. Fonte: Abbott *et al.* (2007), Lawson e Armitage (2008), Turner (1972), Otway *et al.* (2007,) Stocks *et al.* (1989)

Le relazioni empiriche sulle quali si basa il *CFFWIS* discendono da prove sperimentali svolte in una tipologia standard di combustibile. In altri sistemi forestali l'indice può assumere un significato diverso. In realtà, il calcolo di *FWI* è solo una parte del *CFFDRS* (figura 4), che include un modulo per la previsione del comportamento del fuoco in formazioni particolari o *Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System* (figura 5) (Hirsch 1996, Taylor *et al.* 1997). L'*FBP*, nella versione semplificata per *fire managers*, è racchiuso nel *Red Book* (Taylor *et al.* 1997), che ancora oggi si trova in ogni ufficio antincendio canadese. Le applicazioni dell'*FBP System*, rispetto all'*FWI System*, sono sito - specifiche e più sensibili alle variazioni orarie del tempo. Pur rappresentando un valido strumento di supporto decisionale, il *FBP System* non viene attualmente utilizzato nelle regioni oggetto di studio poiché richiede una quantità di input di difficile gestione.

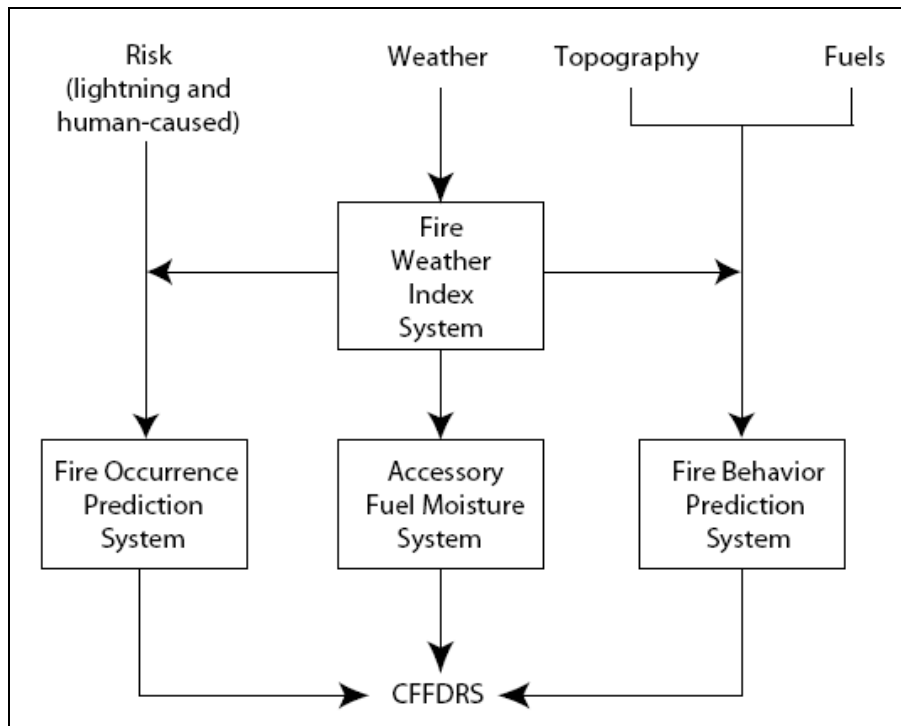


Figura 4 Struttura del *Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS)*. Fonte: Stocks et al. (1989)

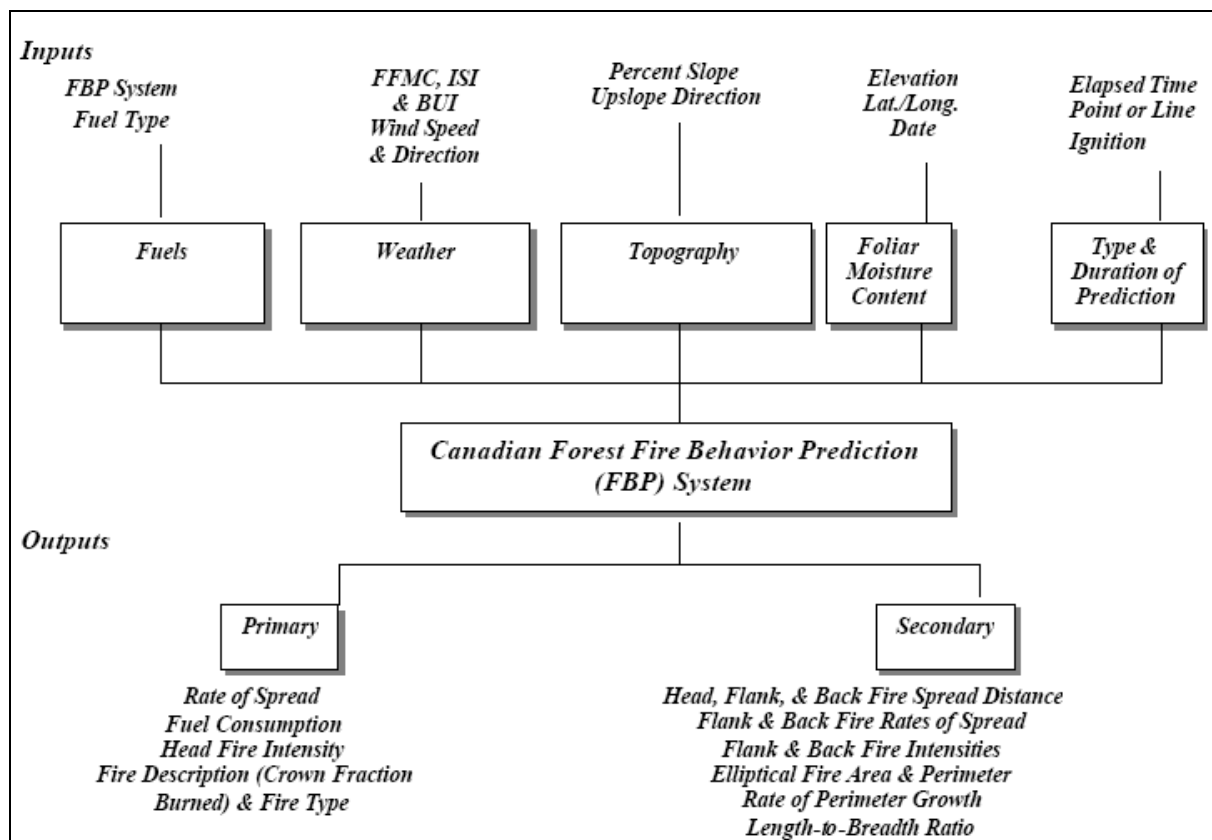


Figura 5 Struttura del *Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System*. Fonte: Van Nest e Alexander (1999)

L'individuazione di specifici contenuti idrici per le diverse formazioni forestali è oggetto di una ricerca che mira alla predisposizione del *Accessory Fuel Moisture System (AFM)*. Si tratta di un sistema in continuo sviluppo, che mira a descrivere situazioni particolari, ad esempio lo stato dei combustibili fini esposti al sole (Pech 1989) e l'umidità dell'orizzonte F sotto copertura, in prossimità dei fusti (Wotton *et al.* 2005), dove spesso gli incendi da fulmine si innescano.

La caratterizzazione degli agenti di innesco, l'effetto della topografia sull'accessibilità e la difficoltà di spegnimento rispetto alla strategia adottata vengono parzialmente considerati attraverso il *Fire Occurrence Prediction System (FOP)*, che cerca di riunire sia la componente legata agli incendi naturali sia quella legata all'uomo (Alexander *et al.* 1996, Anderson 2002; Wotton e Martell 2005). Questo sistema non è ancora stato esteso a tutte le province canadesi ed è tuttora in via di sviluppo.

1.3. LA REGIONI ITALIANE SETTENTRIONALI NELLA GRANDE REGIONE ALPINA E IL PERICOLO D'INCENDIO BOSCHIVO

1.3.1. GAR E MULTI-SCALE APPROACH

La Grande Regione Alpina o *Greater Alpine Region (GAR)* comprende l'arco alpino e l'area che lo circonda dal 4° al 19° meridiano Est e dal 43° al 49° parallelo Nord (figura 6). La definizione della GAR proviene dallo *ZAMG (Central Institute for Meteorology and Geodynamics)* di Vienna, nell'ambito del progetto *Alp-imp* per la ricostruzione del clima nelle Alpi (<http://www.zamg.ac.at/alp-imp/>), che necessitava di una regione grande a sufficienza per colmare la lacuna tra la scala di indagine nazionale e quella continentale. Questa regione è interessante sotto diversi punti di vista (Ingeborg *et al.* 2005):

1. è una regione di transizione situata al crocevia tra almeno tre complessi climatici, che influiscono sui quadri sinottici del tempo: Atlantico, Continentale e Mediterraneo (Ingeborg *et al.* 2007);
2. il clima, per effetto della topografia, varia verticalmente dal livello del mare fino a 4000 m s.l.m., cambiando in modo accentuato in un'area limitata (724 000 km²);
3. la sensibilità ad un cambiamento climatico è elevata: l'incremento della temperatura quantificato dal 1890 al 2000 risulta due volte quello stimato a livello globale (Böhm *et al.* 2001); l'impatto ambientale dovuto ad un ulteriore aumento avrebbe conseguenze molto gravi, andando a incidere sul ciclo dell'acqua, sull'intensificazione di valanghe, eventi alluvionali e frane, sulla biodiversità e sullo spostamento verticale della *tree-line* (Anfodillo e Urbinati 2001, Grace *et al.* 2002).

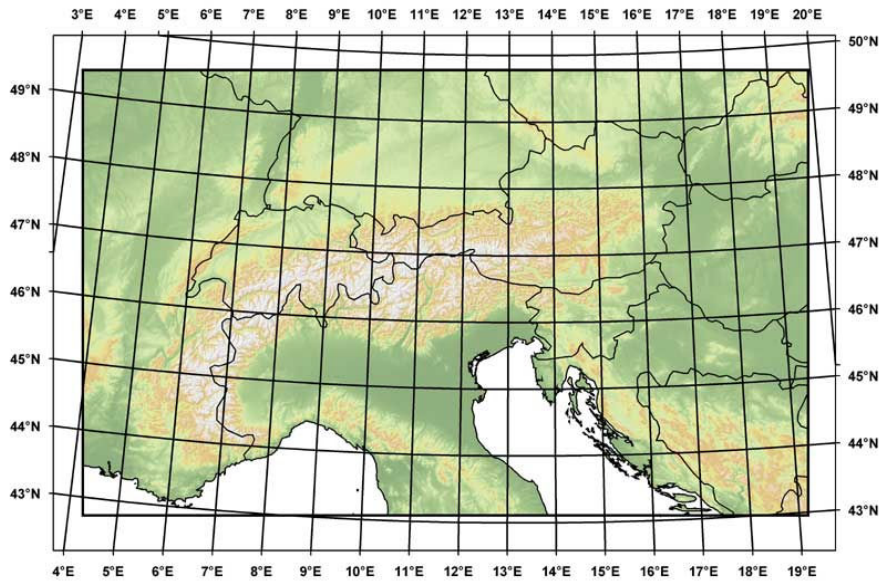


Figura 6 Inquadramento geografico della Grande Regione Alpina (GAR). Fonte: http://www.zamg.ac.at:80/ALP-IMP/images/alpimp_region.jpg

Oltre ad offrire una variegata piattaforma per lo studio del clima, l'individuazione della *GAR* permette di inserire le singole regioni italiane settentrionali in un ambito climatico più ampio, e di ragionare su gradienti climatici già delineati da ricerche avanzate, che influenzano a loro volta il regime e la tipologia degli incendi. In questo modo è possibile avviare una prospettiva di ricerca sul pericolo d'incendio che comprenda diverse scale di analisi (*multi-scale approach*), dal momento che i processi ecologici, come gli incendi, non si possono comprendere osservando una singola scala spazio - temporale (Levin, 1992). Nonostante la positiva ricaduta che questo approccio dimostra a livello gestionale (Hann e Bunnell 2001), sono pochi gli studi che analizzano gli incendi forestali considerando contemporaneamente diverse scale di indagine (Rollings *et al.* 2004, Lozano *et al.* 2008, Chuvieco 1999, Moisen *et al.* 2003) .

In questo lavoro, senza la pretesa di fornire un quadro completo, sono stati considerati diversi livelli spaziali, descritti di seguito prendendo spunto dalle classificazioni di Miralles (2003) e Justice (2008).

Microscala o scala di base. È a livello di microscala (ad esempio una stazione forestale) che i singoli eventi si innescano così come i processi fisici di trasferimento di calore (Pyne, 1984). La descrizione del comportamento del fuoco riguarda la geometria di combustibili e fiamme, con una risoluzione temporale di alcune ore e spaziale di centinaia di metri. Assumono importanza i parametri meteorologici grezzi e l'umidità dei combustibili fini e medi, sia morti che vivi. I parametri meteorologici determinano la disponibilità e la temperatura dei combustibili forestali. Il

vento, in particolare, dispensa ossigeno, dirige i moti convettivi e secca i combustibili (Carrega, 1991).

Mesoscala o scala locale. A livello operativo, come potrebbe essere un Servizio Forestale decentrato o un comando stazione, si considera una scala locale o mesoscala (Chuvieco *et al.* 2004; Jia *et al.* 2006; López García e Caselles 1991), e sono necessari indicatori che sintetizzino le informazioni considerate nella microscala, come il *Fire Weather Index*. Assumono importanza i venti locali, i fenomeni di instabilità atmosferica e il contenuto idrico dei combustibili medi e grossolani. La scala temporale è la stessa che caratterizza gli eventi, quindi va da intervalli di ore a più giorni, e descrive bene la siccità superficiale del terreno. È a questo livello che si colloca la percezione umana del fenomeno, quando il personale operativo (ma anche la popolazione) si confronta con l'evento sul terreno.

Scala sinottica - regionale o scala di paesaggio. Quando si studiano le caratteristiche dominanti la propagazione e il rischio d'incendio in una regione, si parla di scala sinottica o regionale, anche definita scala di paesaggio (Collins *et al.*, 2007; Díaz-Delgado e Pons, 2001), con un orizzonte temporale che va da giorni a settimane. Le situazioni sinottiche sono definite dalla distribuzione spaziale dei fattori meteorologici (in particolare la pressione atmosferica), che riflette i grandi spostamenti delle masse d'aria e determina venti dominanti e fenomeni di siccità cumulata durante le singole stagioni (Kappenberger e Kerkmann 1997). Quando identificati, i quadri sinottici danno indicazioni sulle aree che necessitano di maggiore attenzione e nelle quali anche i combustibili più grossolani sono disponibili alla combustione. Allo stesso tempo, lo studio delle situazioni sinottiche aiuta ad isolare la distribuzione sul territorio e nel tempo delle diverse tipologie di incendio (ad esempio incendi portati da vento o incendi topografici). In questo studio la scala sinottica viene attribuita alle singole regioni italiane. Tuttavia, la valutazione del pericolo d'incendio coinvolge sia l'intero sistema regionale che situazioni più localizzate, che rimandano alla mesoscala.

Scala strategica o macroscale. Quando sono oggetto di studio la stagionalità degli incendi o la variazione per anni e regioni della siccità, si adotta una scala strategica, che in questo lavoro viene attribuita alla Grande Regione Alpina. A questo livello, si passa dall'applicazione dei parametri e degli indici meteorologici a una singola regione italiana, a considerazioni di ampio spettro sul clima in una regione più estesa, che la comprende. Passando da una scala temporale di settimane ad una scala di mesi o anni, l'analisi cattura sia la fenologia delle specie vegetali, che cambia a seconda della stagione e influisce sul contenuto idrico dei combustibili vivi, sia le variazioni dei grandi flussi atmosferici (circolazione troposferica) che possono determinare anomalie stagionali (ad esempio periodi prolungati di siccità) e influire sulla severità degli incendi (Skinner *et al.*, 1999).

Alcuni autori (Justice 2008) integrano la scala sinottica e quella strategica in un unico livello o scala regionale.

Scala globale. La scala globale viene applicata a studi che coinvolgono interi continenti o l'intero pianeta (Grégoire *et al.* 2003; Justice *et al.* 2002). È utile nel confronto tra diversi tipi di clima e regimi d'incendio, definiti sulla base di serie storiche. In questo senso lo studio promosso da ZAMG sul clima nella GAR può essere inserito in questa scala, contribuendo al più ampio monitoraggio del cambiamento climatico globale.

Nella figura 7 viene rappresentata la variabilità climatica all'interno della GAR così come descritta da Auer *et al.* (2007) e un inquadramento delle regioni italiane settentrionali. Orizzontalmente vengono distinte 4 sottoregioni climatiche (*NE, NW, SE, SW*), risultanti da un compromesso nella spazializzazione delle variabili considerate (pressione atmosferica, temperatura dell'aria, precipitazioni, radiazione solare, nuvolosità) che prese singolarmente individuano ulteriori sottoregioni. Un'altra classificazione (figura 8) delinea i principali gradienti climatici: verticale, longitudinale (Ovest - Est) e latitudinale (Nord - Sud). Le regioni italiane sono situate per lo più nella parte meridionale della GAR (sottoregioni *SE* e *SW*), anche se la gran parte di esse presenta aree confinanti con la parte settentrionale. Dall'analisi centennale delle precipitazioni risulta che esistono due tendenze antagoniste: un aumento delle piogge nella sottoregione *NW* (dal 1980 circa) e una diminuzione nella sottoregione *SE* dal 1800 (Ingeborg *et al.* 2007). Un ulteriore fattore di variabilità riguarda la differenza tra stagione invernale ed estiva (Efthymiadis *et al.* 2007). La circolazione atmosferica associata alla regione Euro-Atlantica sembra avere maggiore influenza in inverno. L'arco Alpino delimita il diverso regime di precipitazioni invernali tra la parte settentrionale e meridionale della GAR. Mentre un sistema di pressione centrato sulle isole britanniche va ad influire sulle Alpi Settentrionali, l'Oscillazione Atlantica (*NAO*), in particolare la componente Mediterranea di questa, agisce sulle precipitazioni che avvengono sul lato meridionale delle Alpi.

Le regioni italiane oggetto di studio in questo lavoro sono Veneto, Lombardia e Valle d'Aosta, situate rispettivamente nella porzione orientale, centrale e occidentale della GAR (sottoregione meridionale). La Valle d'Aosta si trova al limite settentrionale della sottoregione *SW* ed è una valle interna delle Alpi meridionali, marcatamente continentale. La Lombardia ricade anch'essa nella sottoregione *SW*, e presenta un'area montagnosa (*HIGH*) e una di pianura (*LOW*). La regione Veneto si trova invece tagliata in due dal limite delle sottoregioni *SW* e *SE*, ed è anch'essa suddivisa dal gradiente altitudinale in un'area di pianura, che si affaccia sull'Adriatico, e un'area montagnosa, che ricade completamente nella sottoregione *SW* e il cui perimetro coincide con il nodo di suddivisione delle sottoregioni orizzontali GAR.

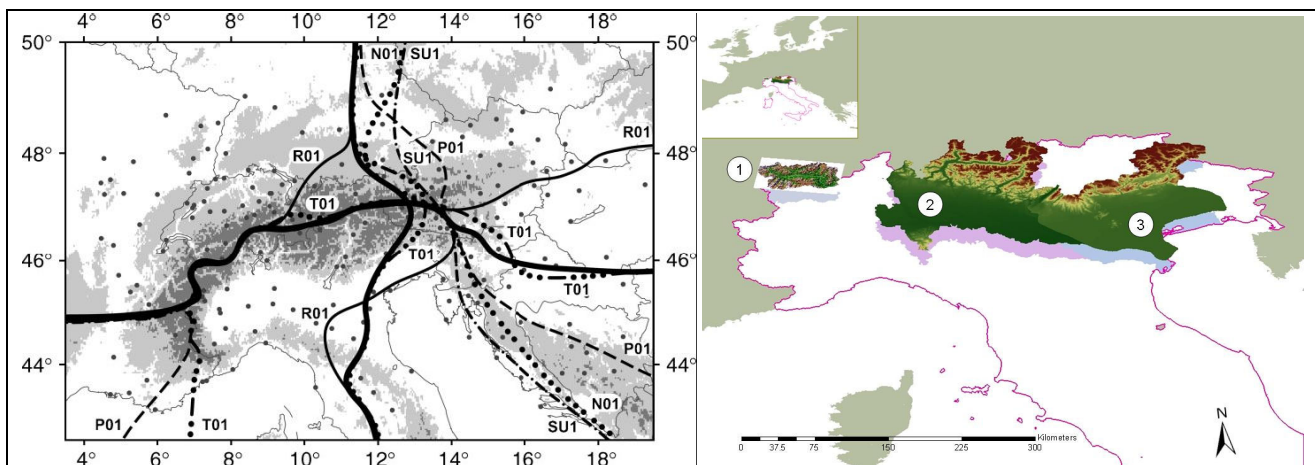


Figura 7 A sinistra, le principali sottoregioni climatiche orizzontali della GAR. Linee sottili: risultati ottenuti dalla *Principal Components Analysis* (basata sulle anomalie mensili dei singoli elementi) per la pressione atmosferica, P01; la temperatura dell'aria, T01; le precipitazioni, R01; il soleggiamento, SU1; la nuvolosità, N01. Linee in grassetto: compromesso (*coarse resolution CRS*) nella spazializzazione basato su sottoregioni omogenee per tutti gli elementi climatici. Fonte: Ingeborg *et al.* (2007). A destra, inquadramento delle regioni italiane studiate rispetto alle sottoregioni GAR: Valle d'Aosta (1), Lombardia (2), Veneto (3)

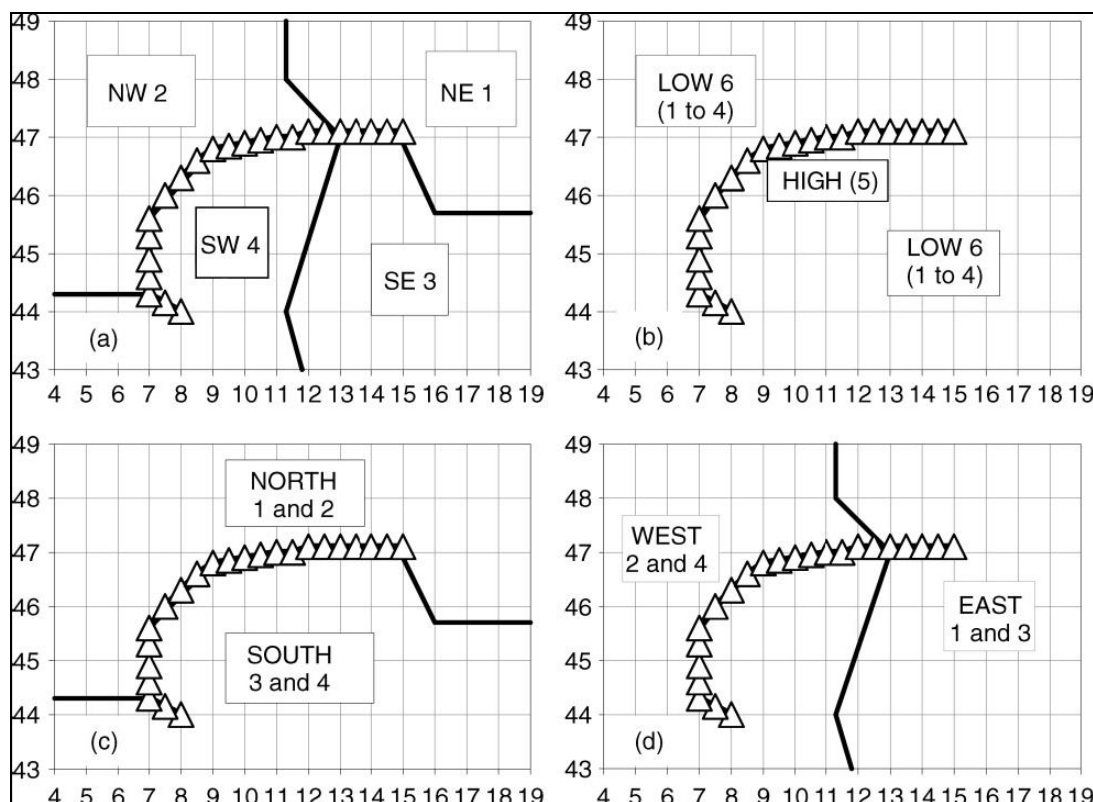


Figura 8 Profili schematici delle sottoregioni CRS (*coarse resolution*). (a) Sottoregioni definite orizzontalmente (NE 1, NW 2, SE 3, SW 4) e rispettive coppie di combinazioni antagoniste: (b) HIGH 5 e LOW 6 (combinando 1,2,3,4), (c) NORTH (1,2) e SOUTH (3,4), (d) WEST (2,4) e EAST (1,3). In ascissa: E, in ordinata: N. Fonte: Ingeborg *et al.* (2007).

1.3.2. CARATTERISTICHE DEGLI INCENDI BOSCHIVI NELLE REGIONI ITALIANE SETTENTRIONALI

Restituire un quadro esaustivo degli incendi boschivi nell'Italia settentrionale è un percorso ancora in divenire, reso difficoltoso dall'eterogeneità e, in alcuni casi, dalla carenza di informazioni (Conedera *et al.* 2006). Per questa ragione una ricostruzione del regime e dell'ecologia degli incendi è praticamente assente in ambiente alpino (Tinner *et al.* 2005). Le sette regioni che si affacciano sull'arco alpino, e in generale le regioni italiane, gestiscono il fenomeno degli incendi in modo autonomo e sono pochi i lavori pubblicati su più regioni contemporaneamente. Prima del 1972, l'amministrazione degli incendi boschivi era prerogativa del Corpo Forestale dello Stato, che poteva giovare di una lunga tradizione iniziata nel 1822 da Carlo Felice di Savoia con la creazione delle Regie Patenti (<http://www2.corpoforestale.it/web/guest/ilcfs/storiadelcfs>). Questo bagaglio di esperienza, simile a quello acquisito dal *Canadian Forestry Service* negli ultimi 50 anni, non è stato completamente trasferito alle amministrazioni regionali. Di conseguenza, i dati sono stati raccolti in formati e livelli di approfondimento diversi, come diverso può essere l'ente di appartenenza dell'ufficio antincendio.

Prima di descrivere le caratteristiche degli incendi nelle regioni italiane settentrionali, è opportuno porsi una domanda: le Alpi bruciano davvero? Se paragonati agli incendi mediterranei, gli incendi alpini sono un fenomeno marginale. Le Alpi sono il regno della neve piuttosto che del fuoco, e il dissesto idrogeologico viene percepito come il principale disturbo ecologico, seguito dal pascolamento degli erbivori e dagli attacchi degli agenti patogeni. Tuttavia le amministrazioni regionali proporzionano un costoso servizio di estinzione e devono assicurare un ambiente di lavoro protetto al personale operativo e ai volontari. Questa è la ragione per cui è auspicabile comprendere il ruolo e la natura degli incendi boschivi nelle Alpi. Bisogna poi considerare che le regioni che si affacciano sull'arco alpino comprendono (eccetto la Valle d'Aosta e le Province Autonome di Trento e Bolzano) una porzione di territorio non ascrivibile all'ambiente alpino (zona prealpina, di pianura e costiera). In questi ambienti esiste spesso un'interfaccia urbano - forestale importante, che allo stesso tempo incide sul regime degli incendi e aumenta la vulnerabilità del territorio. Oltre a ciò, nel corso degli ultimi decenni, si è assistito al noto fenomeno di abbandono delle aree rurali e montane che ha portato ad una perdita della "cultura del fuoco", che faceva naturalmente parte del mondo contadino, e alla mancata trasmissione generazionale delle conoscenze, dal momento che le ultime generazioni cercano lavoro altrove.

Nonostante la dimensione degli incendi, in media, sia banale, in alcuni casi il fuoco assume caratteristiche estreme, sia in area collinare che in ambiente strettamente alpino, o porta comunque a situazioni problematiche. Si riportano, a titolo indicativo, alcuni esempi.

Nel marzo del 2005, in seguito ad un periodo siccitoso, a Nus - Verrayes (Valle d'Aosta) venne innescato un incendio destinato a percorrere 257 ha. 229.5 ha erano costituiti da foresta e 160 vennero percorsi da un fronte di alta intensità, che avanzava durante la notte con velocità di propagazione pari a 20 m min^{-1} (Cesti c.p.). In Lombardia, considerando il periodo 1997 - 2007, si sono verificati ben 55 incendi con superficie superiore a 100 ha (Cameroni 2008), tra i quali il fuoco di Mandello del Lario (LC) con 1900 ha (di cui 1121 ha di superficie boscata) e il fuoco di Val Parina in cui vennero percorsi 260 ha di foresta e 454 di area non boscata.

Un altro tratto distintivo degli incendi in ambiente alpino riguarda l'elevata probabilità che si verificano incendi sotterranei che, pur non essendo particolarmente dannosi per i popolamenti forestali, richiedono lunghi tempi di bonifica, elevati costi di estinzione e mettono il servizio antincendio di fronte al problema del fumo, che può diventare critico rispetto alla funzione turistica. Rappresentativo il caso di un incendio da fulmine di 40 ha avvenuto nel 2003 nei pressi di Pieve di Cadore, che richiese quasi un mese per essere dichiarato spento. In molti casi questo tipo di incendi avviene su pendenze proibitive che complicano ulteriormente il compito degli addetti ai lavori di spegnimento, sia per l'inaccessibilità dei luoghi che per la caduta di materiali roventi che vanno ad accendere focolai alla base del versante (Cesti 1992).

La risposta è quindi affermativa. Le Alpi possono bruciare, anche al di fuori della capacità di estinzione e mettendoci di fronte ad una serie di difficoltà tangibili, fino a compromettere la sicurezza del personale.

Nella Grande Regione Alpina, in particolare nelle regioni nord-italiane, gli incendi boschivi si verificano principalmente nella stagione invernale, tra dicembre e aprile, quando la stagione vegetativa è finita e i combustibili leggeri sono secchi (Reinhard *et al.* 2005). A titolo di esempio vengono riportati due diagrammi climatici (figura 9) relativi a due stazioni meteorologiche localizzate in Veneto e in Trentino, che identificano un clima del tipo umido con inverni freddi, con precipitazioni concentrate in estate e autunno, e un picco delle temperature nella stagione estiva. L'esistenza di precipitazioni nevose durante la stagione invernale, che è anche la stagione degli incendi, può complicare sia il calcolo del pericolo che l'estinzione del fuoco. In seguito a entrate di föen in giornate di alta pressione, tipiche della Valle d'Aosta, la neve che ricopre i versanti meridionali può sciogliersi rapidamente esponendo i combustibili al soleggiamento e alla disidratazione (Cesti 1992). Di conseguenza, si possono verificare eventi sui quali il servizio antincendio deve intervenire, scontrandosi con problemi pratici quali il congelamento dell'acqua nei tubi e nei bacini di rifornimento, e l'inaccessibilità delle strade per l'accumulo di neve o il fondo ghiacciato.

Recentemente alcuni autori (Cesti c.p., Gossow *et al.* 2005) hanno notato che, seppure in modo irregolare, il regime degli incendi estivi, provocato per lo più da fulmini, ha presentato delle anomalie. Sia in Valle d'Aosta che in Austria, nelle stagioni estive 2003 e 2006, si sono verificati eventi rilevanti. È stata segnalata quindi l'esigenza di monitorare queste situazioni e di indagarne le cause. Nell'estate del 2006, in Valle d'Aosta, in una sola settimana, arsero più di 70 ha di pineta e nel 50% dell'area il comportamento fu particolarmente intenso. Non bisogna poi dimenticare che in Liguria esistono due stagioni degli incendi, una estiva e una invernale. Anche nel Carso friulano sono frequenti gli incendi estivi, particolarmente severi in presenza di *Pinus nigra*. In Friuli le annate del 2003 e 2006 sono state considerate le peggiori degli ultimi dieci anni (<http://www.regione.fvg.it/rafvig/export/sites/default/RAFVG/GEN/corpoforestale/allegati/RelazioneIncendi2007.pdf>), come nella vicina Carinzia austriaca.

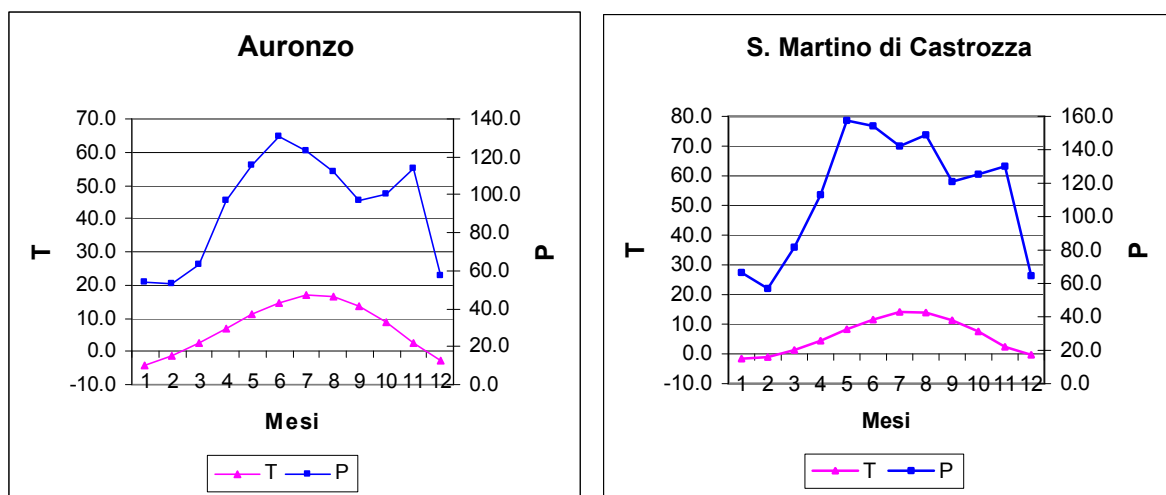


Figura 9. Diagrammi climatici per le stazioni di Auronzo e di S. martino di Castrozza

La complessa topografia alpina crea nelle valli più incise una netta diversificazione dei versanti rispetto all'esposizione, determinando differenze accentuate di copertura nevosa e di riscaldamento dei combustibili. Il recupero dei versanti più acclivi esposti a sud può pertanto essere critico per l'aumento dell'erosione. I gradienti climatici, sia orizzontali che verticali, e il tipo di suolo, producono ecosistemi forestali eterogenei per struttura e composizione, rendendo difficilmente generalizzabile la previsione del comportamento del fuoco. In sede operativa questo può trasformarsi in un vantaggio, dal momento che l'alternanza di alte e basse intensità di fiamma può aumentare le opportunità di intervento. D'altro canto, gli ecosistemi settentrionali sono per lo più sensibili al passaggio del fuoco, ad eccezione di poche formazioni resistenti di pineta o

pseudomacchia, che sono anche le più inclini a bruciare. Il cambiamento di uso del suolo, legato all'abbandono delle aree rurali e all'avanzamento del bosco (Corona *et al.* 2005), ha provocato l'aumento del carico di combustibile in molte aree che si potevano precedentemente definire "pulite", cioè dove non vi era continuità del combustibile.

Come illustrato in tabella 6 e figura 10, la causa principale degli incendi in Italia è umana, mentre gli incendi di origine naturale rappresentano solo una piccola percentuale. Tuttavia alcune regioni nord-italiane si distaccano rispetto alle percentuali calcolate su base nazionale per il periodo 2000 - 2007 (<http://www2.corpoforestale.it/web/guest/serviziattivita/antincendioboschivo>). È stato dimostrato che nelle Alpi esiste un regime di incendi naturali (Tinner *et al.* 2005a-b, Conedera *et al.* 2006). In Friuli gli incendi provocati da fulmine sono stati il 10% del totale (periodo 1994 - 2003), mostrando una frequenza confrontabile con quella registrata in Austria (15%). Al contrario, in Liguria e in Lombardia solo l'1% degli incendi viene attribuito a cause naturali mentre più del 90% è di origine umana.

Rispetto a come sono posizionate nella *GAR*, le regioni nord-italiane sembrano presentare un regime degli incendi più o meno severo, legato alla diversa topografia e ai gradienti climatici. La severità degli incendi lungo l'arco alpino è stata studiata solo in parte (Bovio e Camia 1997), e inquadrare nel dettaglio questo aspetto non è tra gli obiettivi di questo lavoro. A scopo indicativo si riportano alcuni dati raccolti nelle regioni italiane oggetto di indagine (Valle d'Aosta, Lombardia e Veneto) che ben rappresentano i tre distinti settori delle Alpi: occidentale, centrale e orientale (tabelle 7 e 8). L'incidenza dei venti di caduta sulla severità degli incendi è un tratto caratteristico delle valli alpine occidentali e centrali, mentre in quelle orientali l'intensità del föen è ridotta sia dall'orientamento delle valli che dall'elevazione media dei rilievi. Si tratta infatti di un vento che spirava da Nord, Nord-Ovest e il cui potere disidratante dipende dall'altezza di caduta (Kappenberger e Kerkmann 1997), che è maggiore nelle montagne valdostane e lombarde. In Veneto, dove il dislivello tra picchi e valli è inferiore a 3000 m, le masse d'aria sono soggette ad una compressione minore, risultante in venti con un minore potere disidratante. La vicinanza al mare ha anch'essa un'azione mitigatrice degli incendi.

Regione/Paese	Cause (%)			Periodo	Fonte
	Sconosciute	Antropogeniche	Naturali		
Valle d'Aosta	50.0	45.1	4.9	1991-2007	1
Piemonte	31.3	66.5	2.2	1997-2005	2
Liguria	8.0	91.0	1.0	1987-2007	3
Lombardia	9.3	90.0	0.7	1996-2005	4
Veneto	17.5	79.0	3.5	1991-2005	5
Friuli Venezia Giulia	41.5	48.5	10.0	1994-2003	6
Trentino-Südtirol	n.d.	n.d.	n.d.		n.d.
Italia settentrionale	26.3	70.0	3.7		Valore medio
Italia	16.6	82.1	1.3	2000-2007	7
Austria	50.0	35.0	15.0		8

Tabella 6 Cause degli incendi boschivi nelle regioni nord italiane a confronto con le percentuali rilevate a livello nazionale e con quelle rilevate in Austria. Fonti: 1) Regione Autonoma Valle d'Aosta; 2) Regione Piemonte (2007); 3) <http://antincendioboschivo.files.wordpress.com/2008/07/sistema-antincendio-boschivo-regione-liguria.pdf>; 4) Regione Lombardia (2007); 5) Valse e Lubello (2007); 6) http://www.regione.fvg.it/rafvfg/export/sites/default/RAFVG/GEN/incendi/allegati/tabelle_incendi.pdf; 7) Corpo Forestale; 8 Gossow c.p.; n.d. = informazione non disponibile

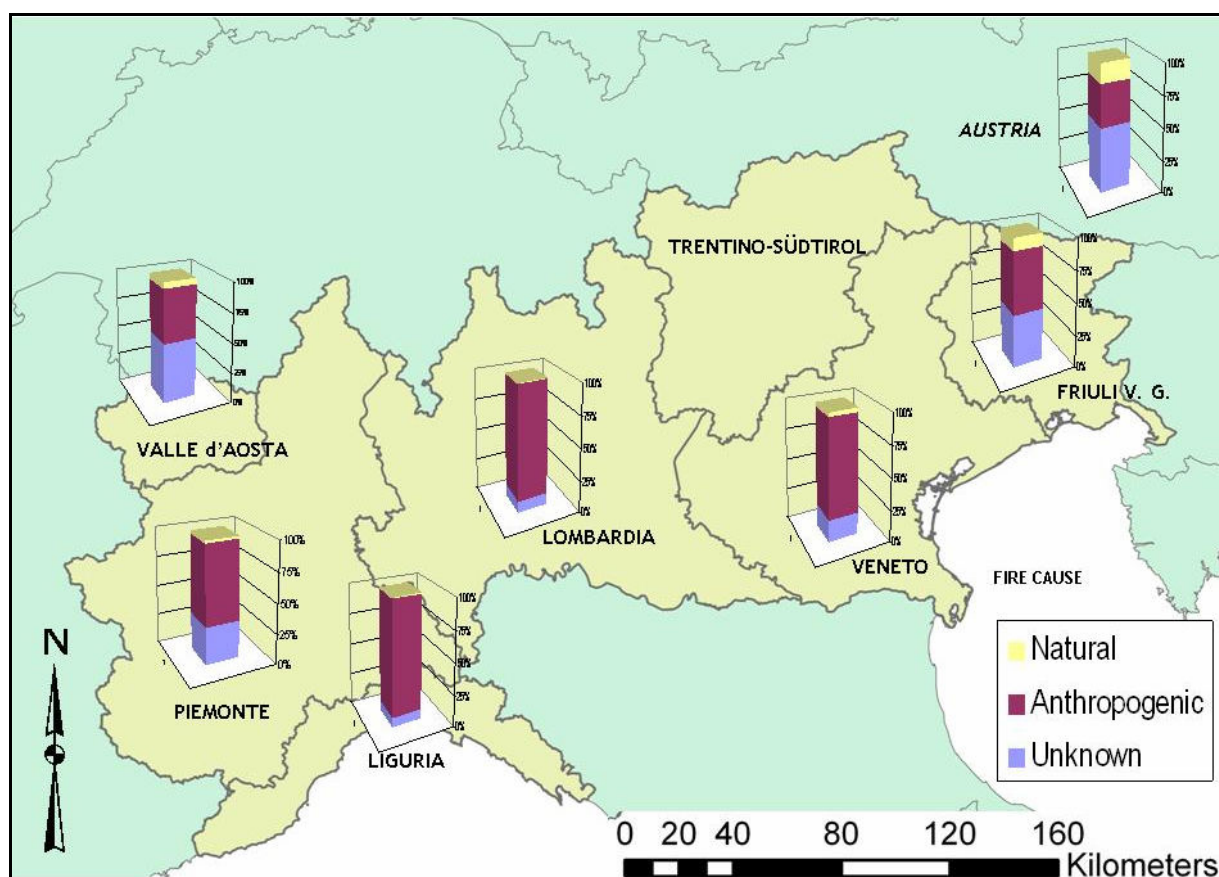


Figura 10. Cause degli incendi in Nord Italia e in Austria

	Valle d'Aosta	Lombardia	Veneto
Settore delle Alpi	Occidentale - interno	Centrale - interno	Orientale – vicinanza al mare
Topografia	Valli molto incise, elevate pendenze, dislivelli superiori ai 3000 m	Valli incise, elevate pendenze	Valli meno incise, pendenze meno accentuate
Temperatura massima media annua (°C)	15 *	17 **	15.4 ***
Precipitazioni cumulate annue (mm)	590 *	990 **	1550 ***
Incidenza dei venti di caduta sulla severità degli incendi (Föen)	Incidenza elevata	Incidenza elevata	Incidenza bassa

Tabella 7 Caratteristiche topografiche e climatiche che influenzano la severità degli incendi in Valle d'Aosta, Lombardia e Veneto. *(stazione Aosta Aereoporto); **(stazione Sondrio); *(stazione Belluno). Fonte: ARPAV Arabba, ARPA Lombardia, Nucleo AIB Regione Autonoma Valle d'Aosta (c.p.)**

Regione	Sito	Giorno dell'innescò e intervallo di massima propagazione	Area bruciata (ha)	Stazione meteorologica	Velocità media del vento (km h⁻¹)
Alpi occidentali (Valle d'Aosta)	Nus, Verrayes	12 marzo 2005 (16:00 – 24:00)	257	Aosta	41
Alpi centrali (Lombardia)	Prata Camportaccio	19 gennaio 2007 (16:00 – 24:00)	171	Samolaco	29
Alpi orientali (Veneto)	Monte Sperone (Sospirolo)	23 Marzo 2002 (16:55 – 24:00)	23	Sospirolo	10

Tabella 8 Velocità media del vento durante la fase di massima propagazione in tre incendi situati rispettivamente nelle Alpi occidentali (Valle d'Aosta), centrali (Lombardia) e orientali (Veneto). Fonte: ARPAV Arabba, ARPA Lombardia, Nucleo AIB Regione Autonoma Valle d'Aosta, Servizi Forestali Belluno (c.p.)

1.4. OBIETTIVI

Questo lavoro si pone come obiettivo principale l'esplorazione delle potenzialità e della *performance* del *FWI System* in tre regioni italiane inserite nel contesto della Grande Regione Alpina. In particolare:

- realizzare un sistema di calcolo dell'indice canadese e predisporre la spazializzazione nella regione Veneto;
- individuare una metodologia di calibrazione dell'indice in un'area pilota corrispondente alla Provincia di Verona;
- valutare la *performance* del *FWI System* rispetto ad alcuni eventi straordinari in Lombardia;
- predisporre dei modelli predittivi del contenuto idrico critico dei combustibili aerei vivi utilizzando gli indici del *FWI System*, con particolare riferimento ai fuochi di chioma in Valle d'Aosta.

2. REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI CALCOLO DELL'INDICE DI PERICOLO CANADESE SPAZIALIZZATO PER LA REGIONE VENETO

2.1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI

L'attività di lotta agli incendi forestali richiede l'utilizzazione di un indice di pericolo d'incendio in funzione delle specifiche caratteristiche territoriali e climatiche, come previsto dall'art. 3 della legge 21 novembre 2000, n. 353 e in particolare dal DM 20 dicembre 2001 (*Linee guida relative ai piani regionali per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi*). In questo quadro il Servizio Antincendi Boschivi della Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana (Regione Veneto) ha deciso di dotarsi del *Fire Weather Index*, trovando la collaborazione del Centro Meteorologico di Teolo (ARPAV) per la rilevazione dei dati meteorologici. Il progetto è stato finanziato nell'ambito di applicazione del Regolamento CE 2152/2001 *Forest Focus*.

Per realizzare un indice di pericolo spazializzato è necessario procedere tenendo in considerazione alcuni principi di base: 1) la numerosità delle stazioni, e quindi delle zone omogenee su cui calcolare il valore dell'indice, deve essere commisurata alle capacità operative del Servizio Antincendi Boschivi; 2) la spazializzazione dell'indice deve tener conto della variabilità climatica della regione; 3) le stazioni meteorologiche che rilevano giornalmente i dati devono essere affidabili e garantire continuità nel tempo. Una decisione importante, che deve essere compiuta nella prima fase di implementazione, riguarda il numero massimo di stazioni (e quindi di aree) che possono essere gestite dal sistema. Nel caso specifico, in accordo con il Servizio Antincendi Boschivi, si è deciso di limitare le zone a una decina per tutta la regione Veneto.

La ricerca si è articolata in tre fasi principali:

- 1) definizione delle aree climaticamente omogenee nella regione e scelta delle stazioni meteorologiche di riferimento;
- 2) predisposizione di un sistema di calcolo e restituzione spaziale dell'indice;
- 3) identificazione di una metodologia di calibrazione in base ad uno studio pilota condotto in alcune aree omogenee e nella Provincia di Verona.

2.2. FASE 1: ANALISI CLIMATICA E SCELTA DELLE STAZIONI PER IL CALCOLO GIORNALIERO DELL'INDICE

L'applicazione dell'indice a scala regionale richiede una buona conoscenza del territorio e dell'andamento climatico. Concettualmente il *CFFWIS* fornisce una stima di ricorrenza e intensità

del fuoco a partire da misure puntuali dei parametri meteorologici (Lee *et al.* 2002). Il sistema non considera la variazione spaziale delle variabili tra i punti di misura e pertanto altri strumenti esterni al sistema devono essere utilizzati per interpolare l'indice (Lawson e Armitage 2008), compito tutt'altro che banale, soprattutto su topografie complesse, come sono quelle alpine. Un'interpolazione continua delle variabili comporta il rischio di fornire un sistema di valutazione del pericolo esageratamente frammentato, incapace di restituire una visione d'insieme, e quindi non funzionale per il supporto alle decisioni. Una spazializzazione discreta risulta più efficace. Nel caso della regione Veneto, una prima regionalizzazione climatica era stata abbozzata da ARPAV (2000) utilizzando le stazioni dell'Ex Magistrato alle Acque, senza produrre tuttavia il quadro climatico di sintesi dell'andamento termopluviometrico e senza considerare le condizioni di confine.

L'obiettivo della prima fase è stato stabilire un criterio per la scelta delle stazioni meteorologiche di riferimento per il calcolo dell'indice. In particolare:

- regionalizzare il clima attraverso l'analisi statistica dei principali parametri meteorologici;
- rappresentare le zone climaticamente omogenee (spazializzazione discreta) attraverso un Sistema Informativo Geografico;
- raggruppare e scegliere le stazioni.

2.2.1. PREDISPOSIZIONE DEL DATASET

Il dataset di partenza comprendeva 500 stazioni meteorologiche dell'Ex Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia (ex S.I.M.N.) situate nel Triveneto, raccolto e compilato nel corso degli anni dal dott. Marco Carrer del Dipartimento TESAF (Università di Padova). I dati specifici di tutte le stazioni, sia quelle di partenza che quelle scelte per l'analisi, sono consultabili nella relazione di progetto (Regione Veneto 2007). I dati meteorologici riguardavano serie storiche di precipitazione cumulata mensile e di temperatura minima, media e massima media mensile.

In un primo momento le stazioni sono state suddivise per tipo di informazione disponibile (temperatura, precipitazione o entrambe) e per lunghezza delle serie storiche. Sono state poi georiferite e scremate in ambiente GIS (ArcGis 9.1 ®) facendo attenzione a rappresentare le condizioni di contorno (Friuli e Province Autonome di Trento e Bolzano). Per eliminare le discontinuità presenti nelle serie storiche (*gap filling*) sono state utilizzate stazioni di riferimento territorialmente o orograficamente vicine, usufruendo anche dei dati corretti forniti da ZAMG (*Central Institute for Meteorology and Geodynamics*). Il dataset finale conteneva serie di lunghezza pari a 30 anni, corrispondenti al trentennio 1961 - 1990, che è un periodo di riferimento utilizzato in molti studi sul clima (ARPAV 2000, Sboarina e Cescatti 2004, Maracchi *et al.* 2004, Maracchi *et*

al. 2005). Erano disponibili 97 serie di precipitazione e 62 serie di temperatura. Per la regionalizzazione del clima sono state utilizzate le 62 stazioni che contenevano sia dati di temperatura che di precipitazione (tabella 9). Le 35 stazioni supplementari sono state utilizzate solo nelle prove di interpolazione delle piogge come controllo dei risultati principali.

Lo stesso dataset è stato proposto in due formati dove:

1. ogni stazione veniva descritta da 36 variabili per una serie di 30 anni (1961 - 1990);
2. ogni stazione veniva descritta da 36 variabili i cui valori venivano calcolati come media dei 30 anni per cui erano disponibili dati. In questo caso, quindi, ad ogni stazione corrispondeva un solo valore per ciascuna variabile (tabella 10).

2.2.2. METODOLOGIA PER LA DEFINIZIONE DELLE AREE CLIMATICAMENTE OMOGENEE

Per la definizione delle aree climaticamente omogenee erano possibili due alternative: la raccolta in un'unica mappa delle informazioni climatiche secondo il *Worldwide Bioclimatic Classification System* (Provincia Autonoma di Bolzano 2004), che richiedeva la disponibilità di ulteriori parametri meteorologici, e l'applicazione della *Principal Components Analysis (PCA)* ai dati di temperatura e precipitazione, su cui è ricaduta la scelta. La *PCA* è un'analisi statistica che permette di identificare le componenti principali di variabilità che caratterizzano dataset complessi, sia per numero di variabili meteorologiche presenti che per abbondanza di stazioni da esse descritte, eliminando gli elementi di ridondanza (Hotelling 1933). Nel caso in esame il dataset era costituito da 62 stazioni e 36 variabili meteorologiche, costituite dalle precipitazioni cumulate per ogni mese, dalle medie mensili delle temperature massime e dalle medie mensili delle temperature minime. Sono stati considerati dapprima tutti i 12 mesi dell'anno e successivamente diverse combinazioni del dataset di partenza, considerando ogni singola stagione e i mesi che la componevano. Attraverso la *PCA* si sono ottenuti per ogni stazione una serie di valori che ne hanno definito la posizione rispetto agli assi di variabilità (componenti principali) e che hanno determinato il raggruppamento delle stazioni con lo stesso *range* di variazione dei parametri, che a loro volta rappresentano le diverse classi climatiche della regione.

La fase di raggruppamento delle stazioni passava necessariamente attraverso l'interpolazione dei risultati prodotti dalla *Principal Components Analysis*. I valori che definivano il range di variazione di ogni stazione sono stati georeferenziati e interpolati tramite *ordinary cokriging*. A differenza dell'*ordinary kriging*, che utilizza solo le autocorrelazioni spaziali, il *cokriging* prende in considerazione anche altre variabili che sono in correlazione (*cross-correlation*) con la variabile che si desidera spazializzare (Maracchi *et al.* 2004, 2005).

Codice stazione	Latitudine	Longitudine	Località	Provincia	Quota (m s.l.m.)
BL01	46.57	12.69	Sappada	Belluno	1217
BL02	46.57	12.55	S.Stefano di Cadore	Belluno	908
BL07	46.58	12.25	Misurina	Belluno	1760
BL09	46.57	12.44	Auronzo	Belluno	864
BL15	46.40	12.10	Mareson (Pianaz)	Belluno	1260
BL16	46.35	12.17	Forno di Zoldo	Belluno	848
BL20	46.50	11.87	Arabba	Belluno	1612
BL21	46.48	11.99	Andraz	Belluno	1520
BL22	46.43	11.99	Caprile	Belluno	1023
BL24	46.37	11.85	Falcade	Belluno	1150
BL27	46.28	12.04	Agordo	Belluno	611
BL29	46.23	11.95	Gosaldo	Belluno	1141
BL42	46.23	12.29	Fortogna	Belluno	435
BL56	46.46	12.52	Passo Mauria	Belluno	1298
BL60	0.00	0.00	cortina	Belluno	0
RO02	0.00	0.00	rovigo	Rovigo	0
RO03	0.00	0.00	badia polesine	Rovigo	0
RO01	0.00	0.00	sadocca	Rovigo	0
TV24	46.04	12.41	La Crosetta	Treviso	1120
TV48	45.70	12.20	Recoaro	Vicenza	445
TV49	45.87	11.80	Montegrappa	Treviso	1690
TV50	0.00	0.00	conegliano	Treviso	0
TV51	0.00	0.00	castelfranco	Treviso	0
TV52	0.00	0.00	treviso	Treviso	0
VE01	0.00	0.00	portogruaro	Venezia	0
VE51	0.00	0.00	chioggia	Venezia	0
VE52	0.00	0.00	venezia	Venezia	0
VE53	0.00	0.00	mestre	mestre	0
VI31	45.90	11.64	Foza	Vicenza	1083
VI36	45.88	11.50	Asiago	Vicenza	999
VI45	45.78	11.74	Bassano	Vicenza	129
VI47	45.78	11.60	Crosara	Vicenza	417
VI50	0.00	0.00	lonigo	Vicenza	0
VI51	0.00	0.00	thiene	Vicenza	0
VI52	0.00	0.00	vicenza	Vicenza	0
VR01	0.00	0.00	bovolone	Verona	0
VR02	0.00	0.00	villafranca veronese	Verona	0
VR03	0.00	0.00	cologna veneta	Verona	0
BZ13	46.55	11.88	Corvara in Badia	Bolzano	1558
BZ20	46.73	12.22	Dobbiaco	Bolzano	1250
BZ31	46.64	11.86	Longiaru'	Bolzano	1396
BZ62	46.57	11.93	S.Cassiano	Bolzano	1545
BZ74	46.72	12.11	S.Vito di Braies	Bolzano	1285
BZ80	46.70	12.35	Sesto	Bolzano	1310
PN10	46.19	12.56	Barcis	Pordenone	409
PN17	46.29	12.44	Cimolais	Pordenone	652
PN18	46.27	12.52	Claut	Pordenone	600
TN03	45.90	10.72	Bezzecca	Trento	698
TN06	45.82	10.95	Brentonico	Trento	693
TN18	46.13	11.59	Costabrunella	Trento	2030
TN20	45.92	11.17	Folgaria	Trento	1168
TN26	45.94	11.26	Lavarone	Trento	1171
TN28	46.01	11.29	Levico	Trento	505
TN50	45.87	11.17	Tonezza	Trento	935
TN55	46.07	11.62	Pieve Tesino	Trento	775
TN57	46.12	11.50	Pontarso	Trento	925
TN66	45.89	10.95	Ronzo	Trento	974
TN68	46.26	11.80	S. Martino di Castro	Trento	1444
TN81	45.88	10.88	Torbole	Trento	70
UD46	46.59	12.78	Forni Avoltri	Udine	888
UD47	46.43	12.58	Forni di Sopra	Udine	907
UD65	46.47	12.71	Sauris	Udine	1200

Tabella 9 Elenco delle stazioni meteorologiche utilizzate nella *Principal Component Analysis*, e alcune specifiche (coordinate geografiche, toponimia, quota). In grigio le stazioni presenti all'interno della regione Veneto

62 STAZIONI		36 VARIABILI									
Obs	Stazione	FREQ	TmaxGEN	...	TmaxDIC	TminGEN	...	TminDI	PrGEN	...	PrDIC
C											
1	Agordo	30	3.99	...	4.36	-5.52	...	-4.43	72.36	...	75.18
2	Andraz	30	0.72	...	1.46	-8.18	...	-7.09	54.93	...	50.47
3	Arabba	30	0.64	...	0.38	-8.02	...	-7.10	53.57	...	43.57
4	Asiago	30	3.55	...	4.45	-5.45	...	-4.25	81.51	...	77.49
5	Auronzo	30	0.14	...	0.86	-8.35	...	-6.61	54.35	...	57.74
6	Badia Polesine	30	4.11	...	5.21	-1.68	...	-0.61	57.53	...	54.13
7	Barcis	30	1.08	...	1.71	-5.35	...	-3.92	128.45	...	143.20
8	Bassano	30	5.88	...	6.52	-0.88	...	0.21	75.38	...	76.49
9	Bezzecca	30	0.72	...	1.60	-4.99	...	-2.68	66.98	...	61.67
10	Bovolone	30	4.33	...	5.38	-1.51	...	-0.53	45.57	...	43.22
11	Brentonico	30	3.63	...	4.38	-2.97	...	-1.18	71.17	...	63.73
12	Caprile	30	2.86	...	2.97	-7.03	...	-5.73	43.84	...	44.51
13	Castelfranco	30	5.46	...	6.24	-1.36	...	-0.27	71.85	...	70.89
14	Chioggia	30	5.56	...	6.82	0.98	...	2.23	58.51	...	53.85
15	Cimolais	30	1.55	...	2.13	-5.62	...	-4.31	99.69	...	105.68
16	Claut	30	0.31	...	-0.16	-6.40	...	-5.21	106.29	...	108.57
17	Cologna Veneta	30	4.51	...	5.37	-1.49	...	-0.79	52.51	...	49.98
18	Conegliano	30	6.48	...	7.36	-1.40	...	-0.44	82.99	...	85.12
19	Cortina	30	4.57	...	5.17	-7.86	...	-6.68	49.80	...	53.97
20	Corvara	30	-2.22	...	-2.06	-10.26	...	-9.22	38.27	...	32.46
21	Costabrunella	30	-0.49	...	0.67	-8.12	...	-6.73	54.96	...	63.22
22	Crosara	30	6.46	...	7.69	-0.40	...	0.83	84.37	...	83.15
23	Dobbiacco	30	-0.36	...	-0.33	-10.24	...	-9.26	25.26	...	30.55
24	Falcade	30	2.36	...	2.75	-6.63	...	-5.55	59.51	...	61.17
25	Folgaria	30	5.10	...	5.34	-4.24	...	-3.68	70.66	...	71.03
26	Forni Avoltri	30	2.31	...	1.73	-5.21	...	-4.10	73.73	...	77.53
27	Forni di Sopra	30	3.96	...	4.76	-5.13	...	-4.28	73.81	...	85.02
28	Forno di Zoldo	30	2.78	...	3.54	-5.20	...	-4.10	68.00	...	69.67
29	Fortogna	30	4.59	...	5.67	-3.45	...	-2.42	84.42	...	92.54
30	Foza	30	3.67	...	4.37	-3.31	...	-2.40	86.87	...	80.31
31	Gosaldo	30	3.04	...	3.90	-5.36	...	-4.14	82.00	...	82.85
32	La Crosetta	30	1.52	...	2.56	-8.71	...	-7.06	112.82	...	110.47
33	Lavarone	30	2.67	...	3.43	-4.85	...	-3.63	78.97	...	76.89
34	Levico	30	3.40	...	4.11	-3.88	...	-2.44	53.76	...	56.79
35	Longiarù	30	-0.98	...	-0.89	-9.97	...	-9.02	41.36	...	41.64
36	Lonigo	30	5.06	...	5.78	-2.14	...	-1.30	60.24	...	55.44
37	Mareson	30	3.25	...	4.18	-5.56	...	-4.23	65.38	...	70.71
38	Mestre	30	5.36	...	6.22	-0.11	...	0.60	63.97	...	61.91
39	Misurina	30	-0.68	...	0.04	-11.13	...	-9.88	42.88	...	49.95
40	Montegrappa	30	0.77	...	1.47	-7.15	...	-6.21	109.57	...	108.50
41	Passo Mauria	30	0.88	...	1.33	-6.91	...	-5.69	72.80	...	81.10
42	Pieve Tesino	30	4.06	...	4.76	-4.76	...	-3.84	65.20	...	67.06
43	Pontarso	30	3.15	...	3.51	-4.18	...	-3.84	56.14	...	60.50
44	Portogruaro	30	6.42	...	7.15	-1.05	...	-0.22	78.84	...	76.95
45	Recoaro	30	4.73	...	4.31	-2.09	...	-1.17	149.70	...	138.99
46	Ronzo	30	2.94	...	3.76	-3.89	...	-3.05	78.91	...	75.21
47	Rovigo	30	4.31	...	5.78	-1.39	...	-0.14	51.41	...	49.03
48	S. Martino di Castr.	30	7.46	...	6.84	0.48	...	1.22	55.71	...	49.82
49	S. Stefano di Cadore	30	1.63	...	0.64	-8.44	...	-7.61	53.52	...	81.38
50	S. Vito di Braies	30	1.99	...	2.87	-5.54	...	-4.47	86.07	...	93.40
51	Sadocca	30	-1.99	...	-1.72	-11.80	...	-10.48	29.68	...	32.57
52	Sappada	30	0.68	...	1.01	-10.15	...	-8.92	29.73	...	37.86
53	Sauris	30	3.25	...	4.50	-6.51	...	-5.20	66.54	...	64.49
54	S. Cassiano	30	0.45	...	0.07	-9.67	...	-8.03	38.98	...	58.16
55	Sesto	30	0.24	...	0.31	-9.99	...	-8.47	36.38	...	39.23
56	Thiene	30	6.50	...	7.47	-0.56	...	0.29	91.42	...	87.64
57	Tonezza	30	2.94	...	3.97	-6.23	...	-4.97	91.39	...	86.71
58	Torbole	30	4.42	...	5.33	-2.23	...	-0.96	61.37	...	55.69
59	Treviso	30	6.42	...	7.38	-1.03	...	-0.39	66.15	...	62.35
60	Venezia	30	5.83	...	6.76	-0.69	...	0.11	55.01	...	56.96
61	Vicenza	30	6.17	...	6.82	-1.66	...	-0.82	86.38	...	79.32
62	Villafranca Veronese	30	5.21	...	6.03	-1.78	...	-1.10	53.92	...	52.74

Tabella 10 Estratto del dataset (formato 2): ogni stazione viene descritta da 36 variabili calcolate come medie di serie storiche trentennali (FREQ = 30).

Nel caso in esame bisognava spazializzare la variabilità climatica, che è correlata fortemente con l'orografia del territorio (gradiente termico di 0.55°C ogni 100 m), la distanza dal mare (gradiente pluviometrico) e la latitudine (gradiente termico) (Gozzini *et al.* 1999). Basandosi su questi presupposti e disponendo del *DTM (Modello Digitale del Terreno)* del Veneto e delle aree di confine, si è proceduto all'elaborazione del modello di latitudine e di distanza dal mare, in modo da correlare nel *cokriging* la variabilità climatica con le caratteristiche geomorfologiche del territorio. Le interpolazioni della componenti principali sono state trasformate in formato vettoriale e intersecate tra loro. Così facendo è stata generata una zonizzazione grezza del territorio che è servita da base per la creazione della mappa finale. Le aree risultanti sono state ridotte seguendo come criteri la vicinanza geografica, l'orografia e la significatività del raggruppamento in base alla variazione dei parametri. Le stazioni usate per l'analisi, sovrapposte alla mappa, determinavano il raggruppamento in 11 aree climaticamente omogenee, così come richiesto dai presupposti progettuali, diverse per il tipo di regime termopluviometrico.

È stata quindi estratta una tabella nella quale compariva la lista delle 62 stazioni dell'Ex-Magistrato alle Acque suddivise per area omogenea di appartenenza, da utilizzare nella procedura di selezione della stazione (o stazioni) più rappresentativa per ogni area, cioè che più si avvicinasse ai valori medi dei parametri meteorologici.

2.2.3. METODOLOGIA PER LA SCELTA DELLE STAZIONI PIÙ RAPPRESENTATIVE

Per ogni area climatica è stata condotta un'analisi dei residui, intesa come differenza tra il valore di ogni parametro delle stazioni dell'ex Ufficio Idrografico dalla media riscontrata nell'area climatica di appartenenza. Questo tipo di analisi permetteva di ordinare le stazioni per grado di rappresentatività. La metodologia adottata prevedeva: 1) l'identificazione dell'andamento medio dei tre parametri climatici per ogni gruppo di stazioni o classe climatica e della retta di regressione tra media del gruppo e dati misurati (figura 11); 2) il calcolo della somma dei residui per ogni stazione all'interno dello stesso gruppo; 3) la distribuzione dei residui attorno alla retta di regressione e l'eliminazione degli *outlayers*; 4) la classificazione delle stazioni in base al valore medio dei residui calcolato dopo l'eliminazione degli *outlayers*. Al diminuire di questo valore cresceva la vicinanza della stazione alla condizione climatica media e quindi il suo grado di rappresentatività.

Accanto al valore medio dei residui, la deviazione standard indicava se la stazione si approssimava alla media del gruppo in modo costante durante tutto l'anno. Se la deviazione standard aveva un valore elevato significava che la media della stazione non era sempre simile alla media dell'area. In questo caso la scelta migliore ricadeva su una stazione che avesse una deviazione minore anche se

possedeva un residuo medio leggermente superiore. Le stazioni meteorologiche in telemisura dell'ARPAV, in grado di fornire i dati di input in tempo reale, non corrispondevano a quelle dell' ex Ufficio Idrografico. Esse appartengono ad una sistema di monitoraggio diverso rispetto alla rete di stazioni storiche dell' ex S.I.M.N. dotate di strumentazione meccanica a lettura manuale. Per questa ragione le stazioni ARPAV sono state scelte in base alla prossimità rispetto alle stazioni più rappresentative dell' ex Ufficio Idrografico e in base alla similitudine tra le quote.

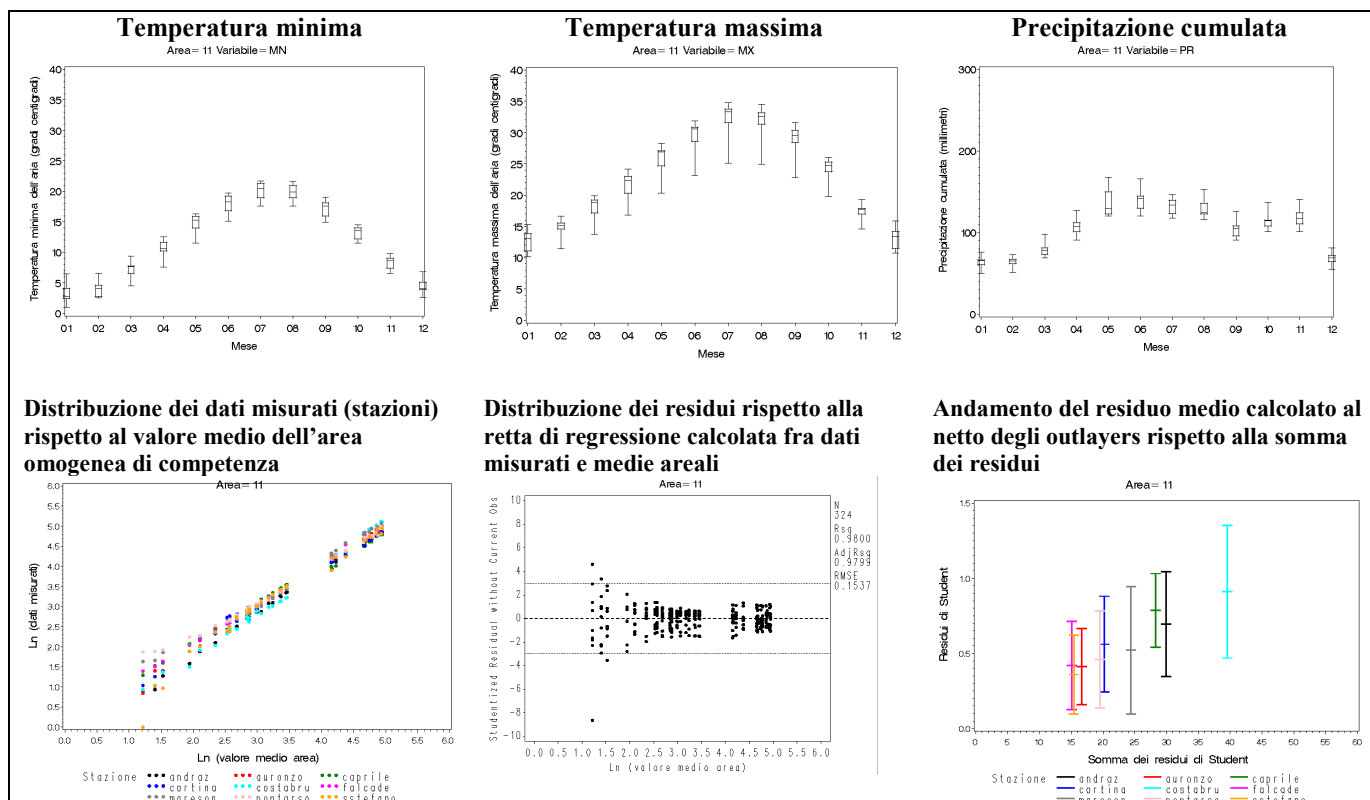


Figura 11 Distribuzione dei residui rispetto alle condizioni medie areali. L'esempio è relativo all' "area omogenea 11. MN = media mensile delle temperature minime, MX = media mensile delle temperature massime; PR = media delle precipitazioni cumulate mensili

2.2.4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Nell'indagine climatica effettuata sono state sufficienti due componenti principali, che spiegano una percentuale di variabilità del 92%, fornendo indicazioni quantitative sui gradienti di temperatura e precipitazione. L'analisi scelta come base per la zonizzazione è quella che utilizza l'intero dataset (valori medi per ogni mese) e permette di produrre un quadro di sintesi valido per tutto l'anno. La prima componente *Prin1* rappresenta l'ordinamento delle stazioni in base alla temperatura e il 68% della variabilità. La seconda componente *Prin2* rappresenta la precipitazione e

spiega il 24% della variabilità. Su ciascun asse, più il valore tra due stazioni è simile, più queste stazioni hanno andamenti climatici simili (figura 12).

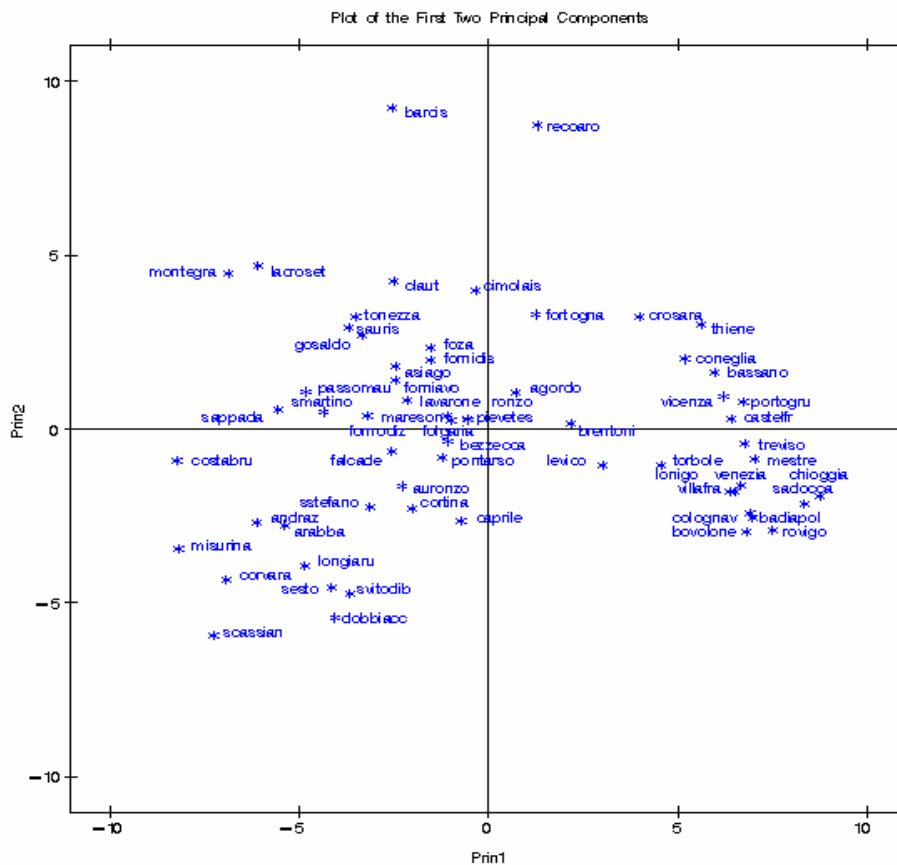


Figura 12 Principal Components Analysis: distribuzione delle stazioni in base alle due componenti principali della variabilità climatica (Prin1 e Prin2)

Il raggruppamento delle stazioni, passando attraverso l'interpolazione dei risultati prodotti dalla PCA, ha generato una prima zonizzazione del territorio in 17 aree, che sono poi state ridotte a 11 per non frammentare eccessivamente il territorio. La figura 13B illustra come si distribuiscono le stazioni ARPAV nella zonizzazione climatica del Veneto. Sono queste le stazioni che rilevano i dati da utilizzare per il calcolo di *FWI* e che sono state confrontate con le stazioni dell'ex Ufficio Idrografico indicate come più rappresentative dall'analisi dei residui (tabella 11). Per completezza è stato riportato l'elenco delle stazioni ARPAV suddivise secondo l'area omogenea in cui ricadono (tabella 12). La scelta definitiva, riportata schematicamente nella tabella 7, deriva da un confronto con l'ARPAV sui casi di scelta dubbia che è stato orientato a verificare, disponendo di alcune serie storiche di dati, la reale rappresentatività delle stazioni scelte. Dopo una prima individuazione delle possibili stazioni ARPAV da utilizzare, si è chiesta conferma del buon funzionamento e dell'affidabilità degli strumenti di misura, eliminando quelle stazioni poste in zone ricolonizzate dal bosco o sottovento.

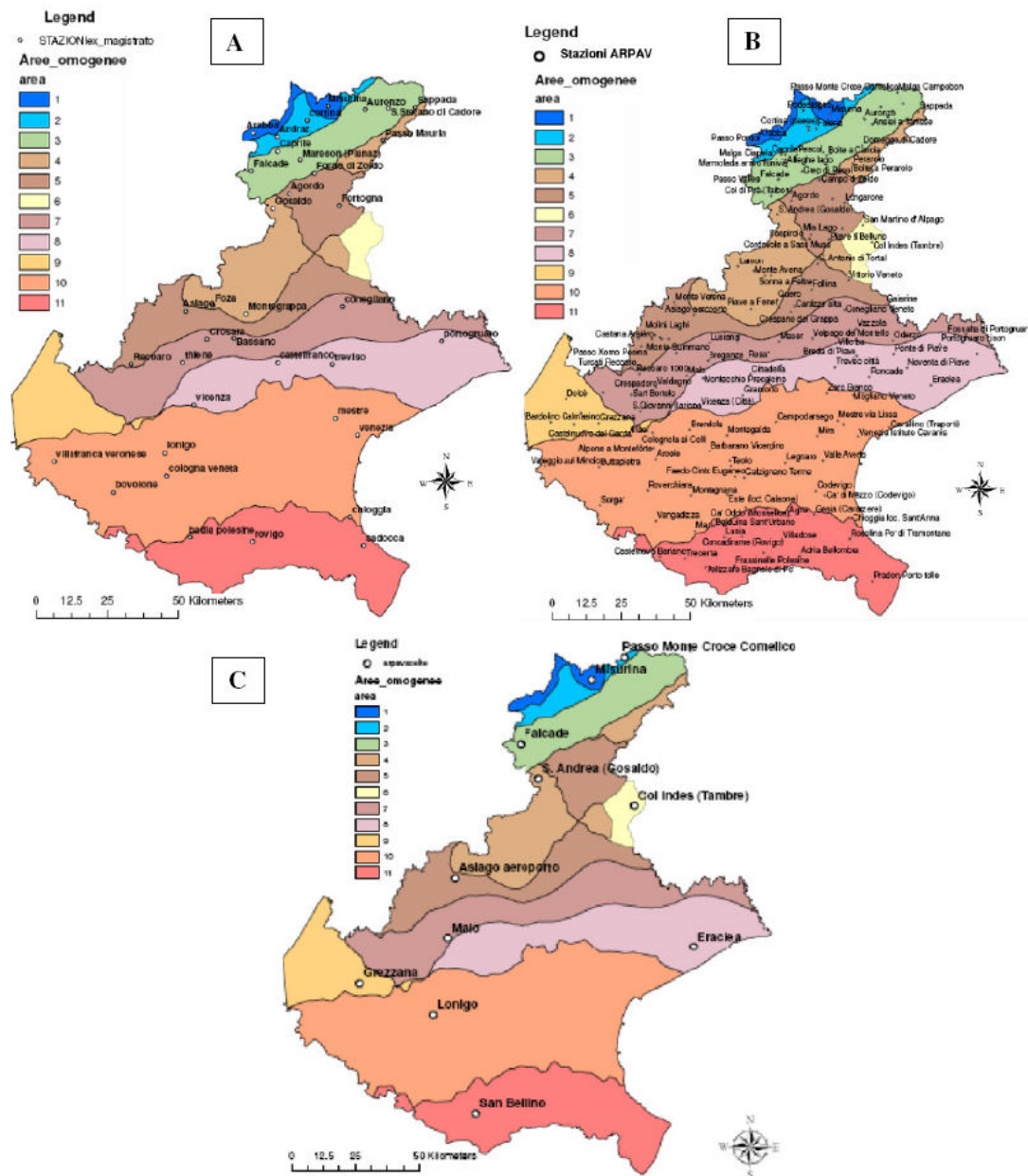


Figura 13 Mappa delle aree climaticamente omogenee come ottenuta dall'Analisi delle Componenti Principali: stazioni ex Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia utilizzate nell'analisi (A); stazioni ARPAV (B); stazioni ARPAV scelte per il calcolo dell'indice (C).

Di comune accordo con l'ARPAV, è stato predisposto un elenco di 11 stazioni di appoggio nel caso in cui le stazioni selezionate dovessero subire danni o presentare malfunzionamenti che impediscano la registrazione di uno più dati meteorologici (tabella 13). La metodologia elaborata ha il vantaggio di non essere statica bensì di permettere l'affinamento dei risultati ottenuti. Grazie al rapporto dinamico con l'amministrazione regionale (in particolare con l'Ufficio Antincendio Boschivo e con l'ARPAV) si è pervenuti ad un risultato elastico che verrà validato osservando il funzionamento dell'indice durante i periodi di allerta e di emergenza.

Area	Stazione Ex-Magistrato alle Acque	Somma residui	Residuo medio	Deviazione standard
1	CORVARA	11.8537	0.32927	0.29332
	LONGIARU	17.7045	0.49179	0.29809
	ARABBA	19.1317	0.57975	0.46957
	MISURINA	21.7718	0.60477	0.52459
	S CASSIANO	25.0069	0.7355	0.63126
2	SESTO	11.7612	0.33604	0.42549
	S VITO DI BRAIES	15.6858	0.43572	0.48778
	DOBBIACCO	24.5537	0.70154	0.73331
	ANDRAZ	25.3416	0.72404	0.54803
	CORTINA	29.4163	0.84047	0.62958
3	FALCADE	6.924	0.19233	0.17193
	MARESON	12.7539	0.35428	0.24992
	AURONZO	12.6378	0.36108	0.37281
	PONTARSO	13.7217	0.38116	0.42444
	S STEFANO	15.3172	0.46416	0.39744
	S MARTINO	17.9898	0.49972	0.29059
	BEZZECA	19.1877	0.53299	0.46961
	CAPRILE	21.8087	0.6058	0.46174
	RONZO	22.1661	0.61572	0.58391
	SAPPADA	22.541	0.68306	0.44025
	BRENTONICO	28.6979	0.84406	0.59709
	COSTABRUNELLA	36.2053	1.06486	0.61763
	LEVICO	39.8262	1.10628	0.58657
4	SAURIS	6.0047	0.1668	0.17316
	GOSALDO	6.7054	0.18626	0.17596
	FORNI AVOLTRI	14.4318	0.40088	0.24464
	FORNI DI SOPRA	17.3015	0.4806	0.25946
	PASSO MAURIA	17.044	0.50129	0.46709
	FOZA	18.3995	0.54116	0.59348
	PIEVE TESINO	32.242	0.89561	0.38958
	MONTE GRAPPA	32.3677	1.01149	0.49502
5	FORNO DI ZOLDO	16.8939	0.46927	0.47472
	LAVARONE	18.6041	0.51678	0.26689
	ASIAGO	19.5994	0.54443	0.49796
	FOLGARIA	21.2096	0.58916	0.43339
	CIMOLAIS	21.3642	0.59345	0.42118
	TONEZZA	20.4618	0.60182	0.52956
	AGORDO	21.6934	0.6026	0.37229
	FORTOGNA	27.8168	0.77269	0.64041
	RECOARO	34.5306	1.11389	0.73502
6	CLAUT	17.1982	0.47773	0.24912
	LA CROSETTA	20.6076	0.60611	0.51508
	BARCIS	26.793	0.74425	0.57498
7	THIENE	18.1853	0.50515	0.44218
	CONEGLIANO	18.8765	0.57202	0.46111
	BASSANO	24.5888	0.68302	0.38916
	CROSARA	25.7677	0.73622	0.56366
8	CASTELFRANCO	16.7795	0.4661	0.36695
	PORTOGRUARO	19.1782	0.53273	0.55361
	VICENZA	20.5145	0.60337	0.66201
	TREVISO	27.2651	0.75736	0.87256
9	TORBOLE			
10	VENEZIA	10.7017	0.29727	0.28741
	VILLAFRANCA V	13.6958	0.39131	0.51735
	COLOGNA V	17.532	0.487	0.41746
	LONIGO	16.7421	0.49242	0.434
	BOVOLONE	20.1208	0.55891	0.47793
	MESTRE	21.3027	0.59174	0.63713
	CHIOGGIA	29.5314	0.89489	0.68587
11	ROVIGO	14.8062	0.41128	0.47893
	BADIA POLESINE	17.7349	0.50671	0.43032
	SADOCCA	29.5562	0.84446	0.6969

Tabella 11 Stazioni dell'Ex Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia (ex S.I.M.N.) ordinate per grado di rappresentatività (in grassetto le stazioni più rappresentative)

Area	Stazione ARPAV	Area	Stazione ARPAV	Area	Stazione ARPAV
1	Cordevole a la Vizza Arabba Passo Falzarego Passo Pordoi Misurina				
2	Malga Ciapela Marmolada arrivo funivia Faloria Podestagno Boite a Cortina Campo Passo Monte Croce Comelico Boite a Podestagno Cortina (paese) Cortina loc. Gilardon				
3	Alleghe lago Cordevole a Saviner Caprile Cordevole a Ponte Chenet Biois a Cencenighe Piave a Ponte della Lasta Gares (Canale d'Agordo) Villanova (Borca di Cadore) Boite a Cancia Auronzo Ansiei a Ponte Malon Crep di Pecol S.Stefano di Cadore Domegge di Cadore Malga Campobon Cimacanal (Val Visdende) Padola a S.Stefano Pescul Passo Valles Cordevole a S. Maria d. Grazie Ansiei a Tarlisse Rovina Bassa di Cancia (Borca) Falcade Col di Prà (Taibon) Fiorentina a Sottorovei Costalta Casamazza (Comelico Superiore)	5	Cordevole a Sass Muss Agordo Cordevole a Ponte Mas 2 S. Antonio di Tortal Belluno loc. Pra' Magri Monte Cesen Valdobbiadene Follina Mis Lago Campo di Zoldo Maè alle Boccole Piave a Ponte nelle Alpi Castana Arsiero Piave a Fener Posina a Stancari Astico a Pedescala Contra' Doppio Posina Monte Verena Turcati Recoaro Agno a Recoaro Rifugio la Guardia Recoaro Valli del Pasubio Astico a Velo d'Astico Gaiarine Valdobbiadene Bigolino Brustole' Velo d'Astico Molini Laghi Passo Xomo Posina Riofreddo a Valoje Posina a Bazzoni Farra di Soligo Longarone MaB a Forno di Zoldo Asiago aeroporto Soffranco (ex Rizzapol) Vittorio Veneto Piave a Belluno Belluno Aeroporto Cartizze alta	8	Montecchio Precalcino Castelfranco Veneto Cittadella Quinto Vicentino Portogruaro Lison Noventa di Piave Eraclea Lugugnana di Portogruaro Grantorto Roncade Villorba Breda di Piave Ponte di Piave Treviso città Vicenza (Città)
4	Boite a Perarolo Perarolo S. Andrea (Gosaldo) Sospirolo Sonna a Feltre Monte Avena Sappada Crespano del Grappa Lamon Feltre loc. Peschiera Valle di Cadore Quero Rifugio Marcesina (Enego) Valpore (Valle di Seren)	6	Col Indes (Tambre) Torch (Pieve d'Alpago) Valda a Puos d'Alpago Cansiglio loc. Tramedere San Martino d' Alpago S.Giovanni Ilarione Recoaro 1000 Valdagno Monte Summano Pove del Grappa loc. Pra' Gollin San Bortolo Crespadoro Conegliano Veneto Malo Lusiana Passo Santa Caterina Valdagno Rosa' Breganze Fossalta di Portogruaro Volpago del Montello Vazzola Oderzo Maser Bassano del Grappa Boscochiesanuova	9	Bardolino Calmasino Dolcè Marano di Valpolicella San Pietro in Cariano Grezzana Castelnuovo del Garda
				10	Mestre palazzo del Gazzettino Villafranca Veronese Lonigo Montagnana Salizzole Legnaro Sorga' Roverchiara Trebaseleghe Arcole Illasi Buttapietra Montecchia di Crosara Vangadizza Faedo Cinto Euganeo Barbarano Vicentino Brendola Montegaldà Noventa Vicentina Masi Cavallino (Treperti) Mira Chioggia loc. Sant'Anna Teolo Galzignano Terme Codevigo San Pietro Viminario Campodarsego Este (loc. Calaone) Zero Branco Monte Grande Rovolon F2 Ca' Oddo (Monselice) Alpone a Monteforte Ca' di Mezzo (Codevigo) Mogliano Veneto Valle Averta Orto Botanico di Padova Venezia Istituto Cavanis Valeggio sul Mincio Colognola ai Colli Mestre via Lissa
				11	Pelizzare Bagnolo di Po' Concadirame (Rovigo) San Bellino Pradon Porto tolle Rosolina Po' di Tramontana Castelnuovo Bariano Villadose Adria Bellombra Frassinelle Polesine Lusia Balduina Sant'Urbano Agna Gesia (Cavarzere) Ponte Zata (Tribano) Trecenta Sant' Apollinare (Rovigo)

Tabella 12 Stazioni ARPAV suddivise per aree climaticamente omogenee (in grassetto le stazioni selezionate per il calcolo dell'indice canadese)

Area	Stazione selezionata	Stazione di appoggio
1	Misurina	Arabba
2	Passo Monte Croce Comelico	Cortina loc. Gilardon
3	Falcade	Auronzo o S.Stefano di Cadore
4	S. Andrea (Gosaldo)	Sappada
5	Asiago Aereoporto	Belluno Aereoporto
6	Col Indes (Tambre)	Consiglio loc. Tramedere
7	Malo	Valdagno
8	Eraclea	Breda di Piave
9	Grezzana	S. Pietro in Cariano
10	Lonigo	Cavallino (Treporti)
11	S. Bellino	Pellizzare

Tabella 13 Stazioni ARPAV di appoggio in caso di mancata registrazione dei dati da parte delle stazioni selezionate per il calcolo dell'indice

2.3. FASE 2: PREDISPOSIZIONE DEL SISTEMA DI CALCOLO DELL'INDICE E DI RESTITUZIONE DEI RISULTATI ALL'UTENTE

Il sistema di calcolo dell'indice si compone di quattro parti (figura 14):

- trasferimento e acquisizione dei dati di input;
- calcolo dell'indice;
- spazializzazione dell'indice e generazione degli output;
- diffusione dei risultati.

Il file di input viene inviato da ARPAV dopo le 13 al Centro Informatico della Regione Veneto. Il sistema acquisisce i dati automaticamente più volte al giorno e genera l'indice. I valori delle variabili meteo possono essere visualizzati dal Servizio Antincendi Boschivi attraverso un grafico che rappresenta l'andamento giornaliero nell'arco dell'ultimo mese, fornendo un ulteriore strumento di controllo e di supporto decisionale. Poiché ARPAV ha segnalato una probabilità pari al 3.5% di mancato invio dei dati (per ogni stazione), è stata predisposta una sezione di programma contenente 11 modelli di regressione, per sopperire ad eventuali discontinuità nei dati di input.

Gli algoritmi di calcolo, provenienti dal *Canadian Forestry Service* (Alberta, Canada), nonché le procedure necessarie all'acquisizione dei dati e alla generazione degli output, vengono eseguiti dal pacchetto statistico SAS v.9.1®. La programmazione in SAS presenta una serie di vantaggi legati alla flessibilità del linguaggio e alla possibilità di unire una varietà di output grafici al calcolo tabulato dell'indice. Nel caso di applicazioni legate al territorio, la possibilità di generare mappe diventa necessaria per acquisire una visione d'insieme della situazione di pericolo d'incendio, nonché per prendere decisioni in merito alle strutture da attivare e al loro dislocamento all'interno del territorio regionale.

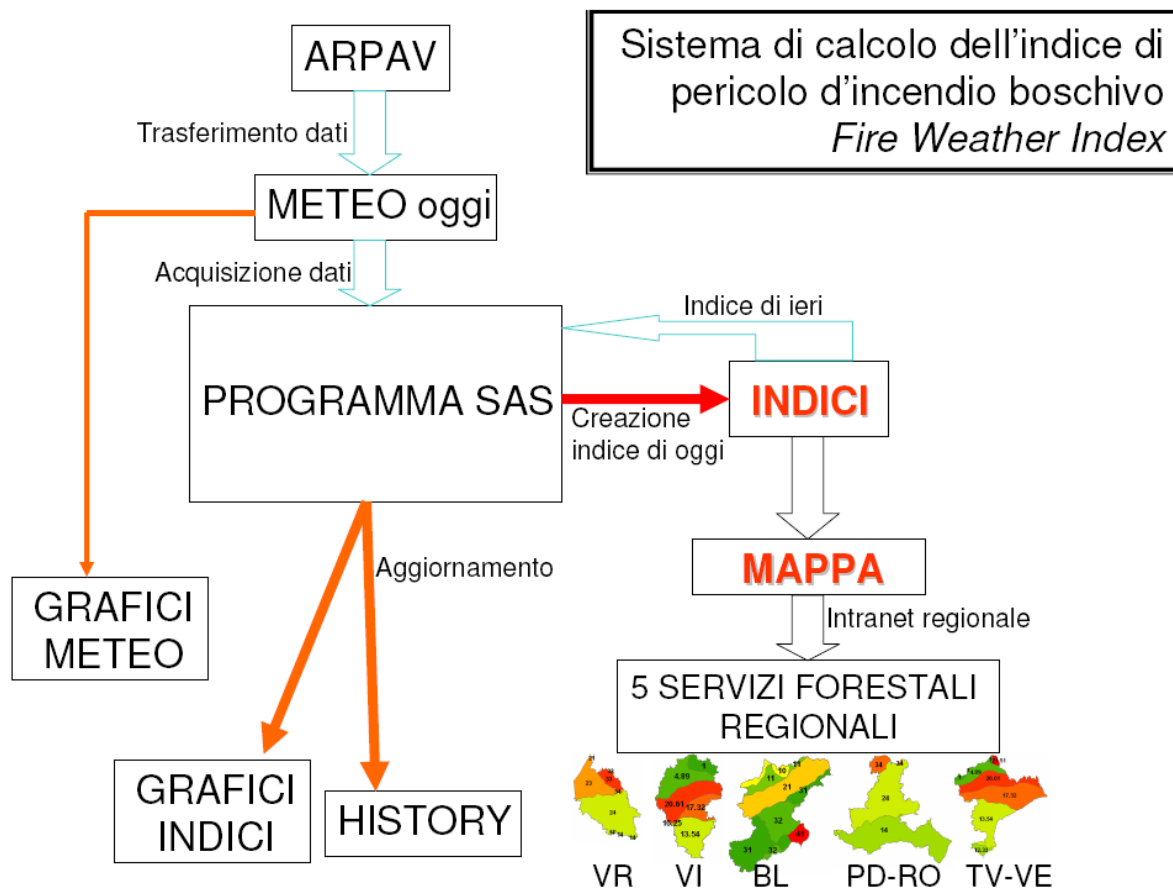


Figura 14 Diagramma di flusso del sistema di calcolo dell'indice adattato per la Regione Veneto

In base alla data che è stata scelta per il calcolo dell'indice, il sistema importa il corrispondente file di dati meteorologici e un file prodotto il giorno prima, nel quale si trovano i valori delle tre componenti dell'indice canadese (*FFMC*, *DMC*, *DC*) necessarie a definire le condizioni iniziali di umidità dei combustibili fini, medi e grossolani. In questa fase vengono generati 11 valori dell'indice corrispondenti alle 11 stazioni meteorologiche che forniscono i dati di input. I valori calcolati per ogni stazione vengono aggregati all'interno di un'unica tabella visualizzabile dall'utente in formato *html* (figura 15). Le tabelle prodotte vengono memorizzate in uno storico che conserva tutti i dati per ogni giorno in cui l'indice è stato calcolato e che viene aggiornato automaticamente dal sistema. Esso rappresenta il *database* di riferimento per qualsiasi indagine statistica si voglia intraprendere sull'andamento dell'indice nel medio - lungo periodo e per la fase di taratura dell'indice stesso.

Ultimata la fase di calcolo, il sistema genera diversi tipi di output destinati all'utente: i valori tabellari dell'indice e delle sue componenti nelle diverse aree omogenee; i grafici dell'andamento dell'indice nell'ultimo mese; la mappa del grado di pericolo per tutta la regione o per i singoli Servizi Forestali. L'automazione della mappa di pericolo è stata eseguita utilizzando la procedura

GMAP di SAS 9.1®. Il programma, tramite un file di testo contenente le coordinate delle aree omogenee, rappresenta i punti che definiscono i poligoni-area come se giacessero su un piano cartesiano, e associa a questi poligoni il valore dell'indice. A seconda del valore assunto dall'indice il poligono assume un colore associato a sua volta al grado di pericolo (figura 15). Oltre alla mappa dell'intera regione sono state predisposte cinque ulteriori visualizzazioni corrispondenti alle aree di pertinenza dei SFR (Servizi Forestali Regionali). A differenza della mappa regionale, le mappe parziali dei Servizi contengono i confini amministrativi dei comuni, che aiutano il personale operativo ad individuare tempestivamente i comuni soggetti a maggiore pericolo d'incendio. La diffusione dei risultati avviene per consultazione, da parte delle diverse realtà amministrative, della *intranet* regionale, in cui è stata predisposta una pagina web per la visualizzazione dell'indice.

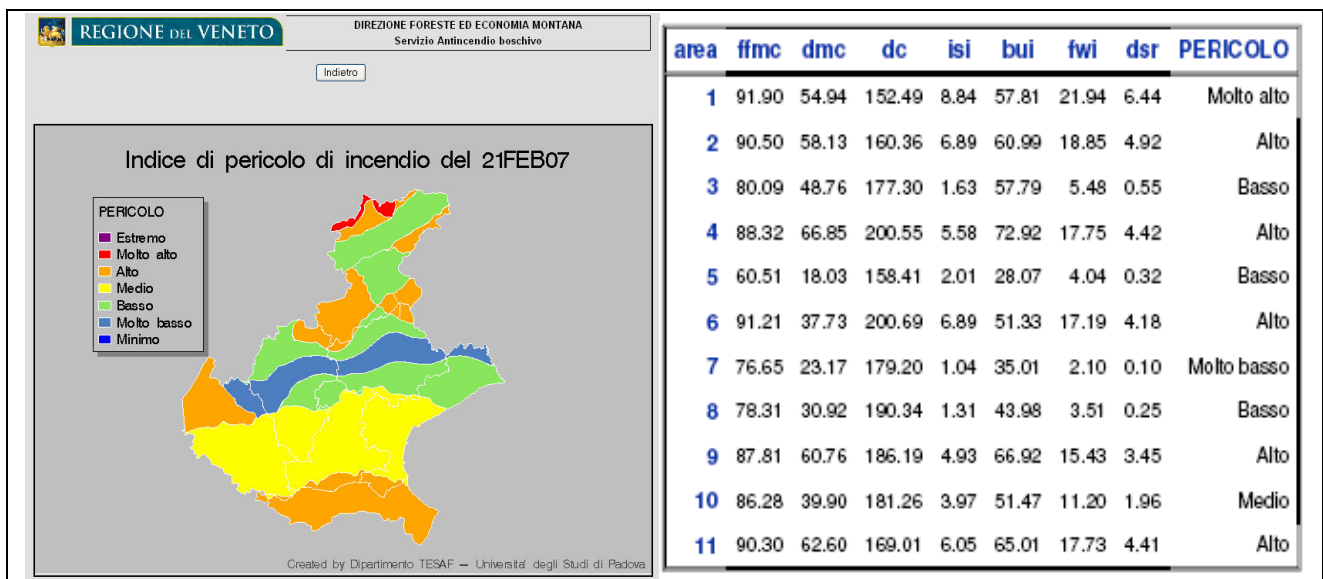


Figura 15 Output principali generati dal sistema di calcolo e accessibili dalla *intranet* regionale: a sinistra la mappa giornaliera del pericolo d'incendio; a destra la tabella con i codici del *FWI System* e il grado di pericolo

2.4. FASE 3: PERFORMANCE DELL'INDICE E CALIBRAZIONE PILOTA IN PROVINCIA DI VERONA

La scala di variazione dell'indice che è stata applicata in Veneto proviene dal Nucleo Antincendi Boschivi della Regione Autonoma Valle d'Aosta e si compone di sette classi di pericolo in cui i valori soglia variano mensilmente (tabella 14). In Valle d'Aosta l'applicazione del *Fire Weather Index* ha restituito risultati soddisfacenti adattandosi pienamente all'ambiente alpino. Dal momento che in Veneto la percentuale più consistente di superficie forestale ricopre la fascia alpina e prealpina, si è ritenuto che in una prima fase questa scelta fosse adeguata. La scala valdostana è stata messa a punto nell'ambito del Piano Antincendio Boschivo della Regione Autonoma Valle d'Aosta

(2005) in seguito ad un'analisi accurata, che è stata svolta sulla base di serie storiche di eventi (1986 – 2002) e dell'esperienza maturata in seno al nucleo AIB.

Per un'utilizzo coerente dell'indice, è necessario verificare se e come procedere ad una taratura specifica per la regione Veneto. In questa prospettiva è stato avviato uno studio pilota in Provincia di Verona (in alcune aree omogenee in particolare) con l'obiettivo di:

- testare la *performance* della scala attualmente in uso, osservando il grado di corrispondenza fra pericolo di incendio predetto e incendi osservati;
- identificare una metodologia di calibrazione specifica da estendere successivamente a tutta la regione.

Grado di pericolo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Estremo	>26	>30	>43	>58	>64	>67	>68	>73	>67	>52	>40	>37
Molto alto	18-26	20-30	27-43	36-58	41-64	39-67	41-68	43-73	40-67	32-52	26-40	24-37
Alto	11-17	13-19	16-26	21-35	23-40	22-38	23-40	24-42	23-39	19-31	16-25	15-23
Medio	7-10	8-12	9-15	11-20	13-22	12-21	13-22	13-23	12-22	11-18	9-15	9-14
Basso	4-6	4-7	5-8	6-10	6-12	6-11	6-12	7-12	6-11	6-10	5-8	5-8
Molto basso	2-3	2-3	3-4	3-5	3-5	3-5	2-5	3-6	3-5	3-5	2-4	2-4
Minimo	0-1	0-1	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-1	0-1

Tabella 14 Scala valdostana di variazione dell'indice canadese su base mensile secondo sette classi di pericolo.
Fonte: Regione Autonoma Valle d'Aosta (2005)

2.4.1. PREDISPOSIZIONE DEL DATASET

Per testare la *performance* dell'indice sono stati considerati gli incendi avvenuti dal 1990 al 2006 nelle aree omogenee numero 5, 7 e 9 (Asiago, Malo, Grezzana), due delle quali ricadono in parte nella Provincia di Verona. Il numero di eventi in queste aree era consistente (tabella 15) permettendo di condurre un'analisi statisticamente significativa. Il calcolo dell'indice ha richiesto una fase di preparazione dei dati (forniti da ARPAV) per eliminare le discontinuità interne alle serie, con la generazione di tre dataset di lunghezza diversa (uno per area), ma sufficiente (circa dieci anni). Una volta calcolato il valore di *FWI*, è stato attribuito il grado di pericolo secondo la scala valdostana. Nell'analisi sono state considerate sia le aree prese singolarmente che aggregate, e le osservazioni sono state suddivise in due categorie: giorni in cui era stato registrato almeno un incendio (*presenza*) e giorni in cui non si erano verificati eventi (*assenza*). Per la categoria *presenza*, i giorni sono stati ulteriormente divisi per superficie percorsa e per numero di simultaneità.

Per la calibrazione pilota è stata scelta la fascia pedemontana della Provincia di Verona (figura 16), dove la ricorrenza degli incendi boschivi era più rilevante, e per la quale i dati meteorologici relativi alle aree omogenee (7 e 9) erano stati precedentemente preparati.

Area	Asiago 5	Malo 7	Malo VR	Grezzana 9	Grezzana VR	Insieme 5, 7, 9
Intervallo dati	7 anni 12/1997 - 08/2004	7 anni 01/1994 - 03/2000		14 anni 02/1992 - 03/2006		
Numero osservazioni	2497	2316	2224	5213	5213	10026
Presenze	166	147	15	234	234	414
Assenze	2331	2169	2210	4979	4979	9479

Tabella 15 Numerosità delle osservazioni, numero di presenze e numero di assenze d'incendio relative ai dataset utilizzati per il test di *performance* (Asiago 5, Malo 7, Grezzana 9, Insieme 5, 7, 9) e per la calibrazione pilota in Provincia di Verona (Malo VR, Grezzana VR)

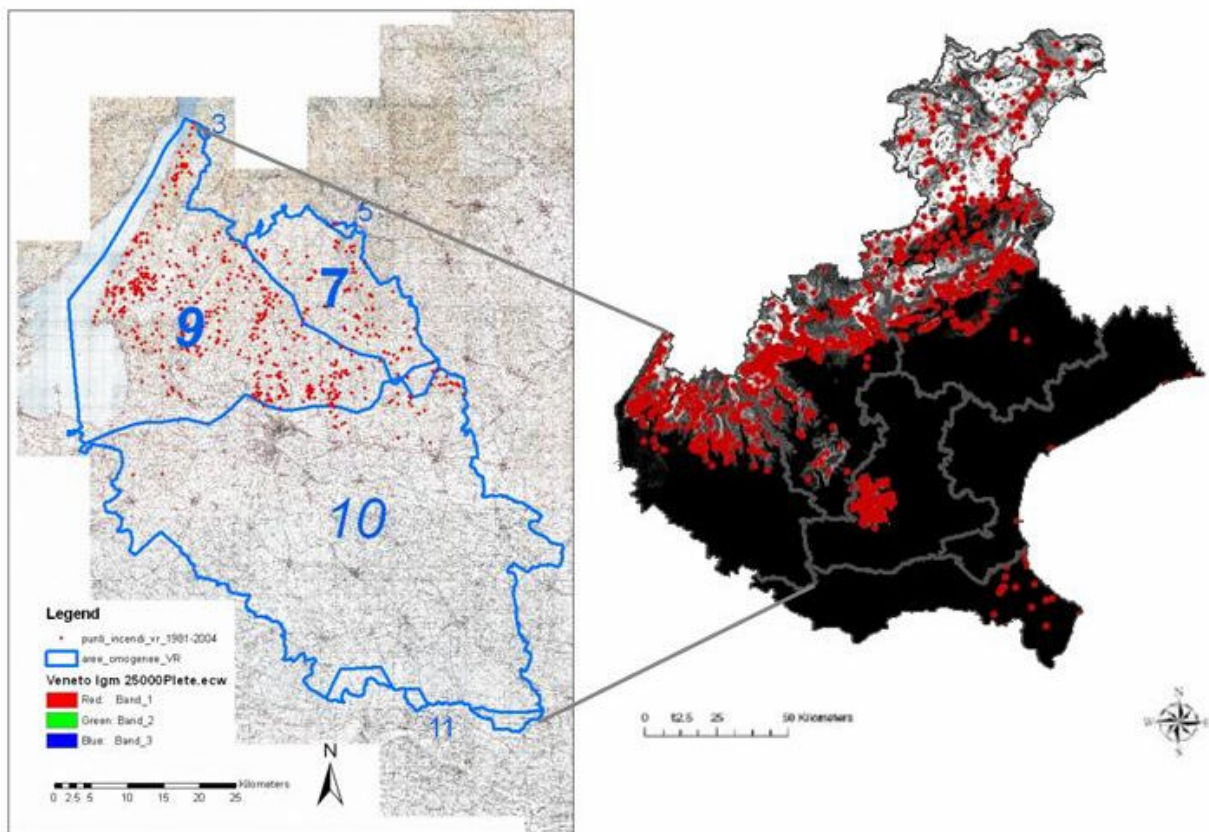


Figura 16 Localizzazione degli incendi in Veneto (a destra) e delle aree omogenee nella Provincia di Verona (a sinistra)

2.4.2. METODOLOGIA DI CALIBRAZIONE E ANALISI DELLA *PERFORMANCE*

Il termine *performance* indica quanto un'indice che descrive la probabilità di accadimento di una certa categoria di eventi (in questo caso *FWI*) sia predittivo degli eventi stessi, e si valuta mettendo a confronto serie storiche predette e serie reali (Andrews 1980, Norum 1982, Rothermel e Rinehart 1983). In questo studio si è scelto di testare la *performance* delle classi di pericolo, così come designate dalla scala valdostana, confrontando la frequenza dei giorni con presenza e assenza di incendio rispetto alle sette classi. L'analisi scelta è il test del Chi-quadro ed è stata condotta utilizzando la procedura *Proc Freq* di Sas 9.1 ®. Sono state così generate delle tabelle di contingenza che forniscono le seguenti statistiche, per ogni classe: 1) numero di presenze e assenze; 2) numero di presenze e assenze previste; 3) percentuale di presenze e assenze rispetto a tutte le osservazioni; 4) percentuale di presenze rispetto alle assenze (e viceversa); 5) percentuale di presenze o assenze rispetto alle osservazioni della classe. Di queste statistiche le più rilevanti, al fine di testare l'affidabilità dell'indice, sono le percentuali di assenza o presenza per ogni classe. Se al crescere del pericolo (classe) aumenta anche la percentuale di presenza (mentre diminuisce la percentuale di assenza), allora l'indice può essere considerato segnalatore del fenomeno, ovvero di una maggiore ricorrenza di incendi. D'altro canto, se il trend non viene rispettato per tutte le classi previste, questo significa che un aggiustamento è necessario nell'attribuzione dei valori soglia, e si dovrà applicare un'adeguata metodologia di calibrazione.

Ipotizzando che una calibrazione fosse necessaria, è stata testata una metodologia per la Provincia di Verona (usando i dati relativi alle aree 7 e 9), con lo scopo di estenderla all'intera regione Veneto. In una fase preliminare, a scopo descrittivo, sono stati esplorati i dataset comprendenti tutti i giorni (*all days*), i giorni con presenza di incendio (*fire days*), i giorni in cui si era verificato più di un incendio (*multiple - fire days*) e i giorni in cui si erano verificati grandi incendi (*large fire days*), dove per grandi incendi si intendevano gli eventi che hanno percorso una superficie maggiore di 4 ha (Andrews *et al.* 2003). Questa soglia è stata verificata confrontando l'andamento della frequenza e della superficie boscata degli incendi, cumulata per classi dimensionali (superficie inferiore a 1 ha, superficie tra 1 e 4 ha, superficie superiore a 4 ha). Per ognuno dei dataset sono stati individuati i valori di *FWI* corrispondenti al 90° e 97° percentile, che si prestano all'individuazione dei limiti inferiori delle soglie di pericolo più alte (Helfman *et al.* 1987). I valori relativi a *fire days* sono stati scelti per fissare i valori limite delle classi di pericolo "molto alto" ed "estremo", prima su base mensile e successivamente su base stagionale. I valori soglia indicati dagli altri dataset sono stati utilizzati per aggiustare i valori indicati da *fire days*, dal momento che la bassa frequenza di osservazioni per il 90° e 97° percentile lasciava un margine di soggettività nella scelta dei valori di

FWI. Il raggruppando dei dati in quattro stagioni ha permesso di contare su un numero maggiore di osservazioni (in media 50 *fire days* per stagione). I risultati sono stati confrontati con i valori delle classi superiori valdostane, per valutare se la differenza fosse consistente o meno, e per interrogarsi sulla motivazione. Una volta definite le classi superiori, la scala di variazione del pericolo andrebbe completata applicando una progressione geometrica alle classi restanti.

2.4.3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Performance dell'indice. Le tabelle di contingenza (figura 17) indicano che la frequenza degli incendi aumenta man mano che l'indice di pericolo *FWI* cresce, confermando una buona corrispondenza tra eventi predetti e reali. La classe 6, in particolare, presenta le frequenze maggiori (eccetto per Asiago in cui non compare), fino al 57.14% di presenze per l'area omogenea rappresentata dalla stazione di Malo, mentre non ci sono stati giorni in cui il pericolo potesse essere definito estremo (classe 7). L'assenza della classe 7, cioè di condizioni estremamente severe, riscontrata in ben tre aree omogenee, evidenzia la necessità di una calibrazione specifica per la regione Veneto.

Calibrazione pilota. I limiti inferiori delle classi di pericolo “molto alto” ed “estremo” risultanti dall'analisi dei percentili hanno un valore di gran lunga inferiore rispetto a quelli relativi alla scala valdostana (tabella 16). Il mese di dicembre non viene rappresentato dal momento che non si sono verificati incendi in quel mese (per la serie considerata). Il campione di dati, essendo stato frammentato in 12 mesi, costituisce un limite alla significatività dell'analisi (in media 22 osservazioni per mese), poiché un ampio margine di soggettività entra nella scelta dei valori soglia (si osservi l'esempio riportato in tabella 17). Probabilmente il numero di osservazioni che si otterrà considerando tutte le aree omogenee della regione fornirà risultati più affidabili. Per ottenere risultati meno approssimativi, una soluzione alternativa consisteva nell'aggregare i dati su base stagionale (tabella 18) e nell'aggiustare i valori utilizzando gli altri dataset. In questo caso i valori soglia per le due classi superiori sono 15 e 20 (per la stagione invernale, da dicembre a febbraio). I valori relativi alla stagione autunnale non sono significativi, contando su sole 12 osservazioni. È interessante notare che gli eventi occorsi in estate e in autunno non hanno coperto superfici riferibili alla categoria dei grandi incendi (almeno 4 ha).

La metodologia testata nella provincia di Verona fornisce le prime indicazioni specifiche sui valori di *FWI* durante gli incendi relativamente al settore sud-orientale della Grande Regione Alpina (regione Veneto). È evidente che, rispetto alla scala valdostana, le soglie di pericolo dovranno essere traslate su valori più bassi. Rispetto alla Valle d'Aosta, caratterizzata da un clima

marcatamente continentale, la fascia pedemontana della provincia di Verona è influenzata dalla vicinanza del Lago di Garda, che ha una funzione mitigatrice degli estremi climatici, e dall'assenza di venti di caduta. Questa potrebbe essere la ragione per cui la scala valdostana non aderisce completamente all'andamento degli incendi che si sono verificati in quest'area. Per il futuro completamento della calibrazione, si ritiene opportuno applicare la metodologia di aggregazione su base stagionale, oltre a quella su base mensile, a tutte le aree omogenee e all'intero dataset regionale.

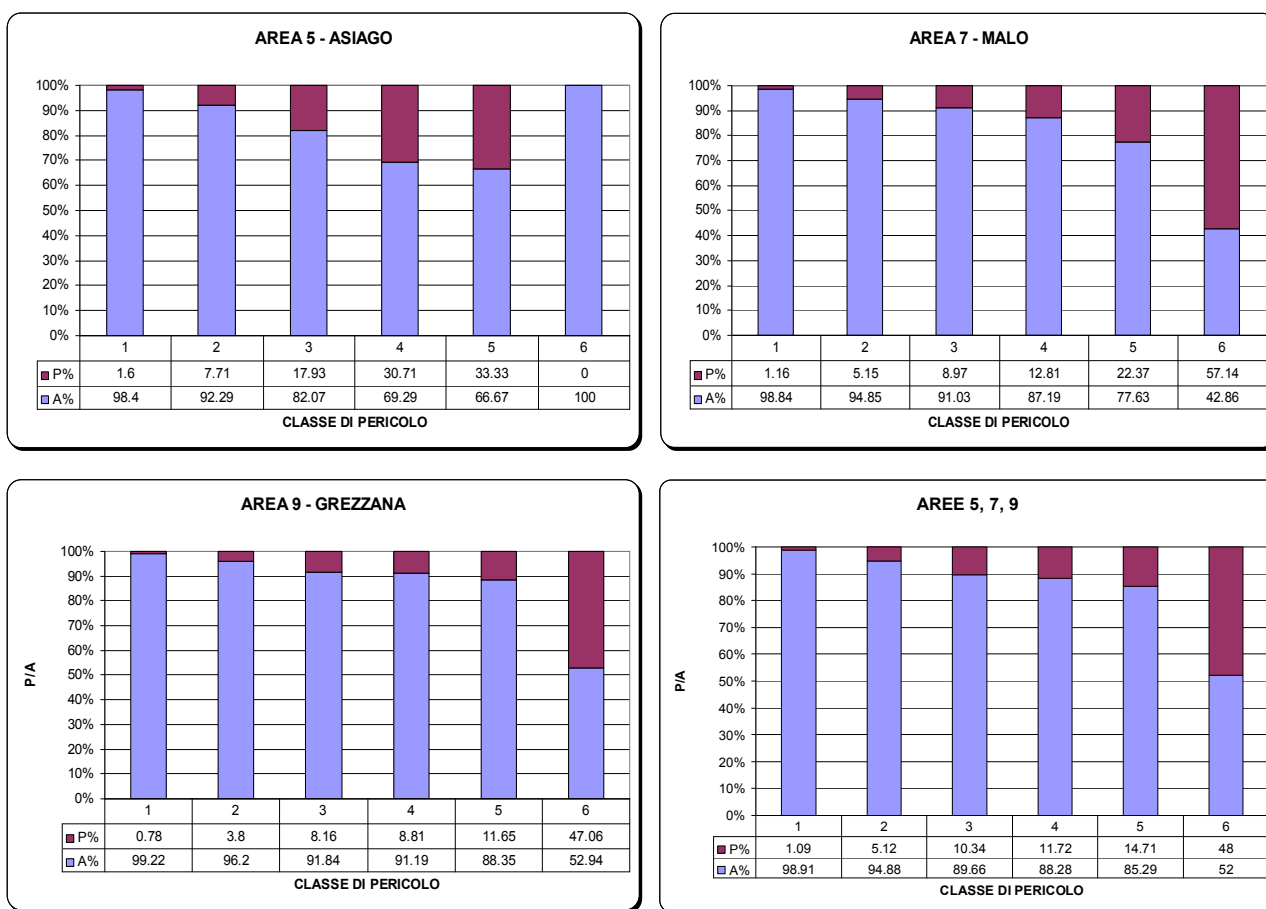


Figura 17 Tabelle di contingenza e confronto tra le percentuali di presenza e di assenza di incendio per classe di pericolo, per le aree omogenee 5, 7, 9, e considerando l'unione dei dataset relativi a queste tre aree

Percentile o grado di pericolo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Numero osservazioni VR	15	78	85	15	4	6	8	27	7	1	2	
90° VR	9	12	12	17	20	28	28	32	32	6	6	
97° VR	12	20	16	20	24	32	32	36	36	8	8	
P. molto alto VDA	18	20	27	36	41	39	41	43	40	32	26	24
P. estremo VDA	26	30	43	58	64	67	68	73	67	52	40	37

Tabella 16 Valori soglia delle due classi più alte di pericolo corrispondenti al 90° e 97° percentile. A confronto i valori risultanti dalla calibrazione pilota in Provincia di Verona (90° VR e 97° VR) e i valori della scala valdostana (P. molto alto VDA e P. estremo VDA)

<i>FWI</i>	N osservazioni	Frequenza (%)	Frequenza cumulata o percentile (%)
0	22	28.21	28.21
4	24	30.77	58.98
8	19	24.36	83.34
12	6	7.69	91.03
16	2	2.56	93.59
20	5	6.41	100.00
24	0	0.00	100.00
28	0	0.00	100.00
32	0	0.00	100.00
36	0	0.00	100.00

Tabella 17 Valori di *FWI* e percentili per il mese di febbraio. Si noti come la scelta delle soglie venga resa difficile dalla mancanza di una chiara indicazione del 90° e 97° percentile

Dataset	Percentile	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
<i>All days</i>	90°	5	19	25	21
	97°	11	27	33	27
<i>Fire days</i>	90°	15	24	31	31
	97°	20	30	35	35
<i>Multiple-fires days</i>	90°	12	12	24	24
	97°	20	20	36	36
<i>Large fires days</i>	90°	16	14		
	97°	20	20		

Tabella 18 Valori di *FWI* per il 90° e 97° percentile, calcolati su base stagionale, per le aree 7 e 9. A confronto i risultati relativi a quattro dataset: *All days* (tutte le osservazioni), *Fire days* (giorni con presenza di almeno un incendio), *Multiple-fires days* (giorni con presenza di simultaneità), *Large fires days* (giorni con presenza di incendi superiori a 4 ha). Inverno = XII - II; Primavera = III - V; Estate = VI - VIII; Autunno = IX - XI. In grassetto i valori scelti come soglie delle classi più alte

Essendo il Veneto, come la Lombardia, una regione in cui sono presenti sia aree montane che pianeggianti (Bovio e Camia 1997), le prossime ricerche dovranno valutare se sia necessario predisporre diverse scale di variazione del pericolo per incorporare le due categorie topografiche. Per semplificare il sistema si suggerisce il passaggio da sette a cinque classi di pericolo, analogamente alla maggior parte dei distaccamenti provinciali canadesi (come verificato personalmente nelle Provincie di Alberta e Saskatchewan). Infine, se si desidera predisporre uno strumento veramente efficace per la gestione degli incendi, sarà imprescindibile mantenere viva la connessione e il confronto tra il livello amministrativo regionale e quello locale dei Servizi Forestali Periferici, i quali sono per definizione i soggetti che più da vicino possono controllare la *performance* dell'indice.

2.5. CONCLUSIONI

L'impiego di un indice di pericolo d'incendio boschivo da parte del Servizio Antincendi Boschivi della Regione Veneto è un passo obbligato affinché questi possa allinearsi ai moderni servizi antincendi boschivi. Questa iniziativa permetterà di analizzare il funzionamento dell'indice canadese nel territorio della Regione Veneto e fornirà un dataset consistente sul quale tarare le classi di pericolo all'andamento degli incendi nella regione. Da un punto di vista operativo è essenziale la definizione delle procedure operative che dovranno essere associate a ciascuna classe di pericolo e saranno costituite da procedure di emergenza e mobilitazione del personale, avvistamento e controllo. La veste dell'applicativo di calcolo, accessibile tramite internet anche a livello periferico, rende questo strumento facilmente consultabile e fornisce direttamente gli output in una forma grafica intuitiva. La possibilità per l'ufficio centrale di calcolare manualmente l'indice e di visualizzare gli input, garantisce il controllo del sistema e l'interazione con esso. Il progetto è stato svolto privilegiando una prospettiva dinamica di sviluppo e miglioramento del prodotto. In questa chiave rimane strategica la possibilità di produrre anche la previsione del pericolo d'incendio a 1 o 2 giorni per una programmazione ottimale delle azioni di contrasto degli incendi boschivi in Veneto.

3. VALUTAZIONE DEI FATTORI PREDISPONENTI IL VERIFICARSI DI FUOCHI DI CHIOMA IN VALLE D'AOSTA

3.1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI

La Regione Valle d'Aosta è contraddistinta da un regime d'incendi influenzato fortemente dalle caratteristiche morfologiche del terreno e dalla posizione geografica, corrispondente al settore occidentale interno delle Alpi meridionali. Si tratta di una valle profondamente incisa, i cui versanti sono per lo più scoscesi e interessati spesso anche da fenomeni di dissesto idrogeologico. La forma della valle favorisce l'incanalamento dei venti, tra i quali i venti di caduta (föhn) rivestono un ruolo predominante. Nonostante la ridotta superficie, la Valle d'Aosta presenta un'ampia differenziazione di situazioni microclimatiche e, di conseguenza, vegetazionali, legate al gradiente di quota e all'effetto marcato dell'esposizione di versante. Tuttavia ci sono formazioni forestali che sono particolarmente soggette ad incendi boschivi, come ad esempio le pinete di pino silvestre. La mappa di pericolosità, elaborata nell'ambito del Piano Regionale Antincendi Boschivi (2005), delimita in maniera efficace le zone della valle in cui crescono i popolamenti di pino silvestre e pino nero, ed evidenzia tra queste le zone di massima pericolosità, nelle quali alla presenza delle pinete si aggiungono l'esposizione sud e le condizioni di xericità più severe (figura 18). È proprio in questa fascia che si sono concentrati negli ultimi anni i fenomeni più intensi (figura 18). La stagionalità degli incendi in Valle d'Aosta si manifesta con una maggiore frequenza durante i mesi tardo-invernali o primaverili, da dicembre ad aprile (figura 19). In questo periodo dell'anno, le piante attraversano una fase di riposo vegetativo, in cui il contenuto idrico dei tessuti fogliari decresce progressivamente fino a quando non si verificano le prime piogge primaverili. Il tempo di permanenza della neve al suolo e l'andamento delle precipitazioni nevose condiziona la distribuzione degli incendi nel territorio. Non è raro il caso di eventi anche molto intensi occorsi su versanti esposti a sud (in cui la neve si era già sciolta) che sono stati rallentati o estinti naturalmente dalla neve quando hanno valicato il crinale e sono passati sul versante nord. Negli ultimi quarant'anni, la Regione Valle d'Aosta ha assistito al verificarsi di 4638 eventi che hanno interessato 7030 ha, di cui 4400 costituiti da superficie boscata (Cesti 2004). Il nucleo Antincendi Boschivi Regionale ha curato la raccolta delle informazioni concernenti gli eventi dell'ultimo ventennio. Nella tabella 19 vengono riportate le statistiche per il periodo 1986-2006, considerando nel dettaglio l'andamento degli incendi di chioma in pineta, che è la formazione maggiormente suscettibile a questo fenomeno. L'incidenza del fuoco di chioma, passivo o attivo, sulla superficie totale percorsa da fuoco nelle pinete, supera infatti il 20%.

Oltre alla pendenza del terreno, tre sono i fattori predisponenti il passaggio del fuoco in chioma: 1) l'idratazione dei combustibili vivi; 2) l'accumulo del combustibile morto (combustibili di superficie); 3) la continuità verticale fra strato arbustivo e strato arboreo (combustibili aerei).

Se da un lato l'accumularsi dei combustibili è un fattore dalla lenta dinamica, legato soprattutto alla struttura del popolamento, l'idratazione dei combustibili vivi viene significativamente influenzata dall'andamento meteorologico. L'assenza di precipitazioni, accompagnata da condizioni estreme come un'umidità relativa dell'aria molto bassa e venti intensi e costanti, intensifica la disidratazione dei combustibili aerei. Gli incendi del 12 marzo 2005 sono un interessante esempio di quadro meteorologico predisponente, con umidità relative anche dell'8%, velocità del vento fino a 60 km h^{-1} e scarsità di precipitazioni primaverili (un quarto dell'ammontare mediamente registrato per quel periodo dell'anno). È stato osservato che, mentre il semplice passaggio in chioma del fuoco avviene anche quando gli aghi di pino hanno contenuti idrici elevati (130% rispetto al peso secco per gli aghi di annata e 115% per gli aghi dell'annata precedente), l'intensità e la velocità di propagazione alla chioma aumentano significativamente con umidità inferiori degli aghi (105-115% per gli aghi di annata e 92-100% per aghi dell'annata precedente) (Cesti 2004). Questi valori possono essere definiti critici per le manovre di estinzione.

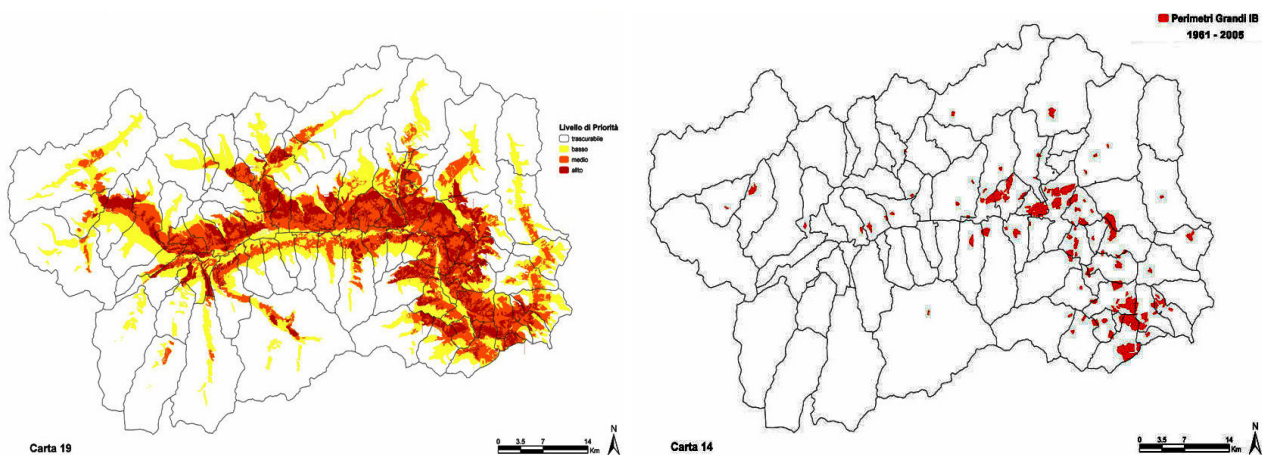


Figura 18 Mappa dei livelli di priorità (a sinistra): le superfici colorate sono quelle in cui si trovano le pinete. In rosso scuro le aree dove la priorità è alta; localizzazione degli incendi (a destra) con superficie superiore a 5 ha occorsi nel periodo 1961-2005 (fonte: Piano Regionale Antincendi Boschivi 2005)

Per ottenere una valutazione complessiva del quadro climatico, la Regione Autonoma Valle d'Aosta ha avviato da circa 15 anni un sistema di monitoraggio del pericolo d'incendio che si basa sull'indice canadese *FWI* (*Fire Weather Index*). Il trascorso periodo di utilizzo ha permesso di verificare l'applicabilità dell'indice al contesto alpino e di tarare le soglie dei diversi gradi di pericolo. Un applicativo *ad hoc* è stato predisposto per il calcolo giornaliero dell'indice, con la

possibilità di visualizzare le componenti intermedie dell'indice, il valore dei parametri meteorologici che entrano come input e l'andamento dell'indice nell'ultimo mese. L'estensione spaziale dell'indice avviene utilizzando circa 15 stazioni meteorologiche distribuite sul territorio. La posizione delle stazioni è nota come anche le caratteristiche topologiche e vegetazionali corrispondenti. Questo permette al nucleo AIB di monitorare il grado di pericolo e di associarlo, grazie ad una buona conoscenza del territorio, allo sviluppo di un incendio. La scelta di dotarsi di un sistema per il monitoraggio del pericolo d'incendio, come anche studiare il comportamento del fuoco e poter prevedere quando questo può evolvere in forme più pericolose, come gli incendi di chioma, riveste una notevole importanza per ciò che concerne la sicurezza degli addetti alle operazioni di spegnimento (Cesti 2003).

L'*FWI* è un indice che è stato concepito per seguire e predire l'andamento dell'umidità nei combustibili morti (Van Wagner 1987). Negli ultimi anni sono stati avviati anche degli studi per predire il contenuto idrico dei combustibili vivi, che costituisce un parametro importante nell'evoluzione del fuoco radente in fuoco di chioma, anche se non si è ancora giunti ad un indice attendibile (Scott e Reinhardt 2001). Inizialmente Van Wagner (1974) sviluppò un indice detto *Crown Spread Index (CSI)* in grado di parametrizzare la capacità di diffusione degli incendi di chioma nei popolamenti di conifere; in particolare il *CSI* fu elaborato per cercare di dare una risposta al fatto che il maggior numero d'incendi in chioma si verificano nel periodo primaverile, quando cioè il contenuto idrico delle foglie diminuisce prima della comparsa dei nuovi getti all'inizio del periodo vegetativo. A conferma dei risultati condotti da Van Wagner sulla dipendenza del fuoco di chioma dallo stato idrico del combustibile vivo, Chrosciewicz (1985), con uno studio sulla variazione dello stato idrico su *Pinus banksiana* (Lamb), *Pinus mariana* (Mill) e *Picea glauca* (Moench) e Weise *et al.* (1998) su alcune specie arboree del Colorado, Arizona e California, osservarono che la maggior parte degli incendi di chioma nei boschi di conifere si verificano durante la stagionale diminuzione del contenuto idrico delle foglie nel periodo primaverile. Recenti studi su incendi di chioma condotti negli Usa negli stati dell'Oregon e di Washington hanno dimostrato, inoltre, che il basso contenuto idrico delle foglie più vecchie nel periodo primaverile contribuisce in maniera marcata all'innescò di un incendio di chioma (Agee *et al.* 2002).

Per le ragioni appena esposte, ovvero l'alta ricorrenza dei fuochi di chioma e la necessità di studiarne i fattori predisponenti, la Regione Autonoma Valle d'Aosta ha ritenuto opportuno condurre uno approfondimento sulle dinamiche concernenti il passaggio in chioma degli incendi. L'esistenza di uno strumento già avviato per il monitoraggio del pericolo d'incendio e le attività di campionamento condotte dal nucleo AIB, per la misura delle variazioni di umidità delle piante,

costituiscono il punto di partenza di questo studio, il cui obiettivo è verificare se è possibile predire la disidratazione dei combustibili aerei vivi utilizzando gli indici dell'FWI System.

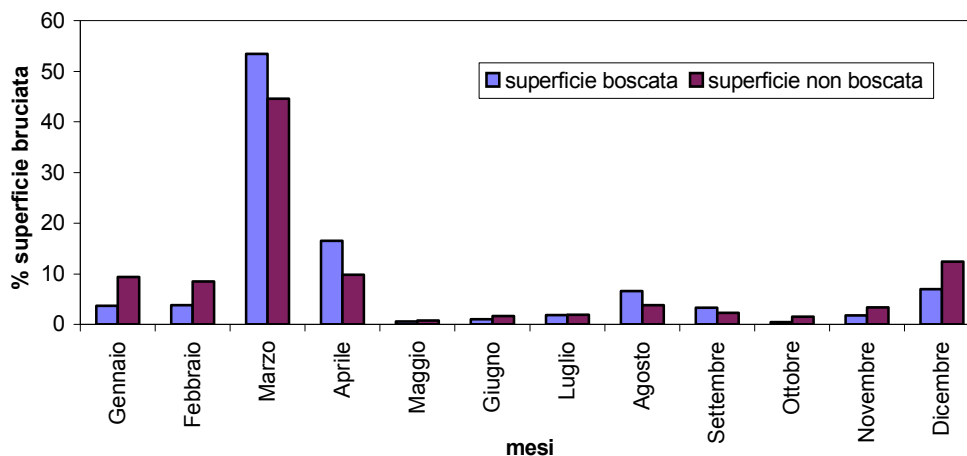


Figura 19 Percentuali di superficie boscata e non boscata percorsa dal fuoco in Valle d'Aosta dal 1986 al 2003

Anno	N° incendi e principi d'incendio con presenza di pino	Superficie (ha) percorsa dal fuoco	N° eventi con fuoco di chioma passivo	N° eventi con fuoco di chioma attivo e indipendente	Superficie (ha) totalmente distrutta dal fuoco di chioma
1986	8	1.3	1 (12.5%)	0 (0%)	0
1987	16	15.4	5 (31.2%)	1 (6.2%)	0
1988	16	10.5	5 (31.2%)	0 (0%)	0
1989	59	59.2	25 (42.3%)	4 (6.7%)	2.6
1990	59	622.0	35 (59.3%)	10 (16.9%)	125.9
1991	9	2.5	2 (22.2%)	0 (0%)	0
1992	12	10.9	5 (41.6%)	1 (8.3%)	0.3
1993	7	1.2	0 (0%)	0 (0%)	0
1994	19	14.3	9 (47.3%)	0 (0%)	0
1995	23	64.8	11 (47.8%)	4 (17.4%)	31.7
1996	10	3.9	1 (10.0%)	0 (0%)	0
1997	24	112.8	9 (37.5%)	3 (12.5%)	48.5
1998	11	2.7	3 (27.3%)	0 (0%)	0.5
1999	2	0.2	0 (0%)	0 (0%)	0
2000	13	4.6	4 (30.7%)	1 (7.7%)	0.5
2001	10	85.8	3 (30.0%)	1 (10.0%)	26.0
2002	6	10.5	3 (50.0%)	0 (0%)	0.2
2003	27	219.6	9 (33.3%)	3 (11.1%)	56.2
2004	7	29.4	3 (42.8%)	0 (0%)	0.5
2005	5	215.0	1 (20.0%)	1 (20.0%)	160.0
2006	12	48.0	3 (25.0%)	2 (16.6%)	12.5

Tabella 19 Incendi in Valle d'Aosta nel periodo 1986–2006: (1) numero di eventi (incendi e principi d'incendio) in cui il fuoco poteva evolvere in incendi di chioma data la presenza di specie del genere *Pinus*; (2) la superficie boscata a pino percorsa dagli eventi al punto 1; (3) numero di eventi con fuoco di chioma passivo e tra parentesi la percentuale rispetto gli eventi che potevano potenzialmente evolvere; (4) numero di eventi con fuoco di chioma attivo o indipendente e tra parentesi la percentuale rispetto gli eventi che potevano potenzialmente evolvere; (5) ha di superficie distrutta dal fuoco di chioma. Dati Nucleo Antincendi Boschivi Valle d'Aosta (Cesti 2004)

In particolare questo studio si prefigge di:

- 1) studiare l'andamento stagionale e interannuale del contenuto idrico nelle foglie di due specie del genere *Pinus* e di alcune specie arbustive e di sottobosco della regione Valle d'Aosta;
- 2) determinare la possibilità di predire in maniera attendibile e speditiva il contenuto idrico dei combustibili vivi utilizzando alcuni parametri meteorologici e gli indici che si calcolano nel sistema canadese per la determinazione del pericolo d'incendio.

3.2. MATERIALI E METODI

3.2.1. SITI, SPECIE STUDIATE E MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO

Il clima della regione Valle d'Aosta viene ben rappresentato dalla stazione di Aosta Aeroporto (figura 20) e può essere definito del tipo arido con inverni freddi (Walter e Lieth 1967). I quattro siti scelti per il campionamento (Morgex, Quart, St. Christophe e St. Denis) sono distribuiti nel territorio valdostano in modo da rappresentare sia le condizioni di alta che di medio-bassa valle (figura 21). I dati inerenti l'esposizione, il soprassuolo e la natura del terreno delle quattro stazioni (tabella 20) sono quelli riportati nel Piano organico per la prevenzione e lo spegnimento degli incendi boschivi della Regione Valle d'Aosta (L.R. 3 dicembre 1982, n. 85), mentre i dati meteorologici mediati sono stati desunti dal materiale fornito dal Nucleo AIB per il calcolo dell'indice. Per la zona di Quart sono usati gli stessi dati della stazione meteorologica di Saint Christophe.

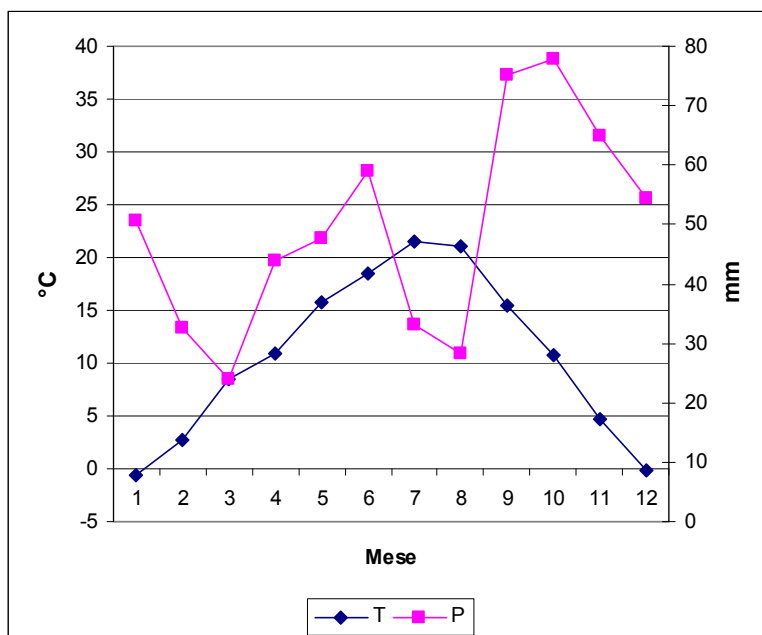


Figura 20 Diagramma climatico relativo alla stazione di Aosta Aeroporto (1990 - 1999), indicativo di un clima arido con inverni freddi

Sito di campionamento	ID Nome	MOR Morgex	QUA Quart	STC St. Christophe	STD St. Denis
Quota (m s.l.m.)		1100	900	1150	950
Esposizione		S - W	S - W	S	S
Pendenza (gradi)		30-40		10-20 30-40	10-20
Vegetazione	Altofusto	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Picea abies</i> , (<i>Larix decidua</i>)	<i>Pinus nigra</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> , (<i>P. sylvestris</i>)	<i>Pinus</i> spp., <i>Robinia pseudoacacia</i> , (<i>Larix decidua</i>)	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Quercus pubescens</i> , (<i>Larix decidua</i>)
	Sottobosco	<i>Juniperus</i> spp., (<i>Rosa canina</i> , <i>Rhododendron</i> spp.)	<i>Juniperus communis</i>	<i>Juniperus communis</i> , <i>Ligustrum</i> spp.	<i>Arctostaphylos uva ursi</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Ligustrum</i> spp.
Litologia		Scisti-carbonifero	Gneis	Gneis	Ofioliti mesozoiche (serpentiniti)
Suolo		Superficiale, secco, roccioso, abbastanza stabile	Variabile (da profondo e soffice a superficiale e secco)	Secco e parzialmente instabile	Più profondo e umido degli altri siti, stabile - abbastanza stabile
Stazione meteorologica di riferimento		Morgex	St. Christophe	St. Christophe	St. Denis
Distanza (km)		1	3	3	0.5
Precipitazione totale annua (mm)		758.21	591.8	591.8	587.26
Media annuale delle temperature massime (°C)		24.08	22.9	22.9	24.05
Velocità massima del vento (km h ⁻¹)		31	44	44	52
Umidità relativa minima dell'aria (%)		8	7	7	7

Tabella 20 Caratteristiche stazionali dei quattro siti di campionamento; stazioni meteorologiche di riferimento e distanza dai siti; parametri meteorologici medi indicativi del microclima, calcolati per il periodo 1990 - 1999, ad eccezione della velocità massima del vento e dell'umidità relativa, relative al periodo di campionamento (ottobre 1999 - maggio 2003)

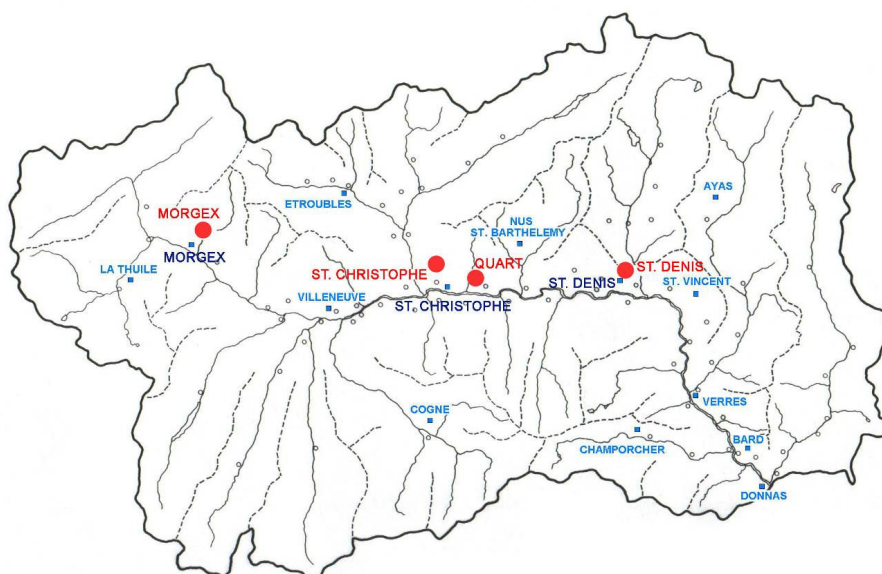


Figura 21 Collocazione nel territorio della Valle d'Aosta delle aree di campionamento (evidenziate in rosso) e delle stazioni meteo (evidenziate in blu scuro)

Nel periodo che va dal 14 ottobre 1999 al 31 maggio 2003, il nucleo AIB della Direzione Foreste CFVDA si è incaricato di misurare con cadenza quindicinale il contenuto idrico fogliare di alcune specie, sia arboree sia arbustive, presenti in formazioni costituite prevalentemente da pinete di pino silvestre. I rilievi sono stati effettuati preferibilmente al mattino (fra le ore 9 e le ore 11). Gli aghi di *Pinus sylvestris* L. e *Pinus nigra* Arnold sono stati prelevati su 5 – 10 individui precedentemente contrassegnati in ogni sito di campionamento e in condizioni il più possibile comparabili. Le specie arbustive considerate sono state *Juniperus communis* L., *Juniperus sabina* L., *Arctostaphylos uva ursi* L., *Thymus vulgaris* L. I campioni sono stati trattati secondo la seguente procedura: 1) prelievo dei rametti e immediata chiusura degli stessi in appositi contenitori ermetici; il prelievo è stato effettuato sempre sulle stesse piante in determinate parti della chioma (esposizione a sud per gli aghi di sole ed esposizione a nord per gli aghi d'ombra, a loro volta suddivisi in aghi dei getti dell'anno e aghi della stagione vegetativa precedente). L'altezza di campionamento è stata fissata a 2.5 m da terra per le piante arboree e tra 0 e 1.5 m da terra per le piante a portamento arbustivo e specie di sottobosco (figura 22); 2) nel caso del pino nero e silvestre le foglie (aghi) sono state staccate dal ramo, mentre per quanto riguarda gli arbusti di ginepro, timo e uva orsina si è tenuto il rametto intero; 3) per ciascuna stazione e per ciascuna tipologia di aghi o foglie, prima delle operazioni di pesatura e disidratazione, i campioni delle singole piante sono stati uniti insieme formando un unico campione rappresentativo della stazione per il giorno di campionamento, annullando così eventuali differenze tra i singoli soggetti, come per esempio una maggiore esposizione di una pianta rispetto ad un'altra; allo stesso modo sono stati trattati i campioni delle specie arbustive e di sottobosco; 4) pesata del campione fresco (*P.F.*) in laboratorio; 5) collocazione del materiale in appositi cristallizzatori e disidratazione in stufa a ventilazione forzata, alla temperatura di 105°C per 24 ore ottenendo così il peso secco (*P.S.*); 6) calcolo della percentuale di contenuto idrico appartenente ai campioni tramite la formula:

$$C.I. = 100 \cdot ((P.F. - P.S.) / P.S.) \quad [15]$$

dove:

C.I. = contenuto idrico dei combustibili vivi espresso in % rispetto al peso secco;

P.F. = peso fresco del campione pesato subito dopo la raccolta (kg);

P.S. = peso secco del campione dopo essere stato essiccato in stufa (kg).

Per quanto riguarda le specie di sottobosco è doveroso precisare che in alcuni casi, nei periodi invernali, vi era presenza di umidità sulle parti da campionare: tale fatto potrebbe aver influito sul peso fresco e quindi sul valore del contenuto idrico.

L'ora di campionamento (ore 10) rappresenta, di norma, il momento di massima disidratazione durante la stagione vegetativa nelle conifere alpine (Anfodillo *et al.*, 1998) e quindi la condizione

di massimo pericolo, mentre durante il periodo di stasi vegetativa le variazioni di contenuto idrico sono così modeste nell'arco della giornata che l'ora di campionamento risulta relativamente ininfluente.

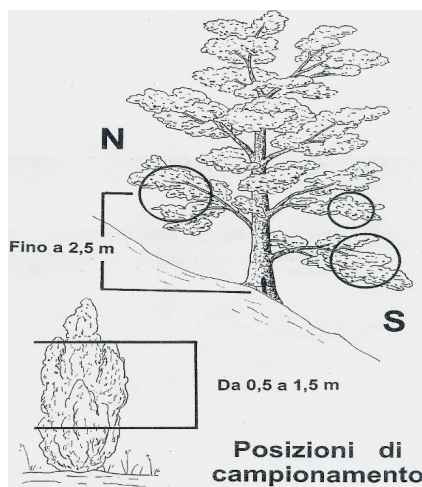


Figura 22 Schema rappresentante le parti campionate nelle piante oggetto di studio nelle quattro aree di campionamento. Fonte: Cesti (2003)

3.2.2. INDICI METEOROLOGICI PER LA PREVISIONE DELL'UMIDITÀ DEI COMBUSTIBILI VIVI

Gli indici meteorologici considerati nell'analisi sono i codici del *CFFWIS* e il Deficit di Pressione di Vapore (*VPD*), partendo dall'ipotesi che essi siano dei potenziali predittori dell'umidità nei combustibili aerei fini. Per il calcolo degli indici sono stati utilizzati i dati provenienti dalle stazioni di riferimento citate in precedenza.

I codici del CFFWIS. Per convenzione il Nucleo AIB valdostano azzerava tutti gli indici del *CFFWIS* nel momento in cui si registra la presenza di neve al suolo. I parametri per la ripresa del calcolo sono comunque subordinati al quantitativo di neve (convertita in acqua) caduta durante la precipitazione. Tale operazione non è frequente in Canada, dove il maggior numero di incendi si verificano nel periodo estivo e si procede ad una sospensione del calcolo durante il resto dell'anno, a differenza della Valle d'Aosta in cui gli incendi si sviluppano principalmente nel periodo invernale. Il fatto di azzerare il valore degli indici in presenza di neve è giustificato dal fatto che, in termini operativi e pratici, in tali condizioni è molto difficile che ci siano le condizioni per un possibile innesco di incendio radente. Tuttavia le precipitazioni nevose non sono da ritenere sempre sufficienti ad annullare la disidratazione cumulata caratteristica dei materiali più grossolani e stimata dal *DC*. L'azzeramento di questo indice rappresenta pertanto una perdita dell'informazione legata alla siccità cumulata. Secondo Alexander *et al.* (2002), le precipitazioni nevose (misurate in centimetri), se non perdurano per un lasso temporale che giustifichi la sospensione del calcolo (53

giorni), vanno convertite in millimetri di pioggia. La procedura valdosatana è stata applicata al calcolo dell'indice, affiancata dal metodo proposto da Alexander *et al.* (2002), con la produzione di due dataset (*Neve0* e *Neve1*).

Il Deficit di Pressione di Vapore o VPD. Oltre agli indici di pericolo d'incendio si è considerato anche il *VPD*, dato che tale indicatore è una delle variabili guida della traspirazione, influenzando sui processi di disidratazione delle foglie (Chapin *et al.* 2002, Cunningham 2004). *VPD* viene calcolato tramite la formula:

$$VPD = 6.1078 * e^{\frac{17.269 * T}{T + 237.3}} * \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \quad [16]$$

dove:

T = temperatura dell'aria (°C)

RH = umidità relativa dell'aria (%).

3.2.3. METODOLOGIA DI INDAGINE PER LA DEFINIZIONE DEI MODELLI PREDITTIVI

Analisi dell'andamento dei contenuti idrici nei combustibili vivi fini. I quattro siti di campionamento sono localizzati in stazioni con caratteristiche ambientali diverse per quanto riguarda il tipo di suolo, la pendenza, l'andamento delle meteore e la copertura delle specie presenti (tabella 20). Si è ritenuto opportuno, quindi, condurre un'analisi preliminare per verificare l'esistenza o meno di differenze tra le medie dei contenuti idrici delle specie, a seconda del sito di campionamento. È stato utilizzando il metodo ANOVA ad un fattore di classificazione (*one-way*) e il test F di Fisher-Snedecor, con un livello di significatività pr pari a 0.05. In presenza di distribuzione non normale dei dati si è scelto invece il metodo delle mediane e il test del χ^2 . Per tutte le specie è stata verificata l'omogeneità della varianza. Al metodo ANOVA è stato affiancato il test di *Student-Newman-Keuls* per stimare il grado di distanza tra i gruppi, in questo caso tra siti di campionamento, qualora esistesse una differenza tra le medie.

Dopo aver verificato se e quanto il contenuto idrico delle piante fosse influenzato da fattori stagionali (variazione spaziale), è stato analizzato l'andamento stagionale e interannuale (variazione temporale). Indagare quale sia la risposta delle piante alla disidratazione permette infatti di capire in che misura le variazioni fisiologiche del contenuto idrico fogliare siano determinate da quelle dei parametri meteorologici e quando siano dovute alla fenologia della specie. L'andamento del contenuto idrico è stato analizzato con e senza la stagione vegetativa, producendo alcune statistiche di base (valore medio, valore massimo, valore minimo, range di variazione, deviazione standard)

per sito di campionamento e per specie. Per il pino le statistiche sono state suddivise per tipo di aghi raccolti (aghi dell'annata o dell'annata precedente; aghi esposti a sud o a nord).

Analisi della variazione di contenuto idrico nelle piante rispetto alla variazione degli indici meteorologici. Dopo aver isolato il “rumore” determinato dall'idratazione dei tessuti in concomitanza con la stagione vegetativa, sono stati calcolati i coefficienti di correlazione r tra ognuna delle variabili che descrivono i contenuti idrici ($solA$, $solV$, $ombrA$, $ombrV$, $JuCo$, $JuSa$, $UvaU$, $TymV$) e ognuna delle componenti dell'indice canadese ($FFMC$, DMC , DC , ISI , BUI , FWI , *classe di pericolo*, DSR), a cui è stato aggiunto VPD . L'analisi è stata applicata ad ogni sito di campionamento preso singolarmente e a tre orizzonti temporali: 1) orizzonte $ANNO$, da gennaio a dicembre; 2) orizzonte $NO_STAGVEG$, periodo tardo estivo ed invernale (da metà settembre a fine aprile), che esclude la ripresa vegetativa; 3) orizzonte $STAG_INC$, da dicembre ad aprile, o periodo di caduta dell'umidità dei combustibili vivi fini. I risultati ottenuti azzerando i valori degli indici in presenza di neve al suolo (dataset $Neve0$) sono stati confrontati con quelli ottenuti trasformando le precipitazioni nevose in acqua (dataset $Neve1$). Si noti che i valori degli indici correlati con St. Christophe sono gli stessi utilizzati per Quart, poiché la stazione meteorologica di riferimento è la stessa. A differenza delle variabili che descrivono il contenuto idrico, che sono variabili quantitative continue, le componenti dell'indice sono, per definizione, delle variabili semi-quantitative. In particolare, il grado di pericolo d'incendio associato all'indice finale FWI varia a seconda del mese. Di conseguenza, allo stesso valore di FWI possono corrispondere, in mesi diversi, diversi gradi di pericolo. Tenendo conto di questo, è stata applicata la correlazione di *Spearman* che utilizza un coefficiente di correlazione per ranghi (τ) e una classificazione a due livelli. Le correlazioni sono state calcolate eliminando gli *outlayers* e suddivise in tre gruppi: 1) correlazioni non significative ($pr \geq 0.05$); 2) correlazioni significative con $r < |0.70|$; 3) correlazioni significative con $r > |0.70|$. Per ogni correlazione dell'orizzonte $STAG_INC$ è stata calcolata l'equazione di regressione lineare, secondo il modello:

$$y = b - ax \quad [16]$$

dove:

y = variabile dipendente (contenuto idrico fogliare);

x = variabile indipendente o predittrice (indice dell' FWI System o VPD).

I coefficienti di correlazione r hanno messo in luce quali tra i modelli a disposizione si potessero considerare predittivi del contenuto idrico ($r > |0.70|$). Infine, sono state messe a confronto le curve dei contenuti idrici predetti e quelle dei contenuti idrici reali e sono stati selezionati i modelli migliori.

3.3. RISULTATI

Analisi dell'andamento dei contenuti idrici nei combustibili vivi fini. I test di confronto tra le medie dimostrano che i contenuti idrici medi delle foglie di *Juniperus communis* e degli aghi di pino variano a seconda del sito di campionamento in più del 95% dei casi (tabella 21). I contenuti idrici delle specie campionate a Morgex (sito n. 1) presentano medie notevolmente diverse rispetto alle altre stazioni (tabella 22). Morgex è anche l'unico sito di alta valle considerato nello studio. Viene quindi confermata l'ipotesi che a condizioni ambientali diverse corrispondano diversi livelli di approvvigionamento idrico da parte delle piante. Questo potrebbe supporre anche un diverso tempo di risposta rispetto alla variazione delle condizioni meteorologiche: una pianta che è meno esposta alla disidratazione provocata dal vento o che cresce su un suolo pianeggiante e ben strutturato (ad esempio nella stazione di Saint Denis) potrebbe risentire in forma minore di una siccità cumulata di 20 giorni, rispetto ad una pianta che ha radicato su un suolo acclive e scheletrico, in grado di trattenere un quantitativo inferiore di acque meteoriche (ad esempio Saint Christophe).

Specie	Sito				Test confronto medie	Significatività
	1	2	3	4		
<i>Pinus</i> spp. (<i>solA</i>)					Test delle mediane	***
<i>Pinus</i> spp. (<i>ombrA</i>)						***
<i>Pinus</i> spp. (<i>solV</i>)					ANOVA <i>one-way</i>	***
<i>Pinus</i> spp. (<i>ombrV</i>)						***
<i>Juniperus communis</i> (<i>log_JuCo</i>)						***

Tabella 21 Risultati del test di confronto tra le medie dei contenuti idrici di *Pinus* spp. e *Juniperus communis* nei quattro siti di campionamento (1 = Morgex, 2 = Quart, 3 = St. Christophe, 4 = St. Denis). *** = $pr < 0.001$, ovvero un'alta significatività dei test e un'alta probabilità che le medie differiscano tra loro

<i>Pinus</i> spp. (<i>solV</i>)				<i>Pinus</i> spp. (<i>ombrV</i>)				<i>Juniperus communis</i> (<i>log_JuCo</i>)			
Gruppi	Media (%)	N	Sito	Gruppi	Media (%)	N	Sito	Gruppi	Media (%)	N	Sito
A	110.51	85	4	A	112.25	85	4	A	4.7137	85	2
A				A				A			
B	107.86	85	2	B	110.79	85	2	A	4.6668	86	3
B				B							
B	105.28	86	3	B	108.28	86	3				
C	100.6	85	1	C	105.16	85	1	B	4.538	85	1

Tabella 22 Test di *Student-Newman-Keuls* associato al metodo ANOVA per i contenuti idrici delle foglie di *Juniperus communis* e degli aghi di pino dell'annata precedente il campionamento (*ombrV* e *solV*), applicato ai 4 siti di campionamento (1 = Morgex, 2 = Quart, 3 = St. Christophe, 4 = St. Denis). Le medie con la stessa lettera (Grouping) non sono significativamente differenti.

Lo studio dell'andamento stagionale e interannuale indica che la stagione vegetativa delle piante si colloca tra gli inizi di maggio e la metà di settembre. L'intervallo di valori del contenuto idrico fogliare del pino è diverso a seconda che si considerino gli aghi dell'annata o gli aghi dell'annata precedente. Salvo il picco dovuto all'emissione dei nuovi getti in primavera, il contenuto idrico *CI* ha un andamento caratteristico in aderenza alla variazione di disponibilità idrica (tabelle 23, 24 e 25). I valori minimi di *CI* si registrano alla fine di aprile negli aghi dell'annata precedente esposti a sud (valore minimo pari 80.9% a St. Christophe) mentre il valore massimo è stato registrato nel mese di giugno negli aghi dell'annata (346.3%). Le variazioni maggiori di *CI* riguardano gli aghi dell'annata nella stazione di St. Christophe, con una differenza dell'umidità fogliare superiore al 250%, nettamente superiore rispetto agli aghi dell'annata precedente con range di variazione inferiore al 50%. Tra le specie arbustive, le maggiori variazioni riguardano il *CI* del timo (oltre il 180%), mentre l'andamento del *CI* negli altri arbusti è più o meno conservativo, meno marcatamente in *Juniperus communis*. In *Juniperus sabina* il range di variazione non supera il 33%, con valori che vanno da un massimo di 109.2% a un minimo di 76.2%. In media, il *CI* più basso si registra nella foglie di *Thymus vulgaris* (46.5% a metà gennaio), come anche il valore massimo (228% nel mese di maggio, in seguito ad una precipitazione cumulata nei 10 giorni precedenti di circa 30 mm). Volendo classificare in ordine decrescente gli arbusti per *CI* fogliare medio, l'ordine sarebbe il seguente:

1. *Thymus vulgaris* (112.7%)
2. *Juniperus communis* (112%)
3. *Arctostaphylos uva ursi* (110.9%)
4. *Juniperus sabina* (90.1%).

Variabili (contenuti idrici)		Sito di campionamento								Media		
		Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis				
Aghi si pino	<i>solA</i>	134.80	85	138.87	75	141.90	86	146.72	75	140.89	321	
		88.20-134.8	40.08	100.00-242.70	31.61	93.00-346.30	48.27	93.60-282.00	40.95	88.20-346.30	41.67	
	<i>solV</i>	100.60	85	107.86	75	105.2	86	110.55	75	105.86	321	
		82.00-118.20	8.74	89.10-130.60	9.08	80.90-131.00	10.77	83.40-135.20	11.80	80.90-131.00	10.68	
	<i>ombrA</i>	140.35	85	142.33	75	144.55	86	148.69	75	144.43	321	
		97.10-290.00	35.62	104.90-273.70	32.99	85.40-325.00	43.87	95.60-265.20	38.18	85.40-325.00	38.77	
	<i>ombrV</i>	105.16	85	111.00	75	108.28	86	111.97	75	108.97	321	
		85.70-119.60	8.94	90.40-127.40	8.51	81.90-129.20	10.66	84.70-130.70	11.74	81.90-130.70	10.29	
	Piccoli rami di arbusti	<i>JuCo</i>	94.77	85	112.08	75	107.93	86			105.14	321
			76.70-158.30	16.57	79.00-179.60	23.53	69.00-172.30	19.36			93.60-179.60	21.65
		<i>JuSa</i>	90.11	85								
			76.20-109.20	7.09								
<i>UvaU</i>								110.93	75			
								77.70-178.60	18.42			
<i>ThyV</i>								112.73	75			
								46.50-228.00	36.80			

Tabella 23 Statistiche relative ai contenuti idrici dei combustibili fini vivi: media (in alto a sinistra), valore minimo e massimo (in basso a sinistra), deviazione standard (in basso a destra) e numerosità del campione (in alto a destra). Ogni statistica è stata calcolata per sito di campionamento e per specie. Un'ulteriore distinzione riguarda gli aghi di pino. *solA* = aghi dell'annata esposti a Sud; *solV* = aghi dell'annata precedente esposti a Sud; *ombrA* = aghi dell'annata esposti a Nord; *ombrV* = aghi dell'annata precedente esposti a Nord; *JuCo* = *Juniperus communis*; *JuSa* = *Juniperus Sabina*; *UvaU* = *Arctostaphylos uva ursi*; *ThyV* = *Thymus vulgaris*

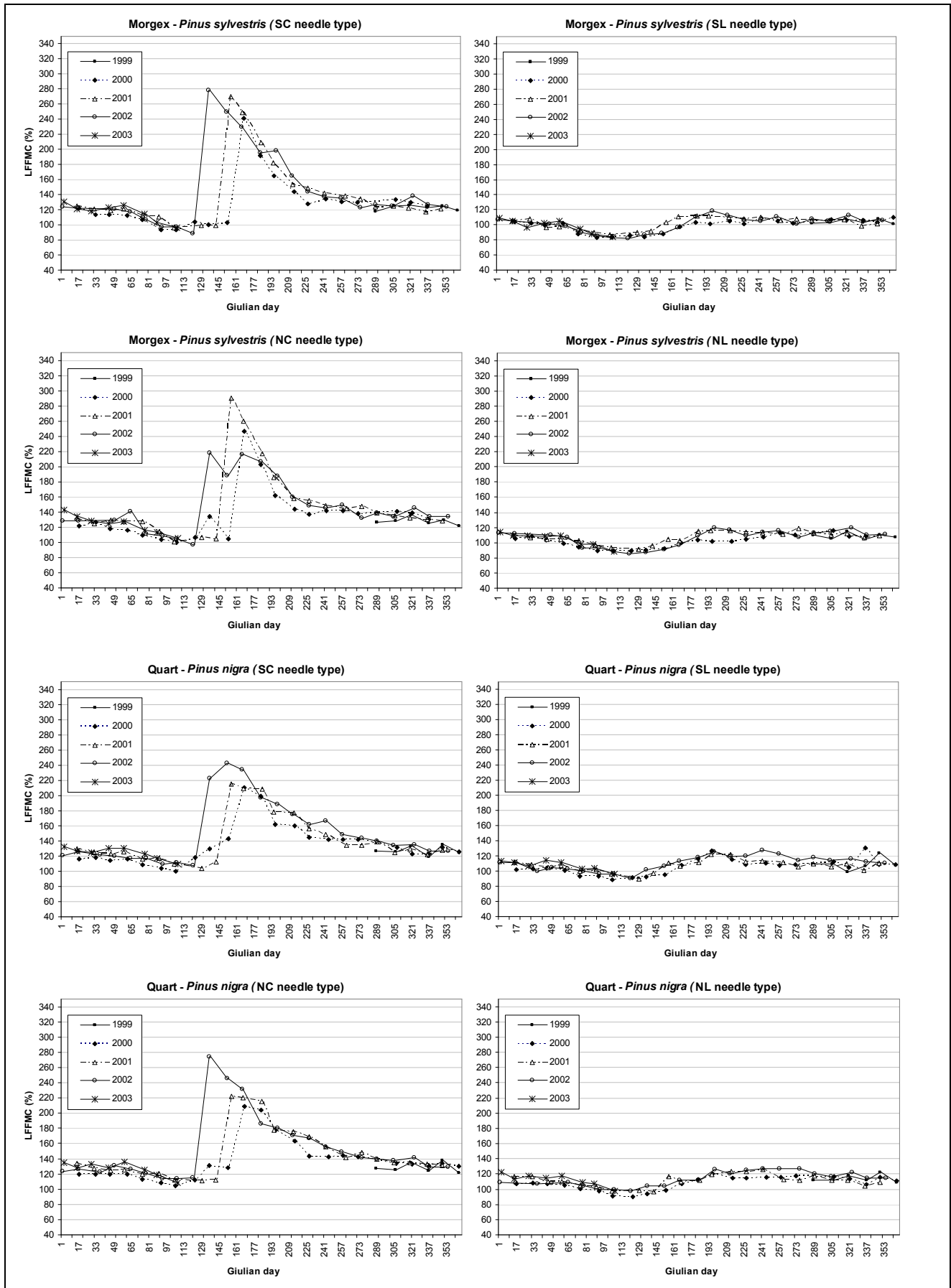


Figura 23 Variazione annuale dei contenuti idrici di pino a Morgex e Quart (ottobre 1999 - maggio 2003). SC = needles produced during current year growing season and south oriented; SL = aghi dell'annata precedente esposti a Sud; NC = aghi dell'annata esposti a Nord; NL = aghi dell'annata precedente esposti a Nord.

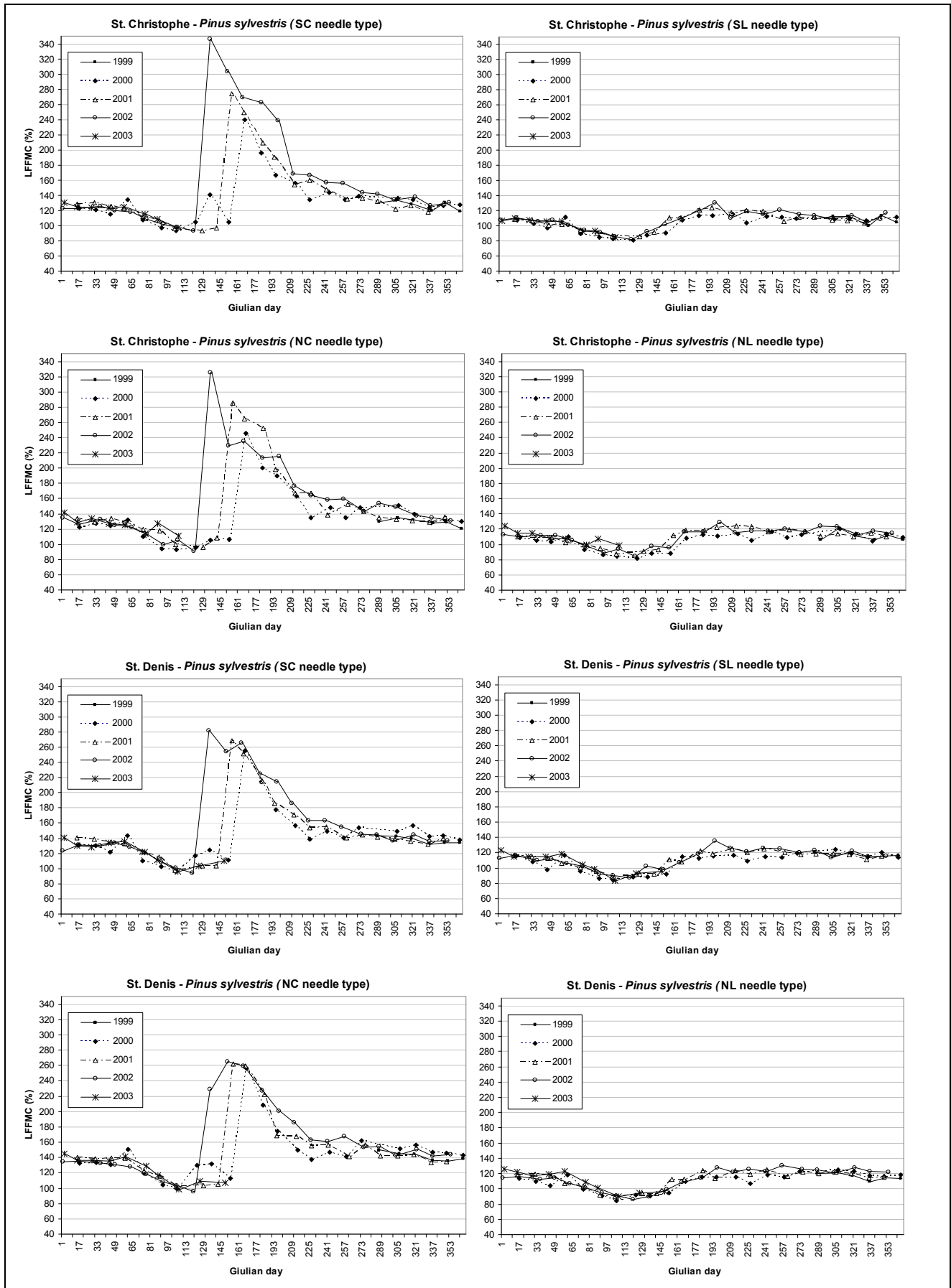


Figura 24 Variazione annuale dei contenuti idrici di pino a St. Christophe and St. Denis (ottobre 1999 - maggio 2003). *SC* = needles produced during current year growing season and south oriented; *SL* = aghi dell'annata precedente esposti a Sud; *NC* = aghi dell'annata esposti a Nord; *NL* = aghi dell'annata precedente esposti a Nord.

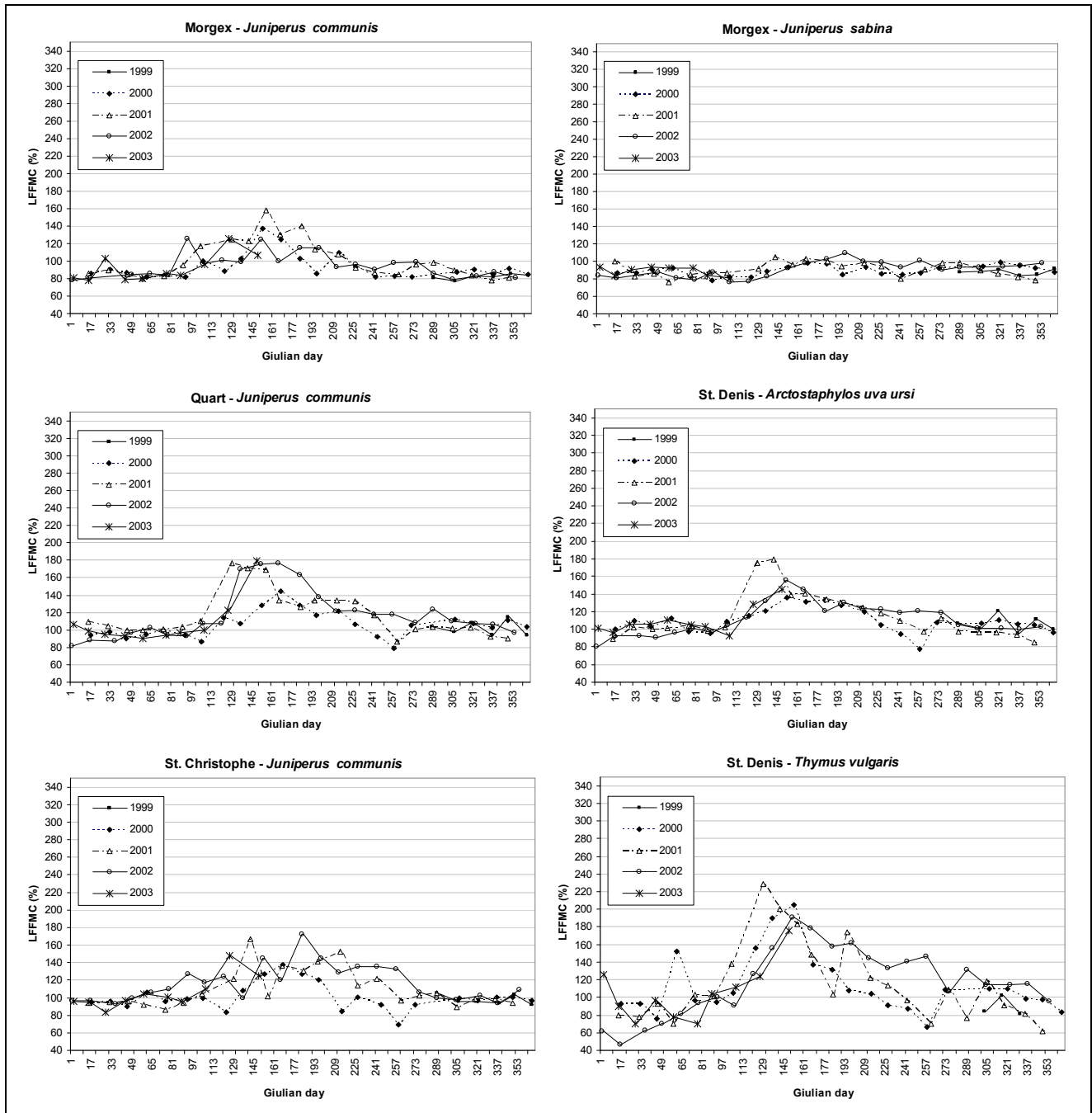


Figura 25. Variazione annuale dei contenuti idrici degli arbusti (ottobre 1999 - maggio 2003). *Juniperus communis* a Morgex, Quart and St. Christophe; *Juniperus Sabina* a Morgex; *Arctostaphylos uva ursi* e *Thymus vulgaris* a St. Denis.

Analisi della variazione di contenuto idrico nelle piante rispetto alla variazione degli indici meteorologici. La variazione del contenuto idrico durante l'anno (allegato 2, ANNO) risente dell'intensa idratazione delle foglie durante la ripresa vegetativa, che spiega le correlazioni positive. Il contenuto idrico, infatti, aumenta anche quando le condizioni meteorologiche indicano una crescente severità. Quando la correlazione è negativa, il coefficiente di correlazione r non risulta comunque elevato. Eliminando il periodo vegetativo dall'analisi (allegato 2, NO_STAGVEG) il contenuto idrico del pino risulta correlato negativamente con tutti gli indici, mentre i contenuti idrici fogliari degli arbusti denotano un andamento contrastante. In particolare, il *CI* di *Juniperus communis* si correla positivamente con gli indici, mostrando una risposta anomala all'aumento dello stress idrico, cioè un aumento dell'umidità dei tessuti fogliari. I coefficienti di correlazione positivi raggiungono valori di 0.44 (con *VPD*). Gli altri contenuti idrici non si correlano con nessun indice, ad eccezione del *CI* di *Arctostaphylos uva ursi* con *DC* (indicatore dello stato idrico dei combustibili pesanti e della siccità stagionale) e con *BUI* (indicatore dell'intensità di propagazione negli stadi avanzati). In questi due casi, i coefficienti di correlazione negativi non superano valori assoluti pari a 0.30. Il contenuto idrico di *Thymus vulgaris* non mostra correlazioni significative con gli indici. Le correlazioni più alte si riscontrano tra il contenuto idrico degli aghi di pino e il *VPD* (-0.54) a Quart, *l'FWI* (-0.54) a St. Christophe, *l'FFMC* (-0.55) a St. Christophe, il *DMC* (-0.53) a St. Denis, *l'ISI* (-0.66) a St. Christophe e il *DSR* (-0.56) a St. Christophe. Risulta pertanto difficile generalizzare i risultati prescindendo dalle singole stazioni. La differenza delle condizioni stazionali sembrerebbe influire anche sulla risposta delle piante allo stress. Le piante campionate a Morgex, l'unica stazione situata in alta valle, hanno i contenuti idrici in assoluto meno correlati con gli indici, mentre la frequenza più alta di correlazioni superiori a $|0.50|$ si verifica a St. Christophe, probabilmente per ragioni legate al tipo di terreno (dissestato e con massi affioranti) che potrebbe aver accentuato le condizioni di xericità, penalizzando il rifornimento idrico delle piante.

I risultati più significativi si ottengono correlando l'umidità fogliare e gli indici nel periodo che va da dicembre ad aprile, durante la fase di massima disidratazione che precede la ripresa vegetativa. Escludendo la stazione di Morgex, i contenuti idrici degli aghi di pino sono ben correlati con tutti gli indici, eccezion fatta per *FFMC* e *DC* (tabella 25).

Il contenuto idrico fogliare di *Juniperus communis*, da dicembre ad aprile, si correla debolmente con *DC* e *BUI* a Quart. La correlazione positiva ($r = 0.46$) con *VPD* a Morgex risulta quantomeno contraddittoria. Nel caso di *Juniperus sabina*, campionato solo a Morgex, il contenuto idrico si correla significativamente con *FWI*, *DMC*, *DC*, *BUI* e *DSR*, superando $r = |0.50|$ solo con *DC*. Gli altri contenuti idrici (*Thymus vulgaris* e *Arctostaphylos uva ursi*) non si correlano significativamente con gli indici, ad eccezione di *DC*.

VPD									
Specie	Variabile	Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis	
		N = 39		N = 40		N = 40		N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.45	**	-0.69	***	-0.78	***	-0.64	***
	<i>OmbrA</i>	-0.46	**	-0.70	***	-0.73	***	-0.59	***
	<i>SolV</i>	-0.52	***	-0.79	***	-0.88	***	-0.66	***
	<i>OmbrV</i>	-0.54	***	-0.73	***	-0.84	***	-0.65	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.46	**		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

GRADO FWI									
Specie	Variabile	Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis	
		N = 39		N = 40		N = 40		N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.44	**	-0.57	***	-0.75	***	-0.60	***
	<i>OmbrA</i>	-0.54	***	-0.73	***	-0.56	***	-0.53	***
	<i>SolV</i>	-0.55	***	-0.67	***	-0.78	***	-0.63	***
	<i>OmbrV</i>	-0.57	***	-0.68	***	-0.78	***	-0.62	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.38	*						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

FWI									
Specie	Variabile	Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis	
		N = 39		N = 40		N = 40		N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.42	**	-0.65	***	-0.80	***	-0.70	***
	<i>OmbrA</i>	-0.56	***	-0.70	***	-0.65	***	-0.65	***
	<i>SolV</i>	-0.55	***	-0.71	***	-0.81	***	-0.73	***
	<i>OmbrV</i>	-0.58	***	-0.63	***	-0.72	***	-0.74	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.44	**						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tabella 24 Coefficienti di correlazione r (periodo dicembre – aprile) tra contenuti idrici fogliari e *VPD*, *GRADO FWI* e *FWI*. N = numerosità campione; *SolA* = aghi annata a sud; *OmbrA* = aghi annata a nord; *SolV* = aghi annata precedente a sud; *OmbrV* = aghi annata a precedente a nord; *JuCo* = foglie *Juniperus communis*; *JuSa* = foglie *Juniperus sabina*; *UvaU* = foglie *Arctostaphylos uva ursi*; *TymV* = aghi *Tymus vulgaris*; *** = $p < 0.001$, ** = $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. = $p > 0.05$; in giallo $r > |0.70|$; in grigio le correlazioni non significative

FFMC

Specie	Variabile	Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis	
		N = 39		N = 40		N = 40		N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	-0.62	***	-0.68	***	-0.55	***
	<i>OmbrA</i>	-0.41	*	-0.71	***	-0.54	***	-0.46	**
	<i>SolV</i>	-0.35	*	-0.64	***	-0.72	***	-0.56	***
	<i>OmbrV</i>	-0.39	*	-0.54	***	-0.66	***	-0.50	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

DMC

Specie	Variabile	Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis	
		N = 39		N = 40		N = 40		N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.67	***	-0.62	***	-0.75	***	-0.76	***
	<i>OmbrA</i>	-0.76	***	-0.72	***	-0.63	***	-0.74	***
	<i>SolV</i>	-0.68	***	-0.64	***	-0.74	***	-0.74	***
	<i>OmbrV</i>	-0.74	***	-0.72	***	-0.64	***	-0.76	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.58	***						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

DC

Specie	Variabile	Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis	
		N = 39		N = 40		N = 40		N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	-0.34	*		n.s.	-0.42	**
	<i>OmbrA</i>		n.s.				n.s.	-0.60	***
	<i>SolV</i>	-0.38	*				n.s.	-0.43	**
	<i>OmbrV</i>		n.s.	-0.41	**		n.s.	-0.60	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.	-0.39	*		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.71	**						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							-0.41	*
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							-0.33	*

Tabella 25 continua. Coefficienti di correlazione r (periodo dicembre – aprile) tra contenuti idrici fogliari e FFMC, DMC e DC. N = numerosità campione; *SolA* = aghi annata a sud; *OmbrA* = aghi annata a nord; *SolV* = aghi annata precedente a sud; *OmbrV* = aghi annata a precedente a nord; *JuCo* = foglie *Juniperus communis*; *JuSa* = foglie *Juniperus sabina*; *UvaU* = foglie *Arctostaphylos uva ursi*; *TymV* = aghi *Tymus vulgaris*; *** = $p < 0.001$, ** = $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. = $p > 0.05$; in giallo $r > |0.70|$; in grigio le correlazioni non significative

ISI

Specie	Variabile	Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis	
		N = 39		N = 40		N = 40		N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.33	*	-0.58	***	-0.77	***	-0.64	***
	<i>OmbrA</i>	-0.44	**	-0.69	***	-0.57	***	-0.51	**
	<i>SolV</i>	-0.49	**	-0.65	***	-0.79	***	-0.55	***
	<i>OmbrV</i>	-0.51	**	-0.66	***	-0.74	***	-0.63	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		n.s.		n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	n.s.							
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

BUI

Specie	Variabile	Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis	
		N = 39		N = 40		N = 40		N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.65	***	-0.68	***	-0.73	***	-0.77	***
	<i>OmbrA</i>	-0.70	***	-0.70	***	-0.58	***	-0.77	***
	<i>SolV</i>	-0.64	***	-0.68	***	-0.70	***	-0.79	***
	<i>OmbrV</i>	-0.68	***	-0.69	***	-0.54	***	-0.78	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		-0.44	**	n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.63	***						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

DSR

Specie	Variabile	Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis	
		N = 39		N = 40		N = 40		N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.38	*	-0.66	***	-0.78	***	-0.68	***
	<i>OmbrA</i>	-0.50	**	-0.68	***	-0.58	***	-0.64	***
	<i>SolV</i>	-0.51	**	-0.73	***	-0.79	***	-0.70	***
	<i>OmbrV</i>	-0.47	**	-0.64	***	-0.73	***	-0.72	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		n.s.		n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.39	*						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tabella 26 continua. Coefficienti di correlazione r (periodo dicembre – aprile) tra contenuti idrici fogliari e *ISI*, *BUI* e *DSR*. N = numerosità campione; *SolA* = aghi annata a sud; *OmbrA* = aghi annata a nord; *SolV* = aghi annata precedente a sud; *OmbrV* = aghi annata a precedente a nord; *JuCo* = foglie *Juniperus communis*; *JuSa* = foglie *Juniperus sabina*; *UvaU* = foglie *Arctostaphylos uva ursi*; *TymV* = aghi *Tymus vulgaris*; *** = $p < 0.001$, ** = $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. = $p > 0.05$; in giallo $r > |0.70|$; in grigio le correlazioni non significative.

I risultati ottenuti ponendo i valori degli indici pari a 0 in presenza di neve al suolo (dataset *Neve0*) oppure considerando la neve caduta come acqua piovana (dataset *Neve1*), non sono significativamente diversi (allegato 2).

I modelli di regressione sono stati calcolati utilizzando il dataset in cui la neve al suolo è stata convertita in pioggia (*Neve1*) e utilizzando il coefficiente di correlazione e la significatività per valutare quanto fossero predittivi. Quando la variabile predetta è il *CI* degli aghi di pino, tutti i modelli sono significativi o altamente significativi ($p < 0.001$), tranne quando il *CI* viene correlato con *DC* (nessun modello è significativo) e con *FFMC* (i modelli calcolati per Morgex non sono altamente significativi). I modelli di regressione del *CI* negli arbusti sono non significativi o comunque non sufficientemente predittivi. Nella tabella 27 sono stati selezionati i modelli di regressione lineare che si possono definire predittivi dei corrispondenti contenuti idrici fogliari, cioè i modelli che derivano da correlazioni con $r > |0.70|$.

Sono state confrontate le curve dei valori di *CI* predette dagli indici *versus* le curve dei valori reali di umidità fogliare. A seconda di quanto indici e contenuti idrici sono correlati, il *fitting* della curva (cioè la sovrapposizione tra curva dei valori reali e curva dei valori predetti) migliora o peggiora.

3.4. DISCUSSIONE

La fenologia rappresenta il principale fattore di variabilità del contenuto idrico nelle piante. I processi fisiologici, come la dinamica stomatica, la ripresa vegetativa e la dinamica di crescita (Jones 1992), comportano fluttuazioni marcate dell'umidità fogliare. Alla ripresa vegetativa che, ovviamente, coincide con un periodo di buona disponibilità idrica per le specie, il contenuto idrico delle foglie in formazione è estremamente elevato. Le nuove cellule non ancora lignificate si distendono solo se in pieno turgore (ossia perfettamente idratate). Questo porta, di norma, ad un aumento notevole del contenuto idrico *CI* rispetto al peso secco, che raggiunge il massimo annuale (oltre al 200% nelle conifere alpine). Una volta che la foglia è distesa il *CI* decresce stabilmente fino alla successiva primavera. Questo andamento dell'umidità fogliare, caratteristico delle specie che crescono in ambiente alpino, rende complicata una distinzione tra le variazioni del *CI* dovute alla stagione vegetativa e quelle causate dal mutare delle condizioni meteorologiche, che accentuano o risolvono lo stato di disidratazione dei tessuti fogliari.

Le specie, siano esse a portamento arboreo o arbustivo, possono essere classificate in base alla strategia che mettono in atto in risposta allo stress idrico prolungato (figura 27), cioè in risposta a periodi siccitosi che si verificano al di fuori del periodo vegetativo.

Variabile indipendente (x)	Variabile dipendente (y)	Modello di regressione $y = b - ax$		
		b	a	Stazione
VPD	SolA	130.84	1.959	STC
	SolV	112.34	1.699	STC
		112.04	1.024	QUA
	OmbraA	135.63	1.870	STC
	OmbraV	114.07	1.474	STC
Grado FWI		113.86	0.882	QUA
	SolA	132.04	5.504	STC
	SolV	113.27	4.664	STC
	OmbraA	131.78	3.351	QUA
FWI	OmbraV	115.94	4.356	STC
	SolA	126.12	0.965	STC
		108.00	0.718	STC
	SolV	108.51	0.489	QUA
		117.40	0.806	STD
FFMC	OmbraV	110.42	0.682	STC
		119.39	0.848	STD
	SolV	123.32	0.284	STC
DMC	OmbraA	142.50	0.241	QUA
	SolA	125.63	0.428	STC
		138.71	0.535	STD
	SolV	107.60	0.351	STC
		118.15	0.413	STD
	OmbraA	128.35	0.257	QUA
		141.65	0.492	STD
	OmbraV	131.88	0.673	MOR
ISI		112.42	0.254	QUA
		119.78	0.397	STD
		110.07	0.489	MOR
BUI	SolA	126.41	1.720	STC
	SolV	108.70	1.555	STC
	OmbraV	110.99	1.394	STC
DSR	SolA	126.48	0.359	STC
		138.80	0.431	STD
	SolV	117.91	0.353	STD
	OmbraA	142.07	0.421	STD
DSR	OmbraV	119.91	0.333	STD
	SolA	123.57	2.310	STC
	SolV	105.58	1.609	STC
	OmbraV	106.93	1.107	QUA
DSR		108.46	1.602	STC
		116.10	2.277	STD

Tabella 27 Selezione delle equazioni di regressione lineare tra contenuti idrici degli aghi di pino (y) e indici del CFFWIS e VPD (x). Questi modelli sono altamente significativi ($pr < 0.001$) con $r > |0.70|$. SolA = aghi annata a sud; OmbraA = aghi annata a nord; SolV = aghi annata precedente a sud; OmbraV = aghi annata a precedente a nord; b = intercetta; a = coefficiente angolare; MOR = Morgex; QUA = Quart; STC = Saint Christophe; STD = Saint Denis

Ad eccezione delle specie effimere, che fuggono lo stress, le piante mettono in atto una strategia di resistenza che le rende evitatrici o tolleranti. Le specie tolleranti variano l'umidità dei tessuti fogliari in base alla disponibilità idrica, mentre le specie evitanti (in questo caso conservatrici) sono

dotate di adattamenti morfologici e fisiologici che limitano la traspirazione o sono caratterizzate da apparati radicali profondi, come ad esempio il pino. In tabella 28 le specie oggetto d'indagine sono state classificate in base al range di variazione del contenuto idrico escludendo il periodo vegetativo.

Tutte le specie campionate reagiscono allo stress idrico mediante una strategia di resistenza alla perturbazione. La maggior parte di esse sembra rientrare nel gruppo delle specie evitatrici conservatrici di acqua (*Pinus* spp., *Juniperus* spp., *Arctostaphylos uva ursi*), che tendono a mantenere il contenuto idrico fogliare costante durante tutto l'anno (eccezion fatta per la ripresa vegetativa). *Thymus vulgaris* è l'unica specie tollerante allo stress idrico. Risponde infatti alle variazioni di disponibilità idrica con variazioni marcate del contenuto idrico fogliare, corrispondenti ai periodi siccitosi e agli eventi piovosi intensi, anche se, molto spesso, le variazioni si manifestano con un certo o ritardo, che può prolungarsi anche per due settimane (figura 28).



Figura 26 Strategie utilizzate dalle piante per resistere allo stress idrico. Fonte: Pignatti (1995)

Il timo è anche una delle specie tipiche dell'ambiente mediterraneo. La sua presenza evidenzia un'interessante caratteristica dei versanti valdostani esposti a sud, cioè il manifestarsi di condizioni microclimatiche sub-mediterranee, circoscritte a piccole aree, rese particolarmente xeriche dal forte irraggiamento e dalle caratteristiche pedologiche (suoli superficiali e aridi, acclivi).

Occorre precisare che all'interno del gruppo delle specie resistenti evitatrici soltanto *Pinus* spp. e *Juniperus sabina* mostrano una risposta marcatamente conservativa e cioè un range di variazione del contenuto idrico molto ristretto. I valori misurati per *Juniperus communis* sembrano confermare risultati analoghi ottenuti in ambiente mediterraneo durante la stagione di riposo vegetativo (Miralles, 2003), ovvero una strategia di tipo evitatrice ma meno marcata rispetto a quella del pino.

Oltre alle differenze dei contenuti idrici medi dovute alle condizioni stazionali, un ruolo più o meno marcato va attribuito al diverso grado di copertura dei soprassuoli, a cui corrisponde la diversa composizione dello strato arbustivo. Tale relazione non è stata considerata in questo studio.

Strategia di resistenza allo stress idrico		
Marcatamente evitante	Evitante	Tollerante
<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Thymus vulgaris</i>
<i>Pinus nigra</i>	<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	
<i>Juniperus sabina</i>		

Tabella 28 Classificazione delle specie campionate per strategia di resistenza allo stress idrico

Diversamente da quanto accade per i combustibili vivi, il contenuto idrico dei combustibili morti varia in funzione delle sole condizioni climatiche, prestandosi come comprovato predittore del pericolo d'incendio (Rothermel, 1972). La ricerca, invece, di un modello in grado di predire il contenuto idrico dei combustibili vivi, e quindi la possibilità di redigere un indice predittivo inerente il passaggio in chioma delle fiamme, ha impegnato diversi specialisti del settore ed è tutt'ora oggetto di studio. Nel tentativo di riuscire a stimare il valore dell'umidità del combustibile vivo, Viegas *et al.* (2001) e Miralles (2003) hanno ottenuto buoni risultati dimostrando che è possibile esprimere il contenuto idrico di alcune specie arboree e arbustive dell'ambiente mediterraneo in funzione degli indici di disidratazione dei combustibili morti che compongono il sistema canadese di calcolo del pericolo d'incendio. In particolare hanno notato che durante la stagione estiva il *DC* descrive abbastanza bene la lenta variazione del contenuto idrico dei combustibili vivi dovuta alle variazioni delle condizioni meteorologiche. Castro *et al.* (2003), utilizzando alcuni indici del *CFWIS* e i parametri di temperatura, umidità e piovosità, hanno sviluppato due modelli predittivi del contenuto idrico dei combustibili vivi validi per *Cistus monspeliensis*. Gli studi appena citati hanno diretto le indagini su specie caratteristiche dell'ambiente mediterraneo, caratterizzato da un lungo periodo secco estivo, da precipitazioni annue scarse e, di conseguenza, da un fattore di rischio d'incendio elevato (Terradas, 1996) che implica una serie di adattamenti nelle piante ai prolungati periodi di siccità. Il clima nella regione Valle d'Aosta è quello caratteristico delle Alpi interne, con estati brevi, generalmente piovose, e inverni secchi. Le piante pertanto rispondono meno marcatamente allo stress idrico rispetto alle piante mediterranee, come indicano le basse correlazioni con gli indici utilizzati, ad eccezione delle correlazioni calcolate per il periodo dicembre – aprile (stagione degli incendi).

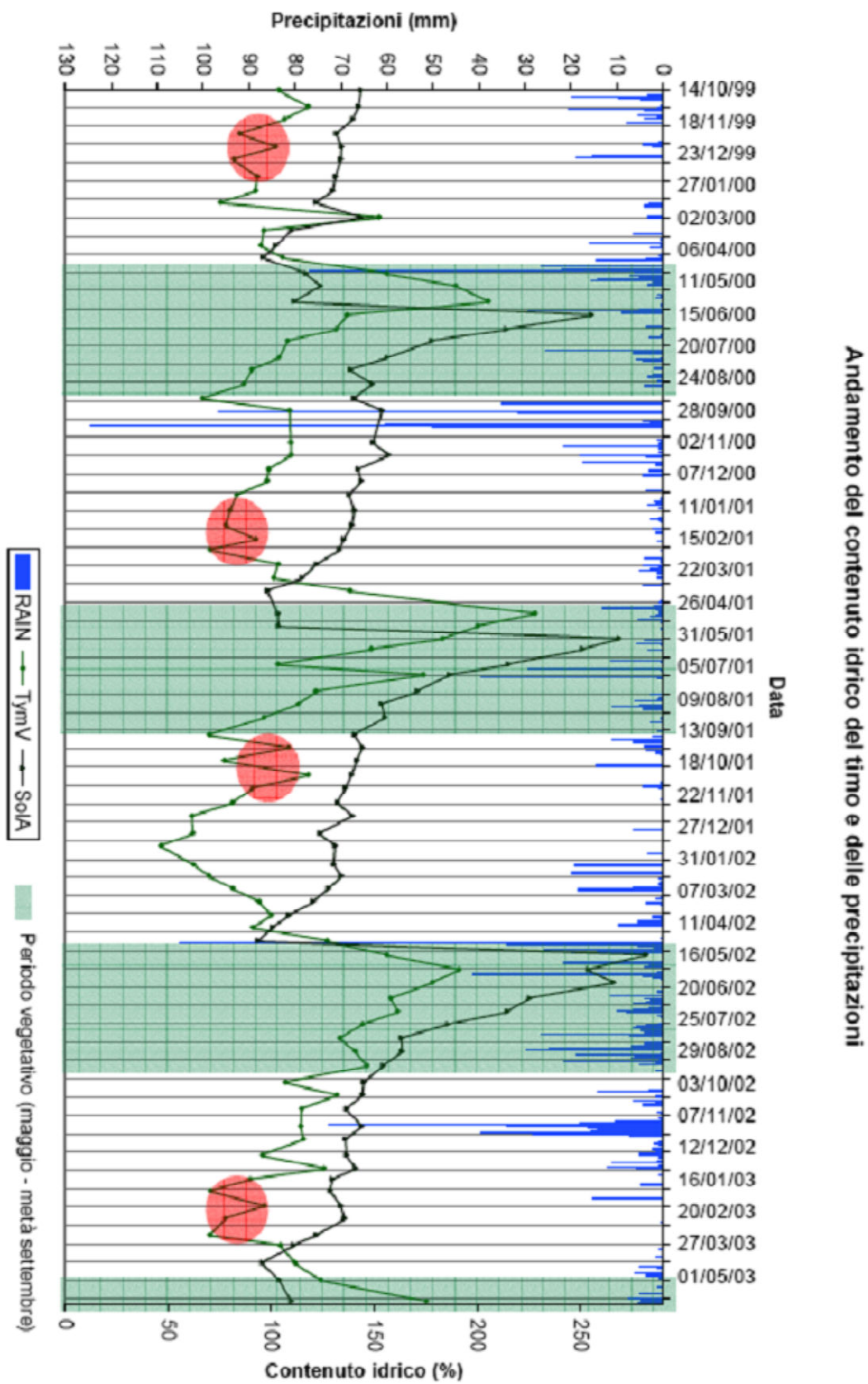


Figura 27 Andamento del contenuto idrico fogliare di *Thymus vulgaris* a confronto con l'andamento delle precipitazioni e del contenuto idrico degli aghi di pino dell'annata (esposti a sud) nella stazione di St. Denis. In rosso sono evidenziate le situazioni in cui, in risposta alle precipitazioni, il timo varia repentinamente l'umidità dei tessuti fogliari, distinguendosi dal lento variare del pino

Le correlazioni migliorano progressivamente passando dall'orizzonte temporale comprendente l'intero anno solare alla sola stagione degli incendi, o stagione secca, pur non coinvolgendo tutti i siti di campionamento e raggiungendo raramente valori di r superiori a $|0.80|$. Il contenuto idrico che risulta maggiormente correlabile con VPD e con gli indici del $CFFWIS$ è quello del pino, in particolare di *Pinus sylvestris* nella stazione di St. Christophe. Sono state messe in luce le equazioni che meglio descrivono la variazione del CI degli aghi di pino durante il periodo in cui il pericolo d'incendio è più elevato. Nella tabella 28 le variabili predittrici (indici) sono state ordinate per grado di predittività in base al valore del coefficiente di correlazione con i contenuti idrici.

Variabile predetta (y)	Siti							
	Morgex		Quart		St. Christophe		St. Denis	
	x	r	x	r	x	r	x	r
solA					FWI	-0.80	BUI	-0.77
					VPD	-0.78	DMC	-0.76
					DSR	-0.78		
					ISI	-0.77		
					grado_FWI	-0.75		
					DMC	-0.75		
					BUI	-0.73		
solV			VPD	-0.79	VPD	-0.88	BUI	-0.79
			DSR	-0.73	FWI	-0.81	DMC	-0.74
			FWI	-0.71	DSR	-0.79	FWI	-0.73
					ISI	-0.79		
					grado_FWI	-0.78		
					DMC	-0.74		
					FFMC	-0.72		
ombrA	DMC	-0.76	grado_FWI	-0.73	VPD	-0.73	BUI	-0.77
			DMC	-0.72			DMC	-0.74
			FFMC	-0.71				
ombrV	DMC	-0.74	VPD	-0.73	VPD	-0.84	BUI	-0.78
			DMC	-0.72	grado_FWI	-0.78	DMC	-0.76
					ISI	-0.74	FWI	-0.74
					DSR	-0.73	DSR	-0.72
					FWI	-0.72		

Tabella 29 Variabili predittrici (x) del contenuto idrico degli aghi di pino (y) ordinate per grado di predittività in base al valore assunto dal coefficiente di correlazione r . In rosso i modelli migliori per tipo di ago. SolA = aghi annata a sud; OmbrA = aghi annata a nord; SolV = aghi annata precedente a sud; OmbrV = aghi annata a precedente a nord

I modelli selezionati sono quelli che il Nucleo Antincendi Boschivi potrà utilizzare per il monitoraggio dell'umidità fogliare dei pini e, di conseguenza, per la previsione della probabilità di passaggio in chioma del fuoco. In mancanza di dati relativi ai contenuti fogliari durante gli incendi, che non sono stati raccolti per ovvi motivi, Cesti (2004) indica alcuni valori soglia di CI che allo

stato attuale possono essere utilizzati come indicatori di uno stato idrico critico: 105-115% per gli aghi dell'annata e 92-100% per aghi dell'annata precedente. Questi valori segnalano quando l'intensità e la velocità di propagazione alla chioma tendono ad aumentare. In assoluto, il miglior predittore dell'umidità degli aghi di pino è *VPD* (per la stazione di Saint Christophe e per gli aghi dell'annata precedente esposti a sud). Tuttavia è bene considerare che questo modello fornisce una buona stima di *CI* per una stazione in particolare. Operativamente, un'alternativa valida consiste nello scegliere la stazione di Saint Christophe come stazione di riferimento, e utilizzare i corrispondenti modelli di previsione. In questo caso, si dovrà tenere in considerazione che questo sito è rappresentativo di una particolare combinazione tra fattori ambientali (andamento delle variabili meteorologiche, pendenza, esposizione, superficialità del suolo), risultante in un versante acclive e particolarmente xerico; si tratterà, cioè, di un approccio teso a valutare l'ipotesi più critica. Un'alternativa facilmente applicabile è l'utilizzo di *grado_FWI* come predittore dell'umidità degli aghi (*sola*, *solV*, *ombrV*) nella stazione di Saint Christophe. Il Nucleo Antincendi Boschivi monitora giornalmente questo valore, ovvero la classe di pericolo d'incendio, che è un valore numerico molto semplice. È sufficiente affiancare al calcolo dell'indice canadese il calcolo del *CI* predetto (ad esempio quello degli aghi dell'annata precedente) all'interno dell'applicativo normalmente utilizzato, o predisporre un semplice foglio di calcolo che restituisca il valore predetto, in cui inserire il valore della classe di pericolo.

L'utente otterrà una stima attendibile solo durante il periodo di massima pericolosità, per il quale è stato predisposto il modello.

Volendo invece monitorare tutti e quattro i siti, si utilizzerà il modello con maggiore capacità predittiva di ogni sito. Si noti come le variabili predittrici siano caratteristiche del sito considerato. I contenuti idrici rilevati a Morgex, in alta valle, non vengono stimati né da *VPD* né da *FWI* o *grado_FWI*, come invece avviene per quelli rilevati negli altri siti, bensì da *DMC*, indice che descrive lo stato idrico dei combustibili morti di media grandezza, senza considerare il fattore vento all'interno dell'algoritmo di calcolo. I valori massimi della velocità del vento registrati a Morgex sono inferiori rispetto alle altre stazioni, quindi questo fattore potrebbe influenzare di meno la disidratazione delle foglie. A Saint Denis il *CI* viene predetto meglio da *BUI*, indicatore della quantità di combustibile che alimenta l'incendio dopo la fase iniziale. La stazione di Saint Denis è quella in assoluto più fresca da un punto di vista pedologico e offre alle piante condizioni meno xeriche in cui crescere, rispetto alle altre stazioni, favorendo la produttività del soprassuolo.

Lungi dal voler proporre una spiegazione precisa, in questa ricerca sono state proposte ipotesi che, razionalmente, potrebbero spiegare perché a diversi siti corrispondano diversi predittori. Queste ipotesi, per ritenersi accertate, necessiterebbero di ulteriori studi.

3.5. CONCLUSIONI

Nonostante la problematica degli incendi boschivi interessi, talvolta anche violentemente, gli ecosistemi alpini, allo stato attuale lo studio dei contenuti idrici fogliari e della risposta delle piante alla siccità non è ancora stato approfondito. Questo lavoro, seppur parzialmente, riempie tale lacuna analizzando in modo accurato e per un consono arco temporale gli andamenti idrici di cinque specie valdostane.

Non tutte le specie studiate mostrano un livello di correlazione con gli indici dell'*FWI System* soddisfacente. Solo per il genere *Pinus* è possibile predire le variazioni di umidità dei combustibili aerei vivi utilizzando questi indici e il *VPD*. La spiegazione va ricercata nel fatto che l'*FWI* non è stato creato per questo fine, bensì per la predizione dello stato di disidratazione dei combustibili morti. La fisiologia delle specie e l'andamento conservativo di alcune costituiscono fattori di "disturbo" che sono assenti nei materiali morti. La presenza in ambiente mediterraneo di specie che denotano strategie accentuate di tolleranza, hanno invece reso applicabili alcuni modelli di predizione soprattutto per le specie arbustive. In Valle d'Aosta, per quanto riguarda lo strato arbustivo e il contributo di questo al fuoco di chioma, bisogna piuttosto considerare il concetto di modello di combustibile e applicarlo alla superficie forestale, privilegiando i siti maggiormente colpiti e concentrandosi sulle specie responsabili dell'accumulo di combustibile o dell'incremento di intensità del fronte di fiamma (ad es. il ginepro).

I modelli per la predizione dell'umidità degli aghi di pino sono un risultato importante, sia come strumento innovativo per la valutazione giornaliera della probabilità di incendio di chioma in ambiente alpino, sia per la sicurezza del personale facente parte del Nucleo Antincendi Boschivi valdostano, che si trova in prima linea durante gli eventi più estremi. Essi si allineano con le ricerche promosse dal *Canadian Forestry Service* per il perfezionamento continuo del *AFM* (*Accessory Fuel Moisture System*), modulo accessorio del *CFDRS* per l'individuazione di contenuti idrici specifici nelle diverse formazioni forestali. Una collaborazione in tal senso è stata avviata di comune accordo con il Nucleo AIB valdostano.

Concludendo, questo lavoro, che è stato ideato da un nucleo operativo, è una dimostrazione di quanto una conoscenza approfondita degli incendi forestali passi attraverso l'osservazione dei fattori che ne predispongono la severità e, se condotta in modo mirato rispetto alla specificità del luogo, di come possa portare a risultati applicativi.

4. VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'INDICE RISPETTO AD ALCUNI EVENTI STRAORDINARI IN LOMBARDIA

4.1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI

La Regione Lombardia è una delle regioni settentrionali italiane che ha deciso di adottare il *Fire Weather Index System* per il calcolo del pericolo d'incendio. Il flusso di notizie dall'ambito regionale - centrale (Regione Lombardia) a quello locale - operativo (comandi stazione CFS e unità di Protezione Civile) è stato disegnato per fornire agli addetti ai lavori un set di informazioni ad ampio spettro. La fase di sperimentazione è cominciata nel 2007, preceduta dalla predisposizione dei bollettini Meteo AIB, che fanno parte dell'attività del Servizio Meteorologico Regionale di ARPA Lombardia per il sistema AIB regionale. Il bollettino Meteo AIB (allegato 3) viene inviato quotidianamente alle 9.30 e fornisce una previsione dell'andamento delle principali grandezze per le 26 ore successive. Le variabili sono spazializzate rispetto a sette aree omogenee con risoluzione temporale di 4-6 ore, in modo da valutare eventuali variazioni a brevissimo termine. In seguito alla riorganizzazione della rete meteo, che nel 2006 poteva contare su appena 38 stazioni per il calcolo dell'indice, l'applicazione di *FWI* ha portato al disegno di un nuovo bollettino (allegato 4); i valori dell'*FWI System* vengono riportati per una serie di stazioni, restituendo un valore puntuale, e lasciano all'utente la valutazione sulla maggiore o minore rappresentatività spaziale all'interno dell'area di propria competenza. Come ausilio alla lettura, sette mappe della Lombardia rappresentano secondo una scala di colori il valore massimo di ciascun indice calcolato in ognuna delle zone in cui è suddivisa la regione. L'obiettivo nel medio termine è di usare le Aree di base AIB e a breve si introdurrà anche l'utilizzo di valori misurati ma interpolati su un grigliato regolare (con passo di 1.5 km). Nell'autunno del 2008 è stata introdotta una versione prognostica (con dati meteo previsti da modelli fisico-matematici fino a 2-3 giorni) e le soglie di pericolo sono state mutate dalla Regione Autonoma Valle d'Aosta. Nel 2009 è previsto il passaggio dalla fase sperimentale a quella operativa, con l'invio del Bollettino *FWI* a tutti gli operatori AIB.

Nei successivi paragrafi si intende analizzare il sistema facendo riferimento ai quattro livelli interpretativi del *Fire Weather Index* (paragrafo 1.1.8.) e, in particolare, agli eventi straordinari, definiti come gli incendi la cui superficie ha superato i 100 ha (Regione Lombardia 2007). Sono questi gli eventi che creano i danni maggiori, generando quasi il 50% dell'area percorsa da fuoco (Cameroni 2008) (figura 29).

Gli obiettivi principali sono:

1. verificare se la ricorrenza degli eventi straordinari considerati viene intercettata da *FWI* (*performance* dell'indice);

2. indagare il ruolo e l'utilità delle componenti intermedie (indici di umidità del combustibile e indici di comportamento del fuoco);
3. proporre strumenti accessori che esaltino la *performance* del sistema canadese o che ne colmino le lacune.

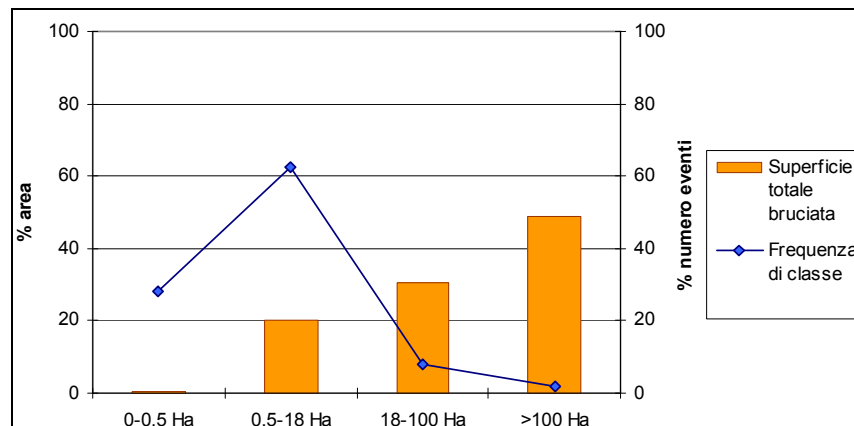


Figura 28 Superficie totale bruciata e frequenza per classi dimensionali (1997 - 2007). Fonte: Cameroni (2008)

4.2. MATERIALI E METODI

4.2.1. EVENTI STRAORDINARI CONSIDERATI E INFORMAZIONI A DISPOSIZIONE PER LA VALUTAZIONE DEL PERICOLO D'INCENDIO

Considerando il periodo 1997 - 2007, Cameroni (2008) distingue in 7 ambiti territoriali gli eventi straordinari e propone una prima classificazione delle tipologie o *patterns* (Morgan *et al.* 2001) degli incendi per la regione Lombardia (tabella 29 e figura 30). Tale suddivisione trova una corrispondenza con le aree omogenee ARPA del bollettino Meteo AIB. Rifacendosi a questa classificazione sono stati isolati sei casi studio (tabella 30) rappresentativi di tre zone:

- Lario - Valchiavenna: comprendente la fascia perilacustre, le valli comasche e lecchesi dell'Alto Lario e della Valchiavenna; in questa zona gli incendi possono essere particolarmente intensi e distruttivi, pur avendo un'evoluzione rapida; sono guidati da vento e pendenza e si sviluppano tra i 1000 e i 1500 m s.l.m.. In media, la superficie è di 354 ha, sebbene siano state registrate punte superiori ai 1000 ha, e la superficie non boscata percorsa è circa il doppio di quella boscata. Grande importanza hanno quindi gli inneschi su prateria.
- Valli bresciane: in Val Trompia e Val Camonica gli eventi straordinari avvengono su pendenze elevate, sopra i 1000 m s.l.m. e non sempre sono guidati dal vento; la superficie media si aggira attorno a 274 ha, con una prevalenza di superficie non boscata percorsa da fuoco.

• Paludi: in questa zona gli eventi straordinari sono, in media, di poco superiori ai 100 ha, e percorrono esclusivamente superficie non boscata ascrivibile alla vegetazione palustre; la continuità del combustibile e la presenza di venti forti guida questi incendi, che avvengono su terreni per lo più pianeggianti o collinari e hanno un decorso rapido.

Per il calcolo di *FWI* e delle componenti intermedie, sono stati utilizzati i dati forniti da ARPA Lombardia relativi ai sei mesi prima degli eventi. In questo modo si è potuto calcolare l'indice disponendo di un arco temporale sufficiente per settare le condizioni iniziali. Relativamente ai mesi precedenti il singolo evento, è stato calcolato il *Seasonal Severity Rating (SSR)* per relazionare la severità dell'incendio con le condizioni della stagione precedente. Oltre ai dati per il calcolo dell'indice, sono state richieste le tavole sinottiche relative al giorno in cui alcuni eventi hanno avuto inizio. L'isolamento delle situazioni sinottiche è particolarmente significativo dal momento che il livello di analisi corrisponde ad una scala regionale (o sinottica), come illustrato nel capitolo 1.2.1.

Zona	Lario-Valchiavenna	Prealpi occidentali	Paludi	Valtellina	Valli bergamasche	Valli bresciane	Alto Garda bresciano
Superficie media (ha)	354	140	136	293	231	274	337
Superficie max (ha)	1935	170	160	550	714	905	495
Superficie boscata media (ha)	129	91	0	249	704	101	205
Superficie non boscata media (ha)	225	41	136	44	117	174	133
Durata media (h)	45	24	8	182	56	77	96
Tempo di ritorno prevalente	0-10 anni	0-5 anni	0-5 anni	0-10	0-10	indifferente	indifferente
Esposizione prevalente	S	S	indifferente	S	S	indifferente	indifferente
Vento prevalente	moderato-forte	forte	forte	forte	forte	indifferente	forte
Pendenza prevalente	oltre 50%	oltre 50%	fino al 20%	oltre 50%	oltre 50%	oltre 50%	oltre 20%
Tipo di incendio prevalente	Vento- pendenza	Vento- pendenza	Vento- combustibile	Vento- pendenza	Vento- pendenza	Vento- Pendenza	Vento- pendenza
Altitudine prevalente (m)	1000-1500	500-1000	fino a 500	500-1500	1000-1500	oltre 1000	indifferente

Tabella 30 Categorie di eventi straordinari in Lombardia secondo zone omogenee e loro caratteristiche. Fonte: Cameroni (2008)

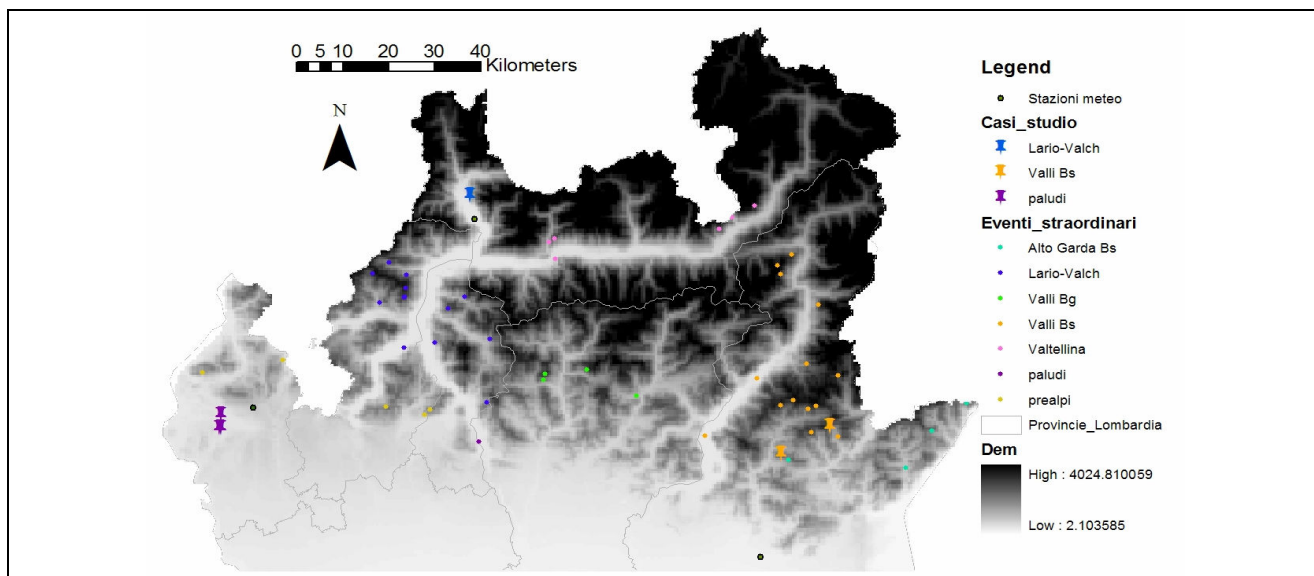


Figura 29 Eventi straordinari suddivisi per zono omogenee secondo la classificazione Cameroni (2008)

Evento	Prata - Camportaccio (SO)	Lavenone (BS)	Corna di Caspai (BS)	Inarzo (VA)	Ternate (VA)	Ris. Nat. Biandronno (VA)
Zona	Lario - Valchiavenna	Valli bresciane	Valli bresciane	Paludi	Paludi	Paludi
Quota (m s.l.m.)	450 - 1750	900	1000 - 1500	Fino a 500	Fino a 500	Fino a 500
Data	19-20/01/2007	16-18/03/2007	06/03/2007	30- 31/01/1999	05/02/1999	31/01/1999
Ora di inizio	16.10	14.30	21.3	16.30	14.45	2.00
Superficie totale	171.09	180	105	160	140	100
Superficie boscata	Ceduo, altofusto conifere 171.09	Pineta, ceduo, formazioni primitive faggio- carpino nero 63	27	0	0	0
Superficie non boscata	0	117	78	Canneto 160	Canneto 140	Canneto 100
Stazione (quota in m s.l.m.)	Samolaco (206)	Brescia via Ziziola (70)	Brescia via Ziziola (70)	Varese- Vidoletti (piano)	Varese- Vidoletti (piano)	Varese-Vidoletti (piano)
Distanza da incendio (km)	5.7	35	25	8	8	6.7
Stazione di appoggio				Saronno	Saronno	Saronno
Difficoltà operative	Viabilità limitata; elevata velocità di propagazione (oltre 10 m min-1)	Viabilità limitata; alte pendenze, caduta materiale infiammato; elettrdotto e fumo in valle; problemi di comunicazione	Velocità di propagazione e pendenze elevate	Livello dell'acqua nel canneto e presenza di ghiaccio	Livello dell'acqua nel canneto e presenza di ghiaccio	Livello dell'acqua nel canneto e presenza di ghiaccio
Fattori determinanti	Velocità del vento (evoluzione condizionata dalla topografia, effetto camino)	Topografia; difficoltà operative	Topografia	Continuità del combustibile e presenza di vento		
Danno	Danno consistente, distruzione del soprassuolo	Danno marginale	n.d.	Danno di lieve entità	Danno di lieve entità	Danno di lieve entità

Tabella 31 Caratteristiche dei sei casi studio selezionati per rappresentare le zone del Lario - Chiavenna, delle Valli bresciane e delle Paludi

4.2.2. LIVELLI INTERPRETATIVI E METODOLOGIA DI VALUTAZIONE

La *performance* di un indice (o degli indici che compongono un sistema di calcolo) si può valutare mettendo in relazione l'indice stesso e la ricorrenza di eventi storici, dei quali è nota l'estensione (Norum 1982, Rothermel e Rinehart 1983, Bradshaw e Andrews 1994, Andrews e Bradshaw 1996, 1997).

In questo studio il concetto di *performance* viene applicato ai quattro livelli interpretativi del *FWI System*, simulando a posteriori, attraverso esempi concreti, il buon uso di tutte le informazioni proporzionate dal sistema e verificandone l'efficacia. Non si intende quindi fornire un quadro completo dell'andamento degli eventi straordinari rispetto a *FWI*, ma piuttosto proporre una metodologia di indagine utile sia nella fase di ricostruzione degli eventi a posteriori, sia in sede di valutazione del pericolo durante la campagna AIB. I diversi utenti del sistema potranno individuare, in questo schema, il proprio ruolo e cosa significa tralasciare o meno uno o più livelli di informazione. La disponibilità delle informazioni è stata calata sul flusso informativo predisposto dalla Regione Lombardia (di concerto con ARPA).

Livello 1 (il valore di FWI). La domanda fondamentale, che interessa l'amministrazione centrale, è: "il solo valore di *FWI* sarà in grado di intercettare il verificarsi di eventuali incendi straordinari?". Dichiarare lo stato di allerta, in vista di situazioni particolarmente critiche, non è una scelta facile e presuppone una serie di passaggi burocratici articolati, come la predisposizione del flusso operativo a livello centrale. Se dall'analisi di eventi storici non emerge una corrispondenza con l'indice, vale a dire una soglia di pericolo da alta a estrema, questo significa che preso da solo l'indice non spiega questo fenomeno, e andranno ricercati altri indicatori o combinazioni di indicatori del *FWI System*. In questa chiave, un'analisi di frequenza di tutti i fenomeni per ciascuna classe di pericolosità indicherebbe se, al contrario, sono le soglie a dover essere aggiustate. Per questo tipo di analisi viene richiesto tuttavia un set di dati più solido di quello utilizzato in questo lavoro. Quindi, per ipotesi, si suppone che le soglie attualmente utilizzate siano corrette. Disponendo la Regione Lombardia di bollettini che, in prospettiva, daranno una previsione a 2-3 giorni, nello studio dei casi selezionati sono stati presi in considerazione anche i valori pregressi dell'indice rispetto al giorno di accadimento.

Livello 2 (gli indici di umidità del combustibile). A livello di amministrazioni periferiche e personale operativo (DOS) andranno sempre consultati, oltre al valore di sintesi, i valori tabellari delle componenti intermedie. Come già descritto, gli indici di umidità e la loro combinazione forniscono informazioni rilevanti rispetto alla probabilità di innesco (*FFMC*), alla sostenibilità della combustione di fuochi radenti (*DMC*) e alla probabilità di comportamenti intensi e di focolai sotterranei persistenti (*DC*). Se il valore di *FWI* non è rilevante, si consulterà in prima battuta il

valore di *DC*. Se questo valore è elevato e il valore di *DMC* è da medio a elevato, un incendio richiederà notevole energia nella fase iniziale, ma una volta innescato troverà le condizioni per propagarsi (Van Wagner 1987). Queste affermazioni verranno verificate utilizzando i casi studio. Esiste anche la possibilità di utilizzare un indicatore di variabilità oraria denominato *hourly FFMC* (Beck *et al.* 2002, Van Wagner 1972), utile nel caso in cui si verificano cambi repentini delle condizioni meteorologiche successivamente all'ora di calcolo dell'indice, che incidono principalmente sull'umidità dei combustibili fini. Oltre all' *hourly FFMC*, si può ricorrere alla ripetizione del calcolo di *FWI* durante il pomeriggio (comunque entro le 16) oppure a valutazioni qualitative in base al monitoraggio delle condizioni meteo (vedi livello 4).

Livello 3 (gli indici di comportamento del fuoco). Sia in sede di valutazione operativa che per la dichiarazione dello stato di allerta (a livello centrale), può essere strategico consultare i valori degli indici di comportamento del fuoco che, come visto, descrivono quanto velocemente il fuoco percorre i combustibili leggeri (*ISI*) e qual'è il potenziale dell'incendio in quanto a mole di combustibile disponibile per la propagazione (*BUI*). La combinazione dei due indici, insieme alla caratterizzazione del tipo di combustibile, fornisce un supporto decisionale per la definizione del *burning day* (Stocks *et al.* 2004.), o meglio di un periodo di pericolosità tale da allertare il sistema. Si pone a questo punto il problema di come definire il tipo di combustibile, che in ogni area omogenea è piuttosto vario. Una soluzione può essere quella di considerare la peggiore delle ipotesi (ad esempio la pineta di pino silvestre) e, in attesa di un adattamento alla realtà lombarda, affidarsi al *Red Book* canadese (Taylor *et al.* 1997), che fornisce tabelle collaudate da una lunga esperienza. Nell'allegato 5 si riporta la tabella suggerita per le pinete alpine e montane (*C5*), assimilabili alle formazioni di *Red* e *White Pine*. Nella tabella, alla combinazione tra *ISI* e *BUI* corrisponde una classe di intensità prevista (*Intensity Class*) per le pinete in questione. Il vantaggio di questo approccio risiede nel fatto che la variazione della classe di intensità, nel breve periodo, è meno brusca rispetto alla variazione di *FWI*, consentendo la dichiarazione dello stato di allerta (o di pre-emergenza) con maggiore sicurezza e quando è davvero necessario. Questo approccio viene applicato ai casi studio.

Livello 4 (i parametri meteorologici grezzi). A livello operativo, sia per i comandi stazione che per i responsabili provinciali, è importante non perdere una pratica che da sempre viene utilizzata per la valutazione del pericolo (soprattutto a scala di base e locale), ovvero il monitoraggio della situazione meteorologica generale, sia in atto che prevista. Il bollettino Meteo AIB fornisce i dati delle successive 26 ore e può essere integrato con il bollettino ARPA classico per una maggiore finestra temporale. Il *FWI System* fornisce quattro valori relativi a mezzogiorno: le precipitazioni cumulate delle ultime 24 ore, la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e la velocità del vento. In

aggiunta è utile considerare altri parametri, anche relativi ai due mesi precedenti la valutazione, ad esempio il numero di giorni dall'ultima pioggia, la possibilità di brusche variazioni meteo nel primo pomeriggio, la variabilità del vento alle ore 13 nell'area di interesse, e altri indicatori che vengono suggeriti nei casi studio.

Le situazioni sinottiche e il Seasonal Severity Rating. Nell'analisi dei casi studio vengono proposti altri strumenti accessori che possono diventare rilevanti sia nella zonizzazione della regione in base alle tipologie di incendio, come abbozzate da Cameroni (2008), sia per una migliore previsione del più probabile comportamento del fuoco in un determinato momento dell'anno e in una determinata zona. In questo modo può essere sviluppata una sorta di "climatologia degli incendi", attraverso il paragone con l'attività del fuoco durante eventi noti (Turner 1973; Stocks 1974; Kiil *et al.* 1977; Harrington *et al.* 1983; Amiro *et al.* 2004; Parisien *et al.* 2004; Girardin *et al.* 2006; Lavoie *et al.* 2007). Gli strumenti proposti sono le tavole sinottiche relative ad alcuni eventi e la quantificazione del *Seasonal Severity Rating* che stima la severità stagionale rispetto ad una data regione ed evidenzia eventuali anomalie rispetto alle stagioni già trascorse. La previsione del pericolo su base stagionale è tuttavia una valutazione di tipo avanzato, affrontabile da meteorologi esperti (ad esempio ARPA Lombardia) e ancora oggetto di un acceso dibattito in ambito internazionale. I valori di *SSR* calcolati forniranno un elemento di confronto per studi successivi, dal momento che non sono stati individuati altri riferimenti validi.

4.3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Incendio di Prata - Camporotondo - 19-20/01/2007 (Zona Lario - Valchiavenna).

Livello 1. Il valore di *FWI* per il giorno di accadimento è stato pari a 2.31 (pericolo molto basso) e il secondo giorno 3.85 (pericolo da molto basso a basso). I dati misurati alle 13.00 non catturano l'entità dell'evento. Per trovare giorni di alto pericolo bisogna risalire a otto giorni prima (21.92, pericolo molto alto).

Livello 2. I valori degli indici di umidità, relativi alle ore 13:00, sono riportati in tabella 32. I valori di *FFMC* segnalano con ampio margine il superamento della soglia di innesco, vale a dire combustibili leggeri secchi. L'orizzonte F (descritto da *DMC*) non sembra interessato dalla propagazione, pur presentando valori prossimi a questa soglia. I valori di *DC* sono molto bassi, segnalando disponibilità idrica negli strati profondi del terreno. Per spiegare l'evento non resta che ricorrere ad altri indicatori. Non disponendo dell'algoritmo per calcolarlo, l'*hourly FFMC* non è parte dell'analisi; sono invece stati ricalcolati gli indici alle ore 14:00, 15:00 e 16:00 del primo

giorno (tabella 33). Attraverso questo approccio si riesce a intercettare l'evento. È bastato ritardare di un'ora il calcolo dell'indice per raggiungere una soglia di pericolo alto; ripetendo il calcolo nelle due ore successive si passa da pericolo molto alto alle 15:00 fino ad una soglia di pericolo estremo alle 16:00, che rispecchiano un brusco cambiamento delle condizioni meteorologiche predisponenti. In questo caso è la disidratazione dei combustibili fini che ha generato il potenziale dell'evento (i valori di *FFMC* segnalano un innesco estremamente probabile), favorendo il pre-riscaldamento, anche dovuto alle forti pendenze, e la conseguente combustione dei materiali più grossolani. L'incendio ha portato infatti alla completa distruzione dell'altofusto di conifere.

Data	<i>FFMC</i>	<i>DMC</i>	<i>DC</i>
17/01/2007	83.10	12.54	44.61
18/01/2007	80.28	12.59	45.03
19/01/2007	83.68	13.65	47.97
20/01/2007	84.48	14.40	50.09

Tabella 32 Valori degli indici di umidità dei combustibili (*FFMC*, *DMC*, *DC*) relativi ai giorni in cui si è verificato l'evento (in grassetto) e ai due giorni precedenti

Ora	T	UR	VV	P	<i>FFMC</i>	<i>DMC</i>	<i>DC</i>	<i>ISI</i>	<i>BUI</i>	<i>FWI</i>	<i>DSR</i>
13:00	18	55	0.9	0	83.68	13.65	47.98	1.8461	15.9546	2.3183	0.12048
14:00	22.8	34	15.4	0.2	89.1898	14.5319	48.838	8.2932	16.666	11.0714	1.91782
15:00	23.5	22	25.5	0.0	92.1055	14.9522	48.964	20.9128	16.958	22.5072	6.7325
16:00	22.9	21	31.2	0.0	92.3209	14.9242	48.85	28.7311	16.923	28.0528	9.94228

Tabella 33 Valori degli indici del *FWI System* e degli input meteorologici alle ore 13:00, 14:00, 15:00 e 16:00 del primo giorno. T = temperatura (°C), UR = umidità relativa (%), VV = velocità del vento (km h⁻¹), P = precipitazioni (mm)

Livello 3. I valori degli indici di comportamento, determinati alle 13:00 del primo giorno, non restituiscono un quadro del pericolo corrispondente all'intensità dell'incendio. Analogamente a *FFMC*, il valore di *ISI* ricalcolato alle ore 15:00 e 16:00 segnala tassi di propagazione estremamente rapidi, passando da valori bassi a valori estremi, mentre il valore di *BUI* si mantiene basso, rispecchiando gli indici *DMC* e *BUI*. A questo livello è interessante verificare quale classe di intensità corrisponde alla combinazione tra *ISI* e *BUI*, che segnala se il giorno dell'incendio può essere definito *burning day*. Nella tabella 34 sono riportate varie combinazioni relative al primo giorno dell'evento (a diverse ore) e al secondo giorno. In nessun caso viene segnalata una classe di intensità elevata, raggiungendo al massimo un valore compreso tra 10 - 500 kW m⁻¹ (allegato 5), anche se al limite superiore della classe. A livello centrale-regionale è ragionevole considerare la

situazione generale di pericolo (che in questo periodo non richiedeva la dichiarazione dello stato di allerta) e non le variazioni repentine che sono un avvenimento localizzato e il cui monitoraggio rientra tra i compiti del personale operativo locale o provinciale. Quando invece la tabella segnala una classe di intensità elevata, significa che è giunto il momento di allertare il sistema. La spiegazione dell'evento risiede nel grande peso che ha avuto il fattore topografico sul riscaldamento dei combustibili e sul passaggio in chioma delle fiamme (segnalato anche dai valori di *ISI* calcolati nel pomeriggio). Se l'incendio si fosse verificato in piano, l'umidità dei combustibili medi e pesanti avrebbe determinato probabilmente un comportamento meno estremo.

Data	Ora	ISI	BUI	Classe di intensità
19/01/2007	13:00	1.8461	15.9546	1
19/01/2007	14:00	8.2932	16.666	1
19/01/2007	15:00	20.9128	16.958	2
19/01/2007	16:00	28.7311	16.923	2
20/01/2007	13:00	2.6817	16.7587	1

Tabella 34 Classe di intensità risultante dalla combinazione dei valori di *ISI* e *BUI*, secondo le tabelle del *Red Book* e la categoria C5 (Taylor *et al.* 1997), per la segnalazione di *burning day*.

Livello 4. Il monitoraggio della situazione meteorologica, sia in atto che prevista (tabelle 35 e 36), restituisce un'indicazione immediata delle criticità riscontrate nell'incendio di Prata-Camporaccio. La tabella 35 simula la previsione a 2-3 giorni che viene fornita dal bollettino *FWI* (accanto ai valori degli indici viene riportato anche quello degli input meteorologici), mentre la tabella 36 considera l'intervallo di 26 ore previsto dal bollettino Meteo AIB. Sostanzialmente, rispetto ai due giorni precedenti, si è verificato un aumento repentino della temperatura, con conseguente diminuzione dell'umidità relativa che, durante il giorno in cui è avvenuto l'innescò (19 gennaio), è crollata fino a valori di poco superiori al 20% dalle ore 14:00 alle ore 20:00 (in cui rientra la fase di massima propagazione). Il picco termico è stato raggiunto alle 15.00 (23.5°C), con un valore decisamente al di sopra della media stagionale. Se alle ore 13.00 il vento non era intenso (circa 6 km h⁻¹), dalle ore 14.00 si è fatto sempre più teso fino a raggiungere una velocità massima di 35.4 km h⁻¹ alle 18.00, indicando una tipica entrata da Nord. Il repentino cambio delle condizioni meteorologiche dopo le ore 13.00 (corrispondenti all'ora di calcolo di *FWI*) spiega le dimensioni dell'evento.

Situazioni **sinottiche** e *SSR*. Le tavole sinottiche relative al 19 gennaio (allegato 6) mostrano un campo esteso di alta pressione, centrato sul sistema della penisola iberica, che si spinge fino alle

Alpi meridionali, mentre da Nord sopraggiunge un sistema di bassa pressione che si scontra con le Alpi settentrionali. Si può ipotizzare quindi che le masse d'aria umide provenienti da Nord abbiano innescato un'entrata di vento föenizzato, dopo aver scaricato le precipitazioni sulle Alpi settentrionali.

Data	T	UR	VV	P
17/01/2007	7.9	73	0	0
18/01/2007	4	91	0	0
19/01/2007	18	55	0.9	0

Tabella 35 Dati meteorologici relativi alle ore 13:00 per il 17, 18 e 19 gennaio 2007. La tabella simula la previsione a 2-3 giorni che fornirà il bollettino *FWI*. T = temperatura (°C), UR = umidità relativa (%), VV = velocità del vento (km h⁻¹), P = precipitazioni (mm)

Data	Ora	T	UR	VV	P
19/01/2007	10.00	3.0	100	0.0	0.0
19/01/2007	11.00	9.5	76	0.0	0.0
19/01/2007	12.00	14.3	59	0.0	0.0
19/01/2007	13.00	18.0	55	0.9	0.0
19/01/2007	14.00	22.8	34	15.4	0.2
19/01/2007	15.00	23.5	22	25.5	0.0
19/01/2007	16.00	22.9	21	31.2	0.0
19/01/2007	17.00	23.0	21	33.0	0.0
19/01/2007	18.00	22.8	21	35.4	0.0
19/01/2007	19.00	22.6	21	34.0	0.0
19/01/2007	20.00	21.6	22	28.4	0.0
19/01/2007	21.00	20.7	25	27.7	0.0
19/01/2007	22.00	20.6	24	30.8	0.0
19/01/2007	23.00	20.0	27	26.0	0.0
20/01/2007	0.00	18.6	31	17.9	0.0
20/01/2007	1.00	18.3	31	8.1	0.0
20/01/2007	2.00	16.0	38	4.4	0.0
20/01/2007	3.00	13.7	45	0.1	0.0
20/01/2007	4.00	11.7	51	0.5	0.0
20/01/2007	5.00	8.3	67	0.2	0.0
20/01/2007	6.00	6.9	73	0.0	0.0
20/01/2007	7.00	6.8	74	0.1	0.0
20/01/2007	8.00	5.5	80	0.0	0.0
20/01/2007	9.00	6.0	82	0.0	0.0
20/01/2007	10.00	6.8	83	0.0	0.0
20/01/2007	11.00	8.2	81	0.0	0.0
20/01/2007	12.00	10.4	73	0.3	0.0
20/01/2007	13.00	13.4	58	6.2	0.0

Tabella 36 Dati meteorologici orari per le ore successive all'innescio dell'incendio. La tabella simula la previsione a 26 ore che fornisce il bollettino Meteo AIB. T = temperatura (°C), UR = umidità relativa (%), VV = velocità del vento (km h⁻¹), P = precipitazioni (mm)

Il valore di *SSR*, calcolato per due intervalli temporali (6 mesi e 2 mesi prima dell'evento) indica una bassa severità in entrambi i casi, con valori rispettivamente di 0.92 e 0.18. La stagione precedente non si può quindi definire severa, ma piuttosto relativamente umida. Dalla classica analisi meteorologica si nota tuttavia che le temperature da ottobre sono state miti, con due picchi di rialzo termico in gennaio, e che le ultime precipitazioni consistenti sono cadute all'inizio di dicembre, cioè più di un mese prima dell'evento. Queste condizioni non sono state sufficienti a seccare i combustibili medi e pesanti, come indicano gli indici di umidità.

In conclusione, l'evento di Prata - Camporotondo è da attribuire a fattori localizzati sia per tempo che per spazio, intercettabili dai livelli 2, 3 e 4, con calcolo ripetuto degli indici nel pomeriggio e monitoraggio dei parametri meteorologici così come presentati dal bollettino Meteo AIB.

Incendio di Lavenone 16-18/03/2007 (Zona Valli Bresciane).

Livello 1. Il valore di *FWI* (tabella 37) è stato pari a 12.22 e 13.78 nei primi due giorni di accadimento (pericolo medio) e 15.11 per il terzo giorno (pericolo tra medio e alto). Nella settimana precedente l'incendio, l'indice è cresciuto progressivamente (figura 31), fino a raggiungere una soglia di pericolo medio. In questo caso il solo valore di *FWI* è in grado di proporzionare informazioni rilevanti e di indicare la necessità di uno stato di allerta, ma non di pre-emergenza. Il fatto che la crescita dei valori sia continua nell'ultimo periodo, suggerisce di osservare non solo i valori giornalieri, ma anche il tasso di crescita dell'indice per intervalli settimanali, quantificabile con la pendenza della curva (Miralles e Castellnou 2002). Ad esempio, se prendiamo il valore di *FWI* tra il 9 e il 15 di marzo, avremo una pendenza di 1.54, che indica un incremento giornaliero medio dell'indice non trascurabile.

Livello 2. I valori degli indici di umidità forniscono indicazioni rilevanti sulla quantità e tipologia dei combustibili disponibili, con valori di *FFMC* vicini alla soglia di innesco estremamente probabile, valori di *DMC* che indicano un coinvolgimento dei combustibili medi, e valori di *DC* prossimi alla soglia segnalatrice di focolai sotterranei. La topografia, assieme a numerose difficoltà operative, è stata il fattore determinante durante l'incendio di Lavenone, che non ha prodotto danni ingenti pur contando su una buona disponibilità di combustibile per la propagazione. Se il fattore vento fosse stato più accentuato l'incendio sarebbe stato probabilmente più intenso.

Livello 3. Dei due indici di comportamento, *BUI* segnala l'attività di incendi radenti, mentre i valori di *ISI* sono contenuti. Questo significa che, anche se i combustibili sono in grado di sostenere la combustione, il fattore vento (che pesa molto sul valore di *ISI*) ha avuto una bassa incidenza.

Dalla combinazione tra i due indici (nella tabella C5 del *Red Book*) si ottiene una classe di intensità bassa, pari a 2 (10-500 kW m⁻¹).

Livello 4. Durante l'evento l'umidità relativa è stata di poco inferiore al 50%, la velocità del vento non elevata (la scheda AIB/fn riporta assenza di vento), da 4 a 10 km h⁻¹, le temperature superiori rispetto alla media stagionale. Queste condizioni meteorologiche, se conosciute in anticipo (bollettino Meteo AIB), suggeriscono all'operatore locale di prepararsi ad un eventuale chiamata nei giorni successivi, pur non facendo suonare chiaro e forte il campanello d'allarme.

Situazioni sinottiche e SSR. Le tavole sinottiche relative al 16 marzo (allegato 6) mostrano la presenza di due campi di alta pressione che hanno determinato una situazione di stabilità atmosferica, accompagnata da assenza di venti forti. Probabilmente le giornate si presentavano soleggiate anche se non particolarmente secche. Per la previsione di un evento simile a quello di Lavenone, sarebbe utile l'osservazione delle condizioni meteo degli ultimi due mesi, per i quali il SSR restituisce valori pari a 0.45 (un valore di severità doppio rispetto ai due mesi precedenti l'evento di Prata). Da febbraio (un mese prima) si è assistito ad un progressivo incremento termico con un repentino rialzo nei dieci giorni precedenti l'evento (20°C) e ad un forte abbassamento dei valori massimi di umidità relativa (30-40% in media a marzo, 20% cinque giorni prima dell'evento). Durante l'inverno le precipitazioni sono state frequenti ma con intensità basse; l'ultima precipitazione è stata di 5 mm dieci giorni prima dell'evento. Il calcolo di SSR per i sei mesi precedenti restituisce un valore pari a 0.71, inferiore rispetto al caso di Prata.

In conclusione, l'incendio di Lavenone rientra nella categoria degli incendi topografici. L'assenza di vento è stata compensata dalla disponibilità di tutte le classi di combustibile (livello 2 e 3) che hanno determinato il lungo decorso dell'evento, assieme alle difficoltà operative (viabilità limitata; elevate pendenze e caduta di materiale infiammato a valle; presenza di un elettrodotto e fumo in valle; problemi di comunicazione e coordinamento). A livello centrale sarebbe stato importante seguire l'andamento o la pendenza dell'indice nel breve periodo (livello 1).

Data	T	UR	VV	P	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	DSR
14/03/2007	19.7	32	5.1	0	90.4573	23.3884	242.649	5.91843	37.6938	12.9552	2.53276
15/03/2007	18.6	42	4.9	0	90.2321	25.3361	245.701	5.67336	40.2866	12.9951	2.5466
16/03/2007	18.3	47	4.6	0	89.5269	27.0888	248.699	5.05112	42.5822	12.2204	2.28408
17/03/2007	18.5	48	7.9	0	89.1799	28.8261	251.733	5.6751	44.821	13.7829	2.82618
18/03/2007	17.6	49	10.6	0	88.8434	30.4518	254.605	6.19563	46.8846	15.115	3.32752

Tabella 37 Valori degli indici del *FWI System* e degli input meteorologici nei giorni in cui ha avuto luogo l'incendio (in grassetto) e nei due giorni precedenti. T = temperatura (°C), UR = umidità relativa (%), VV = velocità del vento (km h⁻¹), P = precipitazioni (mm)

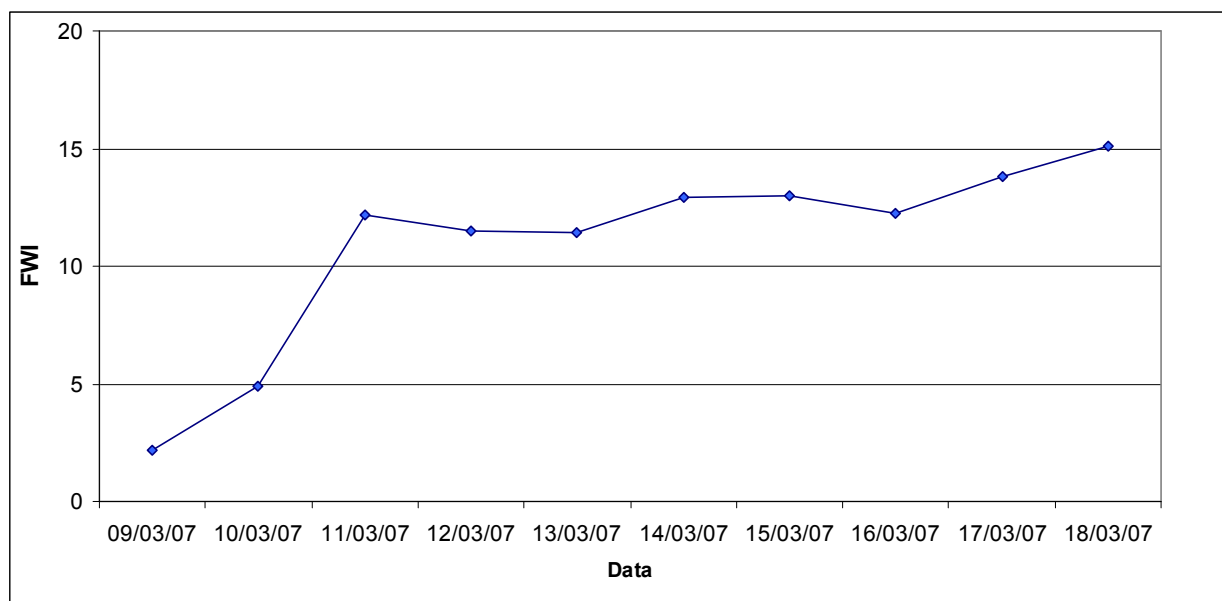


Figura 30 Andamento di *FWI* nei dieci giorni precedenti l'incendio di Lavenone

Incendio di Corna di Caspai - 05/03/07 (Zona Valli Bresciane).

Livello 1. Il valore di *FWI* è stato pari a 9.58 (pericolo medio) per il giorno di innesco, mentre nei due giorni precedenti la soglia di pericolo è stata media o bassa (tabella 38). L'indice intercetta debolmente l'evento e pertanto, come nel caso precedente, va considerata la pendenza rispetto all'ultima settimana, che restituisce un valore pari a 1.27. Se *FWI* aumenta così rapidamente in poco tempo (figura 32), può significare che l'evapotraspirazione ha un tasso elevato, che si riflette sulla velocità di disidratazione dei combustibili (Miralles 2003).

Livello 2. I valori degli indici di umidità indicano combustibili leggeri facilmente infiammabili e combustibili pesanti prossimi al raggiungimento della soglia critica. Tuttavia l'orizzonte F sembra sufficientemente umido e necessita elevate temperature per diventare disponibile. Queste indicazioni trovano riscontro nel fatto che più del 70% dell'area bruciata consisteva in vegetazione non boscata, per la quale hanno peso i combustibili fini. L'incendio è stato avvistato alle ore 21:30 e sarebbe interessante calcolare l'*hourly FFMC* per la notte del 5 marzo.

Livello 3. I valori degli indici di comportamento si attestano su valori piuttosto bassi, mentre la loro combinazione corrisponde ad una classe di intensità 2 per il giorno di innesco dell'evento.

Livello 4. La valutazione delle condizioni meteorologiche aiuta a intercettare l'evento (figura 33 e tabella 39). Dalle 11:00 alle 18:00 del 5 marzo l'umidità relativa è scesa attorno al 30%, restando bassa anche a ore tarde (46% alle 23:00), quando l'incendio è esploso. In corrispondenza delle prime ore notturne l'intensità della brezza, pur non essendo elevata, è stata sufficiente a sostenere la prima fase di combustione.

Situazioni sinottiche e SSR. La valutazione delle condizioni stagionali e di SSR è la stessa riportata per il precedente caso studio. Le tavole sinottiche non erano disponibili.

In conclusione, l'evento di Corna di Caspai viene intercettato dalla pendenza dell'indice nella settimana prima dell'incendio (livello 1), mentre il livello 2 predice una propagazione per lo più superficiale che si è di fatto concretizzata nell'estesa superficie non boscata percorsa. L'effetto della pendenza ha influito sull'estensione dell'incendio, come per Lavenone, oltre al fatto che, essendo stato innescato alle 21.30, non è stato possibile intervenire fino alla mattina dopo.

Data	T	UR	WS	P	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	DSR
03/03/07	15.6	54	10	0	85.2919	11.6112	224.469	3.63115	20.5632	6.0014	0.64876
04/03/07	17.7	31	11.5	0	89.3959	13.8224	227.359	7.01813	23.9974	11.651	2.09908
05/03/07	16.6	34	4.5	0	89.6699	15.8137	230.051	5.12987	26.9893	9.5854	1.486
06/03/07	13.3	63	3	0	87.0891	16.7219	232.149	3.28609	28.3404	6.6511	0.77821

Tabella 38 Valori degli indici del *FWI System* e degli input meteorologici nei giorni in cui ha avuto luogo l'incendio (in grassetto) e nei due giorni precedenti. T = temperatura (°C), UR = umidità relativa (%), VV = velocità del vento (km h⁻¹), P = precipitazioni (mm)

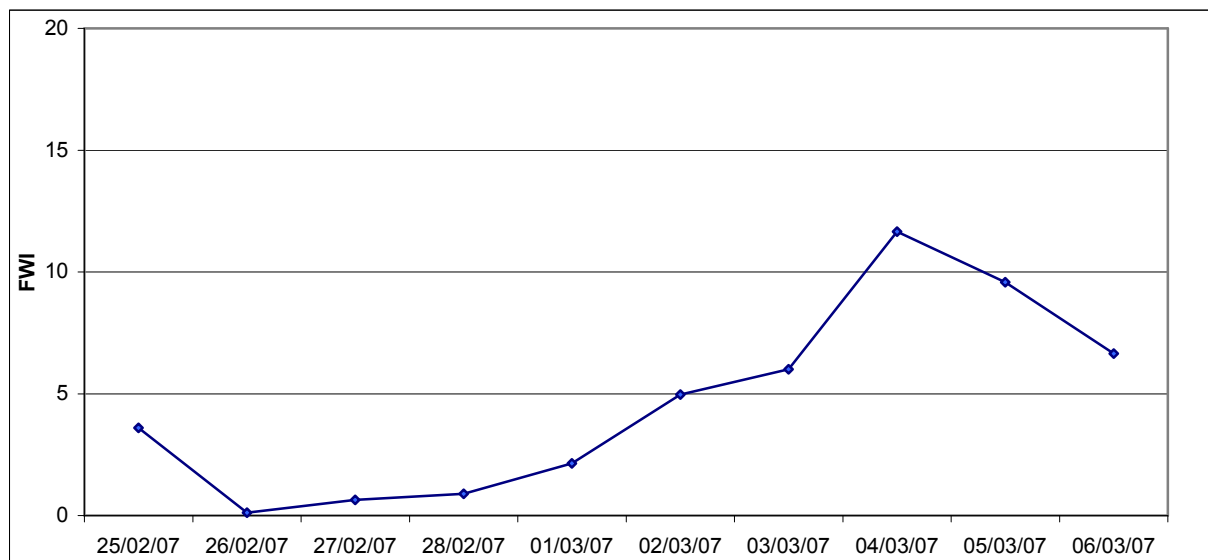


Figura 31 Andamento di *FWI* nei dieci giorni precedenti l'incendio di Corna di Caspai

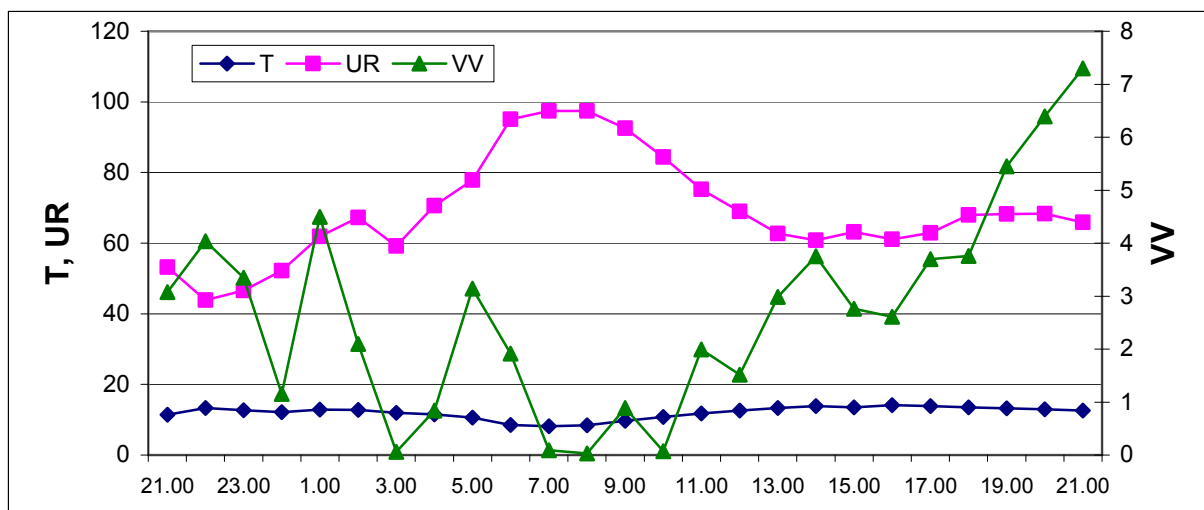


Figura 32 Andamento delle variabili meteorologiche nelle 24 ore successive all'innescio dell'incendio di Corna di Caspai. T = temperatura (°C), UR = umidità relativa (%), VV = velocità del vento (km h⁻¹)

Data	Ora	T	UR	VV	P
05/03/2007	10	12.9493	43.358	2.77776	0
05/03/2007	11	14.7075	37.8029	2.73924	0
05/03/2007	12	16.1115	33.7321	3.18168	0
05/03/2007	13	16.6045	33.6256	4.48236	0
05/03/2007	14	17.5295	31.9576	5.58792	0
05/03/2007	15	17.2302	31.7106	4.29012	0
05/03/2007	16	16.7393	31.8744	3.8772	0
05/03/2007	17	16.763	31.5602	3.75084	0
05/03/2007	18	15.4556	35.1317	2.01852	0
05/03/2007	19	14.1229	40.6627	0.24228	0
05/03/2007	20	11.6155	54.0583	0.01044	0
05/03/2007	21	11.4195	53.2435	3.07332	0
05/03/2007	22	13.2785	43.8863	4.0392	0
05/03/2007	23	12.6662	46.5824	3.34836	0
06/03/2007	0	12.1652	52.1643	1.15632	0
06/03/2007	1	12.9014	61.8947	4.49604	0
06/03/2007	2	12.7784	67.2759	2.09628	0
06/03/2007	3	11.9854	59.2132	0.05832	0
06/03/2007	4	11.5266	70.6365	0.83952	0
06/03/2007	5	10.5717	77.8614	3.14496	0
06/03/2007	6	8.5217	95.0646	1.917	0
06/03/2007	7	8.159	97.4602	0.09216	0
06/03/2007	8	8.4025	97.443	0.02808	0
06/03/2007	9	9.7243	92.4953	0.89028	0
06/03/2007	10	10.7687	84.4231	0.07524	0
06/03/2007	11	11.7626	75.2527	1.99224	0
06/03/2007	12	12.5718	68.9632	1.5138	0
06/03/2007	13	13.2988	62.7467	2.98692	0
06/03/2007	14	13.8482	60.8298	3.75012	0
06/03/2007	15	13.5051	63.1893	2.7612	0
06/03/2007	16	14.1374	61.1157	2.61072	0
06/03/2007	17	13.8352	62.92	3.69828	0

Tabella 39 Dati meteorologici orari dalle ore 10:00 del primo giorno dell'incendio fino alle ore 17:00 del secondo giorno. La tabella simula la previsione a 26 ore che fornisce il bollettino Meteo AIB. T = temperatura (°C), UR = umidità relativa (%), VV = velocità del vento (km h⁻¹), P = precipitazioni (mm)

Incendi in Zona Paludi (Inarzo e Ris. Nat. Biandronno - 30-31/01/1999, Ternate 5/02/1999).

Livello 1. Il valore di *FWI* per i casi presi in esame va da soglie di pericolo basso (30-31 gennaio) a pericolo tra basso e medio (5 febbraio), che sono comunque soglie più alte rispetto ai giorni precedenti (tabella 40 e figura 34). L'andamento dell'indice è crescente, con una pendenza nella prima settimana di gennaio attorno a 1. Per gli incendi di palude è ipotizzabile un futuro aggiustamento delle soglie, poiché essi rappresentano una particolare casistica di combustibile (il canneto) che non abbisogna di condizioni climatiche severe per raggiungere condizioni di estrema disidratazione.

Data	T	UR	WS	P	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	DSR
29/01/99	10.46	58.49	15.46	0.2	82.8736	6.2363	23.7916	3.46275	7.5349	3.08332	0.19959
30/01/99	3.22	55	15.1	0	83.4427	6.4756	24.0752	3.65917	7.7439	3.35161	0.23135
31/01/99	5.92	52.82	6.91	0	84.1088	6.8834	24.8448	2.64484	8.1333	2.26216	0.11537
01/02/99	2.8	64	3.24	0	83.9754	7.0828	25.0528	2.15946	8.2996	1.6427	0.06548
02/02/99	8.1	61	3.96	0	84.0227	7.5925	26.2148	2.25344	8.8077	1.87532	0.08278
03/02/99	11.4	58	2.52	0	84.3736	8.3382	27.9708	2.19678	9.5553	1.93138	0.08721
04/02/99	14.1	61	3.24	0	84.5055	9.1803	30.2128	2.31897	10.4343	2.26288	0.11543
05/02/99	18.6	46	14.04	0	87.1142	10.6914	33.2648	5.75217	11.8563	6.77907	0.8049

Tabella 40 Valori degli indici del *FWI System* e degli input meteorologici nei giorni in cui hanno avuto luogo gli incendi (in grassetto) e nei giorni precedenti. T = temperatura (°C), UR = umidità relativa (%), VV = velocità del vento (km h⁻¹), P = precipitazioni (mm)

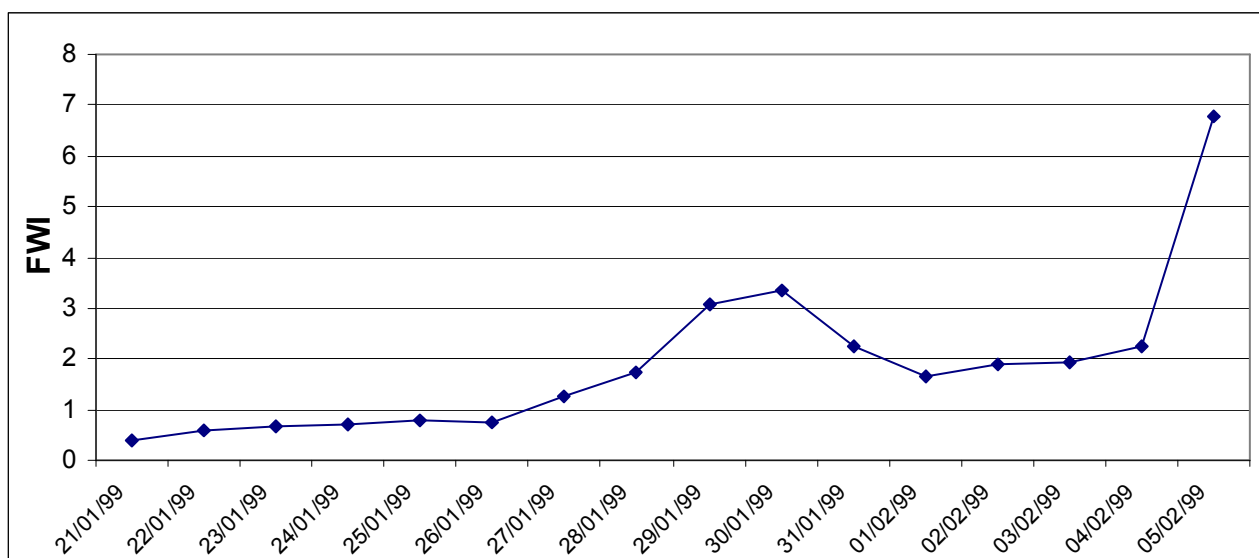


Figura 33 Andamento di *FWI* nei dieci giorni precedenti ciascuno degli eventi occorsi in zona Paludi

Livello 2. Tra gli indici di umidità, solo *FFMC* segnala la disidratazione dei combustibili (corrispondenti in questo caso a vegetazione erbacea alta e canneto). La propagazione di questi incendi è imputabile al fattore combustibile, mentre il vento ha solo la funzione di accelerare il fenomeno.

Livello 3. Gli indici di comportamento non evidenziano intensità di fiamma rilevanti.

Livello 4. Dall'analisi dei parametri meteorologici si osservano temperature di 3°C (eventi di gennaio) e di oltre 18°C per l'incendio di Ternate; il vento spirava da Nord con velocità di circa 15-16 km h⁻¹ e l'umidità relativa si portava su valori attorno al 60%. Il vento ha quindi spinto la propagazione per una superficie estesa.

Situazioni sinottiche e *SSR*. Il valore di *SSR* per 2 e 6 mesi è rispettivamente di 0.07 e 0.18, indicando una stagione precedente decisamente poco severa. Dal mese di ottobre (più di tre mesi prima) si sono verificati solo pochi episodi di precipitazione, di cui uno rilevante di 80 mm. Le tavole sinottiche non erano disponibili.

In conclusione, per questi incendi è importante che il personale operativo monitori l'andamento del vento e i valori di *FFMC* (possibilmente su base oraria). Essendo eventi guidati dalla continuità e dal tipo di combustibile, non sono necessarie condizioni particolarmente severe per sostenerne l'avanzata.

In base a quanto osservato nei casi studio, è stato predisposto uno schema di supporto analitico - decisionale che richiama le lezioni apprese (figura 35), suggerendo le domande che è utile porsi e fornendo alcune risposte.

4.4. CONCLUSIONI

Le prestazioni e le lacune del *FWI System* evidenziate in questo capitolo, rappresentano una valutazione preliminare del sistema che dovrà essere approfondita ricorrendo sia alla verifica delle soglie in uso sia alla predisposizione di un dataset statisticamente significativo che comprenda tutte le zone corrispondenti alle diverse tipologie di eventi straordinari. La metodologia applicata ha prodotto risultati utili alla previsione di questi fenomeni, che non sembrano coincidere sempre con valori elevati di *FWI*. Nella fase di prevenzione, si suggerisce di dedicare una particolare cura nel localizzare le superfici non boscate montane, prossime alle formazioni di conifere. L'innesco di un incendio in questo tipo di vegetazione può determinare situazioni molto critiche anche quando il quadro climatico non appare particolarmente severo.

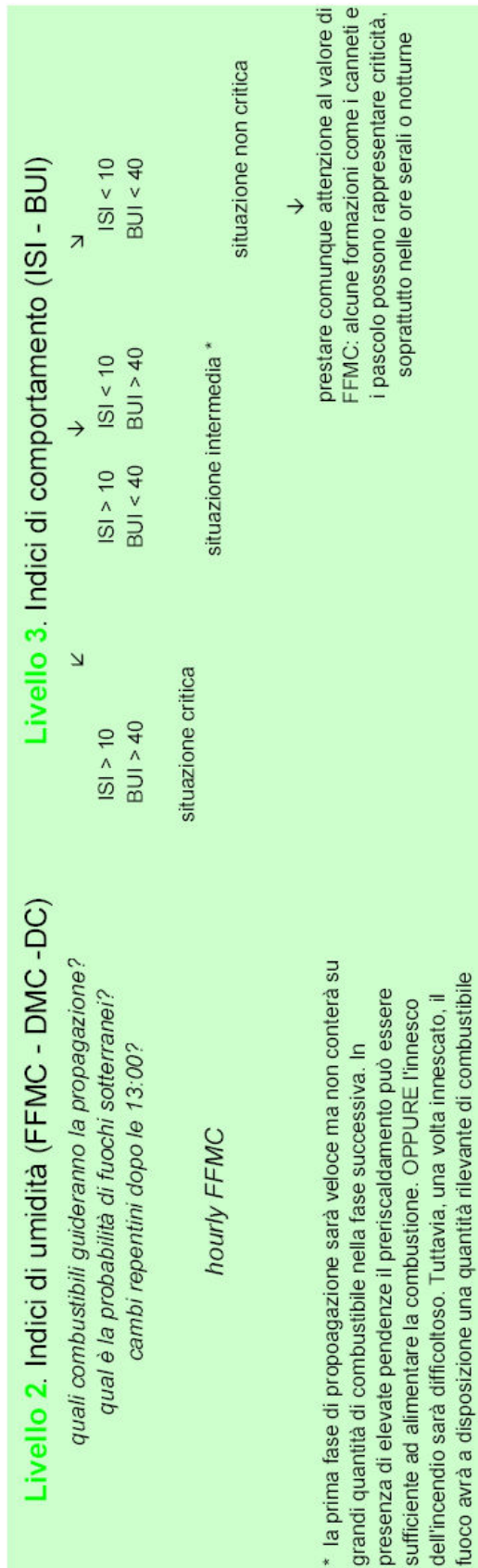
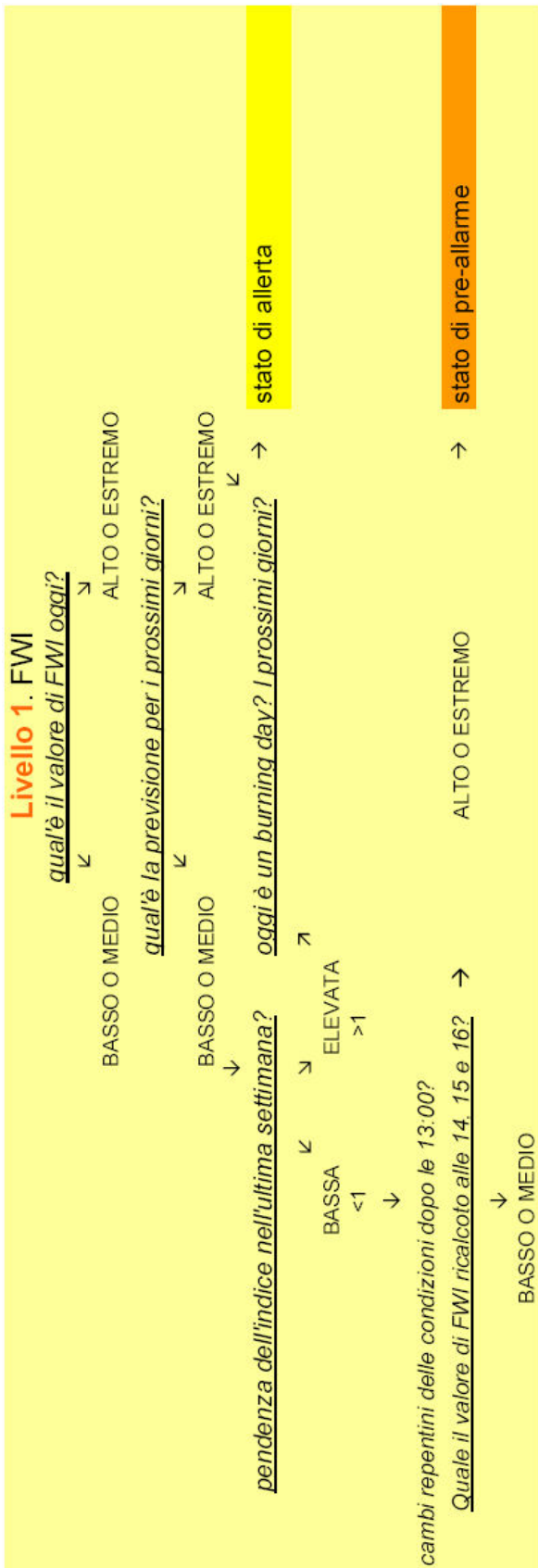


Figura 34 Schema di supporto analitico - decisionale che richiama le lezioni apprese durante l'analisi dei casi studio, suggerendo le domande che è utile porsi e fornendo alcune risposte

5. CONCLUSIONI

Nella Grande Regione Alpina i disturbi ecologici sono più legati al dissesto idrogeologico che agli incendi boschivi. La dinamica del fuoco e la sua gestione sono state indagate solo parzialmente e la specificità di questo fenomeno non è ancora del tutto emersa. Questo studio, unendo una base teorica con avanzamenti di tipo operativo, ha cercato di riempire in parte tale lacuna, affrontando l'applicazione del *Canadian Forest Fire Weather Index System* in alcune regioni nord italiane. L'adeguatezza del sistema canadese trova conferma nella scelta compiuta in ambito europeo per la predisposizione del network *EFFIS*, dopo un periodo di sperimentazione in cui i principali sistemi di calcolo del pericolo sono stati valutati.

Le regioni studiate rappresentavano diversi settori geografici della *GAR* e diversi stadi di implementazione dell'indice canadese, offrendo l'opportunità di avviare un approccio di indagine a più livelli (*multi - scale approach*) e di stabilire una piattaforma di confronto, che giovasse delle esperienze maturate nelle regioni più avanzate.

In Veneto, nell'ambito di applicazione del *Forest Focus* (Reg. CE 2152/2001), sono state seguite le prime fasi di implementazione dell'indice, che prevedevano l'automazione del calcolo e la spazializzazione discreta dei risultati (aree climaticamente omogenee) in relazione alle esigenze dei Servizi Forestali. Il test di *performance* e la calibrazione pilota condotti in Provincia di Verona hanno evidenziato come le soglie di pericolo mutate dalla Valle d'Aosta debbano essere adattate al clima del Veneto. L'esistenza di un gradiente climatico, messa in luce dagli studi condotti nella *GAR*, incide infatti sulla severità degli incendi. Rispetto alla Valle d'Aosta, in Veneto l'assenza di entrate di föen importanti e la vicinanza del mare rendono necessario un abbassamento dei valori soglia relativi alle classi di pericolo più elevate. Si ritiene che la metodologia testata sia adeguata e vada estesa a tutte le aree omogenee, con la possibilità di utilizzare una base stagionale piuttosto che mensile, e cinque gradi di pericolo rispetto ai sette originali della scala valdostana. La seconda fase di implementazione dovrà mirare al perfezionamento del sistema attraverso la predisposizione delle procedure operative (in base agli indici del *CFFWIS*), che richiedono una continua collaborazione con i Servizi Forestali Regionali, e la previsione del pericolo, che necessita di una convenzione con ARPAV per la previsione dei parametri meteorologici di input.

Lo studio svolto in Valle d'Aosta rappresenta un sostanziale avanzamento, anche considerando il livello della ricerca in altri Paesi, allineandosi con gli approfondimenti sul contenuto idrico in formazioni specifiche (*Accessory Fuel Moisture System*) che fanno parte del più ampio *CFFDRS* canadese. I modelli predittivi dell'umidità critica, che sono emersi per gli aghi di pino, potranno

essere inseriti a fianco del calcolo standard dell'indice, all'interno del dispositivo attualmente utilizzato dal Nucleo AIB, e funzionare da campanello d'allarme qualora la severità delle condizioni predisponenti fosse tale da compromettere la sicurezza del personale, soprattutto in occasione di fuochi di chioma in pineta.

In Lombardia, lo schema di valutazione del pericolo per livelli interpretativi, a cui si è pervenuti analizzando i valori del *FWI System* per sei eventi straordinari, è stato mirato alla simulazione del processo conoscitivo per “lezioni apprese”, alla base di tutti i sistemi in cui viene superato lo scollamento tra realtà predetta e verificata sul campo. È risultato, ad esempio, che alcuni eventi straordinari si sono verificati in presenza di situazioni tutt'altro che severe, nelle quali il valore di *FWI* poteva addirittura essere basso. In questi casi la dimensione dell'evento è legata alle elevate pendenze o a combustibili continui come i canneti. Se si vogliono intercettare questi fenomeni bisogna piuttosto osservare quanto rapidamente l'indice varia nel medio periodo, e verificare se sono previsti cambi repentini delle condizioni atmosferiche. Si auspica che lo schema proposto venga testato dai diversi attori del sistema AIB lombardo, dal livello centrale (Regione Lombardia) al livello operativo (DOS, Comandi stazione e volontariato di Protezione Civile), già nella prossima campagna AIB. All'interno di questo schema sono contenute le domande fondamentali che è necessario porsi per agganciare alla previsione del pericolo l'eventuale dichiarazione dello stato di allerta (da parte dell'amministrazione regionale) o per organizzare preventivamente le manovre operative e l'allocazione delle risorse (DOS e strutture operative).

L'adozione di uno strumento comune nelle regioni nord italiane pone le basi per l'ottimizzazione delle singole esperienze e per la definizione di un'identità “alpina” nella gestione degli incendi boschivi. La specificità propria di questi ambienti è legata soprattutto alla stagione di massima pericolosità che coincide con i mesi invernali, durante i quali i combustibili in riposo vegetativo raggiungono la massima disidratazione. La frequente presenza di precipitazioni nevose e gli abbassamenti termici complicano sia il quadro di predizione del comportamento del fuoco sia la strategia di lotta, che si è dovuta spesso scontrare con l'inaccessibilità delle strade e l'acqua ghiacciata nelle vasche. Questo genere di criticità e come affrontarle fa parte delle competenze che devono essere possedute dal personale operativo per ridurre al minimo il numero di incidenti sul lavoro.

Un'ulteriore estensione del sistema all'intero arco alpino, comprendendo anche i Paesi vicini, è auspicabile soprattutto dal punto di vista della cooperazione, e potrà essere favorita dalla recente nascita, in seno al *Global Fire Monitoring Center* di Friburgo, del network regionale Alpino (<http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/globalNet.html>). In questo modo la scala locale e sinottica, rappresentata in questa ricerca dalle regioni nord italiane, verrebbe allargata al livello

regionale – strategico, a fornire una visione d’insieme del fenomeno e a predisporre le giuste misure politiche in ambito europeo e internazionale. Nell’ipotesi che un cambiamento climatico sia in atto, l’area Alpina costituirebbe senza dubbio un elemento di priorità, data la sua importanza nel ciclo dell’acqua, come *biodiversity pool*, e soprattutto rispetto alla sensibilità che gli ecosistemi alpini denotano rispetto al passaggio del fuoco. Mentre l’incendio, di per sé, costituisce un disturbo naturale, un cambiamento nella frequenza e nell’intensità di questo fenomeno, anche dovuto a mutamenti legati alla società, potrebbe avere un impatto molto forte sulle diverse funzioni del bosco. Per questo motivo la gestione del fuoco deve essere incorporata all’interno di una più complessa gestione delle foreste alpine o gestione integrata (Becker *et al.* 2007).

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. 1984. Atti. Convegno Internazionale di studi sui problemi degli incendi boschivi in ambiente mediterraneo, Bari.
- Abbott, K.N.; Alexander, M.E.; MacLean, D.A.; Leblon, B.; Beck, J.A.; Staples, G.C. 2007. Predicting forest floor moisture for burned and unburned *Pinus banksiana* forest in the Canadian Northwest Territories. *Int. J. Wildland Fire* 16(1):71–80.
- Agee JK, Wright CS, Williamson N 2002. Foliar moisture content of Pacific Northwest vegetation and its relation to wildland fire behaviour. *Forest Ecology and Management* (167): 57-66.
- Alexander, M.E. 1983. Tables for determining spring Drought Code starting values in west-central and northern Canada. *Environ. Can., Can. For. Serv., North. For. Res. Cent., Edmonton, AB. For. Manag. Note* 19. 8 p.
- Alexander, M.E.; DeGroot, W.J. 1988. Fire behaviour in jack pine stands as related to the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System. *Can. For. Serv., North For. Cent., Edmonton, AB. Poster (with text)*.
- Alexander, M.E.; Stocks, B.J.; Lawson, B.D. 1996. The Canadian Forest Fire Danger Rating System. *Initial Attack* 1996 (Spring):6–9.
- Alexander, M.E.; St. John, P.; Thorburn, R.W.; Simons, P.; MacMillan, A. 2002. CD-ROM based training course Understanding the Fire Weather Index (FWI) System now available! *In* D.X. Viegas, ed. *Forest fire research and wildland fire safety: Proc. 4th Int. Conf. For. Fire Res./2002 Wildland Fire Saf. Summit*, 18–23 Nov. 2002, Luso-Coimbra, Portugal. Millpress Sci. Publ., Rotterdam, Netherlands. CDROM. 2 p.
- Amiro, B.D.; Logan, K.A.; Wotton, B.M.; Flannigan, M.D.; Todd, J.B.; Stocks, B.J.; Martell, D.L. 2004. The weather of large fires in the Canadian boreal forest. *Int. J. Wildland Fire* 13(4):391–400.
- Anderson, K.R. 2002. A model to predict lightningcaused fire occurrences. *Int. J. Wildland Fire* 11:163–172.
- Andrews, PL. 1980. Testing the fire behavior model. In: Martin, Robert; and others, eds. *Proceedings, sixth conference on fire and forest meteorology*, AMS/SAF; 1980 April 22-24; Seattle, WA. Washington, DC: Society of American Foresters: 70-77.
- Andrews PL., Bradshaw LS. 1996. Interpretation of the National Fire Danger Rating System for Yellowstone National Park. *Symposium on ecological implications of fire in Greater Yellowstone*. 1993 September 19-21:211-216. <http://www.firelab.org/pdf/fbp/pandrews/interp.pdf>.
- Andrews, PL, Bradshaw LS. 1997. FIRES: Fire Information Retrieval and Evaluation System - a program for fire danger rating analysis. *General Technical Report INT-GTR-367*. Ogden, UT; U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 64 p. http://www.fs.fed.us/rm/pubs/int_gtr367/index.html
- Andrews PL., Loftsgaarden DO., Bradshaw LS, 2003 Evaluation of fire danger rating indexes using logistic regression and percentile analysis. *International Journal of Wildland Fire* 12, 213–226.
- Anfodillo T, Rento S, Carraro V, Furlanetto L, Urbinati C, Carrer M, 1998. Tree water relations and climatic variations at the alpine timberline: seasonal changes of sap flux and xylem water potential in *Larix decidua* Miller, *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus cembra* L. *Annales des Sciences Forestières* 55:159–172.
- Anfodillo T, Urbinati C, 2001. Foreste di alta quota i ambiente alpino: fisionomia, ecologia e possibili dinamismi. *Monti e boschi* 3/4: 31-39.

- Arpav (2000). La caratterizzazione climatica della Regione Veneto. Area Ricerca e Informazione, Dipartimento per il sistema informativo e l'Educazione Ambientale.
- Auer I, Böhm R, Jurkovic A, Lipa W, Orlik A, Potzmann R, Schöner W, Ungersböck M, Matulla C, Briffa K, Jones PD, Efthymiadis D, Brunetti M, Nanni T, Maugeri M, Mercalli L, Mestre O, Moisselin J-M, Begert M, Müller-Westermeier G, Kveton V, Bochnicek O, Stastny P, Lapin M, Szalai S, Szentimrey T, Cegnar T, Dolinar M, Gajic-Capka M, Zaninovic K, Majstorovic Z, Nieplova E (2007) HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *Int J Climatol* **27**: 17-46
- Bachman A and Allgower B (1998) Framework for wildfire risk analysis. In '3III International Conference on Forest Fire Research'. Luso, 16-29 November 1998. . (Eds X. Viegas) pp. 2177-2190. (University of Coimbra: ADAI).
- Beall, H.W. 1948. Forest fire danger tables (provisional), 2nd edition revised. Can. Dep. Mines & Resources, Dominion Forest Serv. Forest Fire Res. Note 12. 73 p.
- Beck J. A., Alexander M. E., Harvey S. D., Beaver A. K. (2002) Forecasting diurnal variations in fire intensity to enhance wildland firefighter safety. *International Journal of Wildland Fire* **11**, 173–182.
- Becker, A., C. Körner, J-J. Brun, A. Guisan, and U. Tappeiner. 2007. Ecological and land use studies along altitudinal gradients. *Mountain Research and Development* **27**:158–65.
- Berti, L. (1976). La foresta e il fuoco. Prima, durante e dopo gli incendi boschivi. Roma, Edizioni Mediterranee.
- Böhm R, Auer I, Brunetti M, Maugeri M, Nanni T, Schöner W. 2001. Regional temperature variability in the European Alps: 1760–1998 from homogenized instrumental time series. *International Journal of Climatology* **21**: 1779–1801.
- Bovio G, Quaglino A, Nosenzo A, 1984 - Individuazione di un indice di previsione per il pericolo di incendi boschivi. *Monti e Boschi*. 35, 4: 39-44.
- Bovio, Giovanni; Camia, Andrea. 1997. Fire danger rating and land features in Winter- Spring seasons of Northwestern Italy. Report of Minerve Project, EC-DGXII. 19 p.
- Bovio G., Camia A., 1999, 'Description Eudic software for fire danger indices calculation', interim report to JRC, Computation of meteorological fire danger indices for southern Europe, p. 14.
- Bovio G., Camia A., 2000 – European forest fire danger indices testing. Contract Computation of meteorological fire danger indices for southern Europe. JRC Ispra – Agroselviter.
- Bradshaw, Larry S.; Andrews, Patricia L. 1994. Fire potential assessment during a period of high fire activity in the Northern Rockies: August 1994. Presented at Interior West Fire Council; 1994 November; Coeur d'Alene, ID.
- Brown JK (1982). Fuel and fire behaviour prediction in big sagebrush. Res. Pap. INT-197, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 56 p.
- Byram, G.M. 1959. Combustion of forest fuels. Chapter 3 in K.P. Davis, ed. *Forest Fire: Control and Use*. McGraw-Hill, New York.
- Cameroni L. 2008 I grandi incendi in Regione Lombardia: analisi dei fattori predisponenti e delle caratteristiche comuni. Tesi di laurea specialistica. Università degli Studi di Padova. Facoltà di Agraria. 110 p.
- Camia, A.; Barbosa, P.; Amatulli, G.; San-Miguel-Ayanz, J. 2006. Fire danger rating in the European Forest Fire Information System (EFFIS): current developments. In D.X. Viegas, ed. *Proc. 5th Int. Conf. For.*

- Fire Res., 27–30 Nov. 2006, Figueira da Foz, Portugal. Elsevier B.V., Amsterdam, Netherlands. CD-ROM. 6 p.
- Carrega, P. 1991. A meteorological index of forest fire hazard in Mediterranean France. *Int. J. Wildland Fire* (2): 79-86.
- Castro FX, Tudela A, Sebastia MT (2003). Modelling moisture content to predict fire risk in catatonia (Spain). *Agricultural and Forest Meteorology* 116: 49-59.
- Cesti G, comunicazione personale
- Cesti G (2003). Individuazione delle condizioni dei combustibili in ambito regionale. *Relazione tecnica*. Direzione corpo forestale Valdostano Nucleo antincendi boschivi. Regione Autonoma Valle d'Aosta.
- Cesti G (2004). *Tipologie e comportamenti particolari del fuoco: risvolti nelle operazioni di estinzione*. In: Il fuoco in foresta: ecologia e controllo. Atti del XXXIX corso di cultura in ecologia. Università di Padova pp. 125-173.
- Cesti G., Cerise A., 1992 "Aspetti degli incendi boschivi" Musumeci Ed., Quart (Aosta), p. 295.
- Chapin FS, Matson PA, Mooney HA (2002). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer New York.
- Cheney NP 1968 Predicting fire danger with danger tables. *Australian Forestry*, 32: 71-79
- Chrosiewicz Z (1986). Foliar moisture variation in four coniferous tree species of central Alberta. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 157-162.
- Chuvieco, E. (1999). Measuring changes in landscape pattern from satellite images: Short-term effects of fire on spatial diversity. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 2331–2346.
- Chuvieco E, Salas FJ, Carvacho L, Rodriguez-Silva F (1999), Integrated fire risk mapping. In 'Remote Sensing of Large Wildfires'. (Eds E. Chuvieco) pp. 65-84. (New York: Springer-Verlag).
- Chuvieco E., Pilar Martín and Chris Justice (2003): Proceedings of the 4th International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management: Innovative concepts and methods in fire danger estimation. Ghent University – EARSeL, 233 pages, ISBN: 2-908885-25-5
- Chuvieco, E., Cocero, D., Riaño, D., Martín, P., Martínez-Vega, J., de la Riva, J., et al. (2004). Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. *Remote Sensing of Environment*, 92, 322–331.
- Collins, B. M., Kelly, M., van Wagendon, J. W., & Stephens, S. L. (2007). Spatial patterns of large natural fires in Sierra Nevada wilderness areas. *Landscape Ecology*, 22, 545–557.
- Conedera M, Cesti G, Pezzatti GB, Zumbunent S (2006) Lightning-induced fires in the Alpine region: An increasing problem. *Forest Ecol Manage* 234 (Supp 1): S68 (9 p).
- Corona P, Pompei E, Scarascia Mugnozza G, 2005. Stima probabilistica del tasso di espansione annua e del valore al 1990 della superficie forestale nella Regione Abruzzo. *Forest@* 2 (2): 178-184. [online] URL: <http://www.sisef.it/>
- Cunningham SC (2004). Stomatal sensitivity to vapour pressure deficit of temperature and tropical evergreen rainforest trees in Australia. *Trees* 18: 399-407.
- Deeming, J. E., Lancaster, J. W., Fosberg, M. A., Furman, R. W., and Schroeder, M. J. 1972. National fire-danger rating system. USDA Forest Service Research Paper RM-84.
- De Groot, W.J.; Goldammer, J.G.; Keenan, T.; Brady, M.A.; Lynham, T.J.; Justice, C.J.; Csiszar, I.A.; O'Loughlin, K. 2006. Developing a global early warning system for wildland fire. In D.X. Viegas, ed. Proc. 5th Int. Conf. For. Fire Res., 27–30 Nov. 2006, Figueira da Foz, Portugal. Elsevier B.V., Amsterdam, Netherlands. CD-ROM. 12 p.

- Díaz-Delgado, R., & Pons, X. (2001). Spatial patterns of forest fires in Catalonia (NE Spain) along the period 1975–1995. Analysis of vegetation recovery after fire. *Forest Ecology and Management*, 147, 67–74.
- Drouet J-C, Sol B (1993) Mise au point d'un indice numerique de risque meteorologique d'incendies de forêts. *Forêt Méditerranéenne* 14(2): 155-162.
- Dymond C.C.; Field, R.D.; Roswintiarti, O.; Guswanto. 2005. Using satellite fire detection to calibrate components of the Fire Weather Index System in Malaysia and Indonesia. *Environ. Manag.* 35:426–440.
- Efthymiadis, D., P. D. Jones, K. R. Briffa, R. Böhm, and M. Maugeri (2007), Influence of large-scale atmospheric circulation on climate variability in the Greater Alpine Region of Europe, *J. Geophys. Res.*, 112, D12104, doi:10.1029/2006JD008021. (2007).
- Fiorucci, P., Ratto, C. F., Gaetani, F., Minciardi, R. 2002 Combining dynamic fuel and propagation models to set up a regional fire weather service in Liguria region. Author Affiliation: INFM - DIFI Dipartimento di Fisica, Università degli studi di Genova, Genova, Italy. Editors: Viegas, D. X. Document Title: Forest fire research and wildland fire safety: Proceedings of IV International Conference on Forest Fire Research 2002 Wildland Fire Safety Summit, Luso, Coimbra, Portugal, 18-23 November 2002
- Fiorucci P, G. F., Minciardi R (2004, 19-22 April). An Integrated System for Static and Dynamic Risk Evaluation at a National Level. Second international symposium on fire economics, planning, and policy: a global view, Córdoba, Spain.
- Fiorucci, P., Gaetani, F., Minciardi, R., & Scipioni, A. (2006) RISICO: A system for dynamic wildfire risk assessment in Italy. *Forest Ecology and Management*, 234, S23-S23.
- Forestry Branch, 1957. Forest fire danger tables, 1956. Can. Dep. Northern Aff. Nat. resources, For. Br. Issued separately for following regions: Newfoundland, New Brinswick, Ontario, Manitoba, Alberta East Slope. 14 p.
- Girardin, M.P.; Bergeron, Y.; Tardif, J.C.; Gauthier, S.; Flannigan, M.D.; Mudelsee, M. 2006. A 229-year dendroclimatic-inferred record of forest fire activity for the Boreal Shield of Canada. *Int. J. Wildland Fire* 15:375–388.
- Gonçalves Z.J. and Lourenço L., 1990: "Meteorological index of forest fire risk in the portuguese mainland territory. Proceedings of the International Conference on Forest Fire Research, Coimbra. B07, pp. 1-14.
- Gossow, H., R. Hafellner, F. Kraxner, L. Ziehaus 2005: Waldbrand – Thema oder Tick? *Österr. Forstz.* 116 (8), 14 – 15.
- Gozzini B, Crisci A, Bertini D, Maselli F, Meneguzzo F, Zipoli G, Paniagua S, Perarnaud V, Diepen K van, Boogaard HL, Courault D, Delecolle R (2000). Cooperation and comparison of several interpolation methods of meteorological data (minimum temperature). In: “Dealing on spatialisation” (Gozzini B, Paniagua S eds). EUR 19545, COST 79, European Commission, Luxembourg.
- Grace John, B. F., Nagy Laszlo (2002). "Impacts of Climate Change on the Tree Line. ." *Annals of Botany* 90(4): 537-544, October 2002.
- Grégoire, J. M., Tansey, K., & Silva, J. M. N. (2003). The GBA2000 initiative: Developing a global burned area database from SPOT-VEGETATION imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 1369–1376. Hann, W. J., & Bunnell, D. L. (2001). Fire and land management planning and implementation across multiple scales. *International Journal of Wildland Fire*, 10, 389–403.

- Harrington, J.B.; Flannigan, M.D.; Van Wagner, C.E. 1983. A study of the relation of components of the Fire Weather Index to monthly provincial area burned by wildfire in Canada 1953–80. *Environ. Can., Can. For. Serv., Petawawa Natl. For. Inst., Chalk River, ON. Inf. Rep. PI-X-25.* 65 p.
- Helfman RS, Straub RJ and Deeming JE (1987). *User's guide to AFFIRMS: time-share computerized processing for fire danger rating.* Gen. Tech. Rep. INT-82. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. Various pagination.
- Hirsch, K.G. 1996. Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) system: user's guide. *Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., Northwest Reg., North. For. Cent., Edmonton, AB. Spec. Rep. 7.*
- Hotelling H 1933 Analysis of a complex of statistical variables into principal components *Journal of Educational Psychology*, 24 (7), pp. 498-520.
- <http://antincendioboschivo.files.wordpress.com/2008/07/sistema-antincendio-boschivo-regione-liguria.pdf>
- <http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/globalNet.html>
- <http://www.osmer.fvg.it/>
- <http://www.regione.fvg.it/rafv/export/sites/default/RAFVG/GEN/corpoforestale/allegati/RelazioneIncendi2007.pdf>
- http://www.regione.fvg.it/rafv/export/sites/default/RAFVG/GEN/incendi/allegati/tabelle_incendi.pdf
- <http://www.zamg.ac.at/alp-imp/>
- http://www.zamg.ac.at:80/ALP-IMP/images/alpimp_region.jpg
- <http://www2.corpoforestale.it/web/guest/ilcfs/storiadelcfs>
- <http://www2.corpoforestale.it/web/guest/serviziattivita/antincendioboschivo>
- ICONA, 1993, "Manual de operaciones contra incendios forstales". Madrid. 5.1/65
- Illera P, Fernandez A, Calle A, Casanova JL (1996) Temporal evolution of the NDVI as an indicator of forest fire danger. *International Journal of Remote Sensing* 7, 1093-1105.
- Ingeborg Auer, R. B. A. J., cacute, et al. (2005). "A new instrumental precipitation dataset for the greater alpine region for the period 1800-2002." *International Journal of Climatology* 25(2): 139-166.
- Ingeborg Auer, R. B. A. J. W. L. A. O. R. P. W. S. M. U. C. M. K. B. P. J. D. E. M. B. T. N. M. M. L. (2007). "HISTALP - historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region." *International Journal of Climatology* 27(1): 17-46.
- Kiil, A.D. 1970. Distribution of moisture in spruce-fir duff and its relevance to fire danger rating. *Can. Forest. Serv., Northern Forest Res. Centre Internal Rep. A-34.*
- Kiil, A.D.; Miyagawa, R.S.; Quintilio, D. 1977. Calibration and performance of the Canadian Fire Weather Index in Alberta. *Environ. Can., Can. For. Serv., North. For. Res. Cent., Edmonton, AB. Inf. Rep. NOR-X-173.* 45 p.
- Jia, G. J., Burke, I. C., Goetz, A. F., Kaufmann, M. R., & Kindel, B. C. (2006). Assessing spatial patterns of forest fuel using AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, 102, 318–327.
- Jones HG (1992). Plants and microclimate. *A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Justice C. 2008. The Global Extent of Burning: the scale of the problem or a problem of scale. Power Point Presentation. In: Course on "Hot Topics and Burning Issues: Fire as a Driver of System Processes—Past, Present, and Future". 30 March – 5 April 2008 Wageningen, The Netherlands
- Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Vermote, E. F., Masuoka, E., Wolfe, R. E., Saleous, N., et al. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83, 244–262.

- Kappenberger G, Kerkmann J, 1997: Il tempo in montagna. Manuale di meteorologia alpina. Ed. Zanichelli, Bologna, 255.
- Lavoie, N.; Alexander, M.E.; Macdonald, S.E. 2007. Fire weather and fire danger climatology of the Fort Providence area, Northwest Territories. Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, AB. Inf. Rep. NOR-X-412.
- Lawson, B.D.; Armitage, O.B.; Hoskins, W.D. 1996. Diurnal variation in the Fine Fuel Moisture Code: tables and computer source code. Can. – B.C. Partnership Agreem. For. Resour. Dev.: FRDA II, Can. For. Serv., B.C. Minist. For., Victoria, BC. FRDA Rep. 245. 20 p.
- Lawson, B.D.; Armitage, O.B. 2008. Weather guide for the Canadian Forest Fire Danger Rating System. Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, AB.
- Lee, B.S.; Alexander, M.E.; Hawkes, B.C.; Lynham, T.J.; Stocks, B.J.; Engelfield, P. 2002. Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. Comput. Electron. Agric. 37:185–198.
- López García, M. J., & Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data. *Geocarto International*, 1, 31–37.
- Lozano, F. J., S. Suárez-Seoane, et al. (2008). "A multi-scale approach for modeling fire occurrence probability using satellite data and classification trees: A case study in a mountainous Mediterranean region." *Remote Sensing of Environment* 112(3): 708-719.
- Maracchi G, Meneguzzo F, Crisci A, Barcaioli G., Magno R, Piani F (2004). CNR, Istituto di Biometeorologia. Scenari climatici futuri e supporto alla valutazione degli impatti sull'agricoltura toscana. Rapporto finale.
- Maracchi G, Genesio L, Magno R, Ferrari R, Crisci A, Bottai L (2005). Progetto DesertNet - Programma Interreg III B - MEDOCC - Asse 4 Misura 4, WP A10 - Azione pilota in Toscana "I diagrammi del clima in Toscana". Rapporto Finale Giugno 2005, LaMMA-CRES in collaborazione con il LAMMA, coordinati dal CNR-IBIMET.
- Marzano R, Ceccato R, Wolynski A, Bovio G, 2008. La pianificazione antincendi boschivi nella Provincia Autonoma di Trento: nuovi approcci e sinergie In: Atti 3° Congresso Nazionale di Selvicoltura, Taormina, 16-19 ottobre 2008
- McArthur AG 1966 Forest fire danger meter Mark 6, Australian Forestry, Timber Bur., 8p
- McArthur, A.G. 1967. Fire behavior in eucalypt forests. Australia Forest. Timber Bureau, Forest Res. Inst. Canberra. Leaflet 107.36 p.
- Miralles M (2003) *Anàlisi de la disponibilitat de combustibles davant Grans Incendis Forestals a Tivissa-Vandellòs (Ribera d'Ebre)* Tesi di laurea. Universitat de Lleida (Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària). Lleida. 64 p
- Miralles M, Castellnou M (2002) Analysis of fuel availability meteorological index critical for the occurrence of each pattern of large wildfire in Tivissa (Catalonia). Viegas (ed.). *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. Millpress. Rotterdam. ISBN 90-77017-72-0
- Moisen, G. G., Frescino, T. S., Huang, C., Vogelmann, J. E., & Zhu, Z. (2003). Predictive modeling of forest cover type and tree canopy height in the central rocky mountains of Utah. Proceedings of the 2003 meetings of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Anchorage, AK Electronic edition.
- Morgan, P., C. C. Hardy, et al. (2001). "Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns." *International Journal of Wildland Fire* 10(4): 329-342.

- Muraro, S.J.; Lawson, B.D. 1970. Prediction of duff moisture distribution for prescribed burning. Can. Dep. Fish. For., Pac. For. Res. Cent., Victoria, BC. Inf. Rep. BC-X-46.
- Nelson, R.M. 1964. The National Fire Danger Rating System: Derivation of Spread Index for eastern and southern states. U.S. Forest Serv., Southeastern Forest Exp. Sta., Asheville, NC. Res. Pap. SE-13. 44 p.
- Norum, Rodney A. 1982. Predicting wildfire behavior in black spruce forests in Alaska. Res. Note PNW-401. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Station. 10 p.
- Otway, S.G.; Bork, E.W.; Anderson, K.R.; Alexander, M.E. 2007. Relating changes in duff moisture to the Canadian Forest Fire Weather Index System in *Populus tremuloides* stands in Elk Island National Park. Can. J. For. Res. 37:1987–1998.
- Palmieri S., Inghilesi R., and Siani A.M., 1993: "Un indice meteorologico di rischio per incendi boschivi. Proceedings from "Seminar on fighting forest fires", Tessaloniki.
- Parisien, M.A.; Hirsch, K.G.; Lavoie, S.G.; Todd, J.B.; Kafka, V.G. 2004. Saskatchewan fire regime analysis. Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, AB. Inf. Rep. NOR-X-394.
- Pech, G. 1989. A model to predict the moisture content of reindeer lichen. For. Sci. 35(4):1014– 1028.
- Pignatti S (1995) *Ecologia Vegetale*. UTET, Torino.
- Provincia Autonoma di Bolzano: Centro di Ecologia Alpina. 2004, *Il clima del Trentino*, Report n. 33.
- Pyne, S.J. 1984. Introduction to wildland fire: fire management in the United States. New York: John Wiley and Sons. 445 p.
- Regione Autonoma Valle d'Aosta (1982). *Piano per la prevenzione e lo spegnimento degli incendi boschivi* (L.R. 3 dicembre 1982, n. 85). Servizio Selvicoltura, Difesa e Gestione del Patrimonio Forestale, Assessorato Agricoltura, Foreste e Ambiente naturale.
- Regione Autonoma Valle d'Aosta (2005). *Piano per la prevenzione e lo spegnimento degli incendi boschivi*. Servizio Selvicoltura, Difesa e Gestione del Patrimonio Forestale, Assessorato Agricoltura, Foreste e Ambiente naturale.
- Regione Lombardia 2007 Piano regionale delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva agli incendi boschivi, Revisione anno 2006
- Regione Piemonte 2007 Piano regionale per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi 2007-2010
- Regione Veneto e Università degli Studi di Padova (2007). Realizzazione di un sistema di calcolo dell'indice di pericolo canadese spazializzato per la Regione Veneto. Relazione finale
- Reinhard M, Rebetez M and Schlaepfer R (2005). Recent Climate Change: Rethinking Drought in the Context of Forest Fire Research in Ticino, South of Switzerland, *Theoretical and Applied Climatology*, 2005.
- Rollings, M. G., Keane, R. E., & Parsons, R. A. (2004). Mapping fuels and fire regimes using remote sensing, ecosystem simulation and gradient modeling. *Ecological Applications*, 14, 75–95.
- Rothermel RC (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildlands fuels. *Res. Pap. INT-115*. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p.
- Rothermel, Richard C.; Rinehart, George C. 1983. Field procedures for verification and adjustment of fire behavior calculations. Gen. Tech. Rep. INT-142. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 25 p.

- Rothermel R. C., Wilson R.A., Morris G.A. and Sackett S.S., 1986: "Modelling moisture content of fine dead wildland fuels: input to BEHAVE fire prediction system"; USDA For. Ser. Res. Pap. INT-359. Interm. Res. St., Odgen, Utah. P. 61
- San-Miguel-Ayanz J, 2002 Methodologies for the evaluation of forest fire risk: from long-term (static) to dynamic indices *Il fuoco in foresta: ecologia e controllo a cura di T. Anfodillo e V. Carraro Atti del XXXIX Corso di Cultura in Ecologia, 2002: 117-132*
- San-Miguel-Ayanz J, P. Barbosa, G. Schmuck, G. Libertà 2003 The European Forest Fire Information System (EFFIS) In proceedings 4th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management: Innovative concepts and Methods in Fire Danger Estimation, Ghent - Belgium.
- Sboarina C, Cescatti A (2004). Provincia Autonoma di Bolzano, Centro di Ecologia Alpina. Il clima del Trentino. Report n. 33.
- Schroeder, M.J.; Buck, C.C. 1970. Fire weather: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations. U.S. Dep. Agric., For. Serv., Washington, DC. Agric. Handb. 360.
- Scott JH, Reinhardt E (2001). Assessing Crown Fire Potential by linking models of surface and crown fire behavior. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service Research Paper RMRS-RP-29* pp. 1-66.
- Sebastian Lopez, A., San-Miguel-Ayanz, J. and R. Burgan, 2002, Integration of satellite sensor data, fuel type maps, and meteorological observations for the evaluation of forest fire risk at the pan-European scale, *International Journal of Remote Sensing*, Vol.23, No. 13, pp. 2713-2719.
- Simard AJ, 1968. Relative spread index. Progr. Rep. 2. Can. Dep. For. Rural Develop., Forest Fire Res. Inst., Ottawa
- Skinner, WR; Stocks, BJ; Martell, DL; Bonsal, B; Shabbar, A. 1999. The association between circulations anomalies in the mid-tropospher and area burned by wildland fire in Canada. In: *Theor. Appl. Climatol.* 63:89-105.
- Sol B., 1990: "Estimation du risque météorologique d'incendies de forets dans le Sud-Est de la France"; *Revue Forestière Française*, Nancy. n° spécial, pp. 263-271.
- Stefanuto 2000. Studio di un Indice Meteorologico di Pericolo di Incendio Boschivo. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia Direzione Regionale Delle Foreste. Centro Meteorologico regionale. Centro Servizi Agrometeorologici Per Il Friuli-Venezia Giulia. Cervignano del Friuli, maggio 2000
- Stocks, B.J. 1974. Wildfires and the Fire Weather Index System in Ontario. *Environ. Can., Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, ON. Inf. Rep. O-X-232.* 27 p.
- Stocks, B.J.; Lawson, B.D.; Alexander, M.E.; Van Wagner, C.E.; McAlpine, R.S.; Lynham, T.J.; Dube, D.E. 1989. The Canadian Forest Fire Danger Rating System: an overview. *For. Chron.* 65:450-457.
- Stocks, B. J., Alexander ME, Wotton BM, Stefner CN, Flannigan MD, et al. (2004), Crown fire behaviour in a northern jack pine-black spruce forest, *Can. J. For. Res.*, 34, 1548 -1560, doi:10.1139/X04-054.
- Taylor, S. W. and M. E. Alexander (2006). "Science, technology, and human factors in fire danger rating: the Canadian experience." *International Journal of Wildland Fire* 15(1): 121-135.
- Taylor, S.W.; Pike, R.G.; Alexander, M.E. 1997. Field guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System. *Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, AB. Spec. Rep.* 11.
- Terradas J (1996) *Ecologia del foc* Editorial Proa. Barcelona.
- Tinner W, Ammann B, 2005. Long-term Responses of Mountain Ecosystems to Environmental Changes: Resilience, Adjustment, and Vulnerability. In: U.M. Huber, H. Bugmann and M. Reasoner, Editors,

- Global Change and Mountain Research—an Overview of Current Knowledge, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (2005), pp. 133–144
- Tinner, W., M. Conedera, et al. (2005). "Fire ecology north and south of the Alps since the last ice age." *The Holocene* 15(8): 1214-1226.
- Turner JA, 1966. The stored moisture index: a guide to slash burning. Brit. Columbia Forest Serv. Protection Div. 7p
- Turner, J. A. 1972. The Drought Code component of the Canadian Forest Fire Behavior System. Environ. Can., Can. For. Serv., Ottawa, ON. Publ. 1316.
- Turner, J.A. 1973. A fire load index for British Columbia. Environ. Can., Can. For. Serv., Pac. For. Res. Cent., Victoria, BC. Inf. Rep. BC-X-80. 14 p.
- Turner, J.A.; Lawson, B.D. 1978. Weather in the Canadian Forest Fire Danger Rating System — a user guide to national standard and practices. Environ. Can., Can. For. Serv., Pac. For. Res. Cent., Victoria, BC. Inf. Rep. BC-X-177. 40 p.
- U.S. Forest Service, 1958. Manual for forest fire control. U.S. Forest Serv., Northeastern Forest Fire Protection Comm., Chatham, N.Y.
- Valese E, Lubello D, 2007. Economic estimation of forest fire damage in N-E Italy. In: Proceedings 4th International Wildland Fire Conference, May 14-17, 2007, Sivilla.
- VanNest_and_Alexander (1999). Systems for Rating Fire Danger and Predicting Fire Behavior Used in Canada1. Paper presented at the National Interagency Fire Behavior Workshop, March 1-5, 1999, Phoenix, Arizona.
- Van Wagner CE, 1970. An index to estimate the current moisture content of the forest floor. Can. Dep. Fish. For., Can. For. Serv., Ottawa, ON. Publ. 1288. 23 p.
- Van Wagner, C.E. 1972. A table of diurnal variation in the Fine Fuel Moisture Code. Can. For. Serv., Petawawa For. Exp. Stn., Chalk River, ON. Inf. Rep. PS-X-38. 8 p.
- Van Wagner CE, 1974a, "Structure of the Canadian forest fire weather index," *Can. Dept. Environ.*, vol. 1333, pp. 44
- Van Wagner, CE, 1974b. Effect of duff weight on drying rate. *Can. For. Serv. Si-Mon. Res. Notes* 30(2): 11-12.
- Van Wagner CE, 1974c. A spread index for crown fires in spring. *Canadian Forestry Service. Petawawa. For. Exp. Sta. Info. Rep. PS-X-55*. 12 pp.
- Van Wagner, C.E. 1977. A method of computing fine fuel moisture content throughout the diurnal cycle. *Fish. Environ. Can., Can. For. Serv., Petawawa For. Exp. Stn., Chalk River, ON. Inf. Rep. PS-X-69*. 15 p.
- Van Wagner, C.E. 1985. Drought, timelag and fire danger rating. Pages 178–185 in L.R. Donoghue and R.E. Martin, eds. Proc. 8th Conf. Fire For. Meteorol., 29 Apr.–3 May 1985, Detroit, MI. Soc. Am. For., Bethesda, MD.
- Van Wagner CE, 1987. Government of Canada, Canadian Forestry Service, Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System, *Forestry Technical Report 35*, Ottawa.
- Van Wagner, C.E.; Pickett, T.L. 1985. Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Can. For. Serv., Ottawa, ON. For. Tech. Rep. 33. 18 p.
- Viegas X, 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, 235-246.

- Viegas DX, Oinol J, Viegas MT, Ogaya R (2001). Estimating fine fuel moisture content using meteorologically-based indices. *International Journal of Wildland Fire* 10: 223-240.
- Viney NR (1991) A Review of Fine Fuel Moisture Modelling. *International Journal of Wildland Fire* 1: 215-234.
- Walter, H. & Leith, H. (1960). *Klimadiagramm Weltatlas*. Jena: Fisher-Verlag. 200 Plates.
- Weise DR, Hartford RA, Mahaffey L (1998). Assessing Live fuel moisture for fire, management applications. *Tall Timbers Fire Ecology Conference Proceedings*, N° 20. pp 49-55.
- Wotton, B.M.; Martell, D.L. 2005. A lightning fire occurrence model for Ontario. *Can. J. For. Res.* 35:1389–1401.
- Wotton, B.M.; Stocks, B.J.; Martell, D.L. 2005. An index for tracking sheltered forest floor moisture within the Canadian Forest Fire Weather Index System. *Int. J. Wildland Fire* 14(2): 169–182. The Publication
- Wright, J.G .1937. Preliminary improved fire hazard index tables for pine forests at Petawawa Forest Experiment Station. Can. Dep. Mines Resources, Dominion Forest Serv.

ALLEGATO I. ALGORITMI E SCHEMA DI CALCOLO DEL *FIRE WEATHER INDEX*

Gli algoritmi e i passaggi da seguire per il calcolo di *FWI* vengono espone nel dettaglio all'interno del riquadro seguente.

1. Quando comincio a calcolare l'indice?

Trattandosi di un indice cumulato rispetto al valore del giorno precedente, si dovranno impostare le CONDIZIONI INIZIALI, ovvero i valori di *FFMC*, *DMC* e *DC* del giorno precedente rispetto al giorno in cui l'indice viene calcolato (*FFMCOLD*, *DMCOLD*, *DCOLD*), rispettivamente di 85, 6, 15 se sono trascorsi tre giorni senza neve al suolo o se è il terzo giorno consecutivo in cui sono state registrate temperature alle 13:00 superiori a 12 °C. Dal secondo giorno useremo valori calcolati!

2. Qual'era il tasso di umidità minimo wm_0 (combustibili fini) di ieri?

$$wm_0 = 147.2 * \frac{101 - FFMCOLD}{59.5 + FFMCOLD}$$

3. Qual è il tasso di umidità minimo wm_{01} (combustibili fini) di oggi?

Definita la pioggia effettiva *ra* come:

$$ra = RAIN - 0.5$$

wm_{01} potrà assumere tre diversi valori a seconda del valore assunto da wm_0 :

▪ CASO 1. $wm_0 \leq 150$

$$wm_{01} = wm_0 + 42.5 * ra * e^{\frac{-100}{251 - wm_0}} * \left(1 - e^{\frac{-6.93}{ra}} \right)$$

▪ CASO 2. $wm_0 > 150$

$$wm_{01} = wm_0 + \left[0.0015 * (wm_0 - 150) * (wm_0 - 150) * \sqrt{ra} \right] + 42.5 * ra * e^{\frac{-100}{251 - wm_0}} * \left(1 - e^{\frac{-6.93}{ra}} \right)$$

▪ CASO 3. $wm_0 > 250$

$$wm_{01} = 250$$

4. Qual è il tasso di umidità *wm* di oggi dei combustibili fini?

Il calcolo del contenuto idrico odierno passa attraverso il calcolo dei contenuti idrici di equilibrio sia nella fase di disidratazione (*drying rate*) sia nella fase di idratazione (*wetting rate*), denominati rispettivamente *ed* e *ew*, che definiscono quale algoritmo di calcolo utilizzare:

$$ed = 0.942 * RH^{0.679} + \left(11 * e^{\frac{RH-100}{10}} \right) + 0.18 * (21.1 - T) * \left(1 - \frac{1}{e^{RH*0.115}} \right)$$

$$ew = 0.618 * RH^{0.753} + \left(10 * e^{\frac{RH-100}{10}} \right) + 0.942 * RH^{0.679} + \left(11 * e^{\frac{RH-100}{10}} \right) + 0.18 * (21.1 - T) * \left(1 - \frac{1}{e^{RH*0.115}} \right)$$

dove

RH = umidità relativa

T = temperatura dell'aria.

▪ CASO 1. $wm_{01} < ed$ e $wm_{01} < ew$

$$wm = ew - \frac{(ew - wm_{01})}{10^x}$$

dove

$$x = z * 0.581 * e^{0.0365 * T}$$

$$z = 0.424 * \left[1 - \left(\frac{100 - RH}{100} \right)^{1.7} \right] + 0.0694 * \sqrt{WS} * \left[1 - \left(\frac{100 - RH}{100} \right)^8 \right]$$

WS = velocità del vento.

▪ CASO 2. $wm_{01} > ed$

$$wm = ed - \frac{(wm_{01} - ed)}{10^x}$$

dove

$$x = z * 0.581 * e^{0.0365 * T}$$

$$z = 0.424 * \left[1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^{1.7} \right] + 0.0694 * \sqrt{WS} * \left[1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^8 \right]$$

▪ CASO 3. altri casi

$$wm = wm_{01}$$

5. Calcolo della prima componente FFMC.

$$FFMC = 59.5 * \frac{250 - wm}{147.2 + wm}$$

6. Come influisce il drying rate sulla seconda componente DMC? Calcolo di rk.

$$rk = 1.894 * (T + 1.1) * (100 - RH) * elmon * 0.0001$$

dove

elmon = fattore legato al mese

7. Come influisce il wetting rate sulla seconda componente DMC? Calcolo di pr.

- Se le precipitazioni non superano gli 1.5 mm

$$pr = DMCOLD$$

- Se le precipitazioni superano gli 1.5 mm

$$pr = 43.43 * [5.6348 - \log(wmr - 20)]$$

dove

$$wmr = wmi + \frac{1000 * rw}{48.77 + b * rw}$$

$$wmi = 20 + \frac{280}{e^{0.023 * DMCOLD}}$$

$$rw = 0.92 * (ra - 1.27)$$

Il coefficiente *b* dipende dal valore assunto da *DMCOLD* (valore di ieri della componente *DMC*):

- Se *DMCOLD* ≤ 33 allora

$$b = \frac{100}{0.5 + (0.3 * DMCOLD)}$$

- Se *DMCOLD* ≤ 65 allora

$$b = 14 - (1.3 * \log DMCOLD)$$

- Se *DMCOLD* > 65 allora

$$b = (6.2 * \log DMCOLD) - 17.2$$

8. Calcolo della seconda componente DMC.

$$DMC = pr + rk$$

9. Come influisce il drying rate sulla terza componente DC? Calcolo di pe.

$$pe = \frac{0.36 * (T + 2.8) + flmon}{2}$$

dove

flmon = *seasonal daylength* o lunghezza del giorno legata al mese

10. Come influisce il wetting rate sulla terza componente DC? Calcolo di dr.

- Se le precipitazioni non superano i 2.8 mm

$$dr = DMCOLD$$

- Se le precipitazioni superano i 2.8 mm

$$dr = DMCOLD - 400 * \log\left(1 + \frac{3.937 * rw}{smi}\right)$$

dove

$$smi = 800 * e^{\frac{-DCOLD}{400}}$$

$$rw = 0.83 * (ra - 1.27)$$

ra = precipitazioni

11. Calcolo della terza componente DC.

$$DC = dr + pe$$

12. Calcolo della quarta componente *ISI*.

$$ISI = sf * e^{0.05039 * WS}$$

dove

$$sf = 19.115 * e^{-0.1386 * fm} * \left(1 + \frac{fm^{5.31}}{4.93 * 10^7}\right)$$

$$fm = 147.2 * \frac{101 - FFMC}{59.5 + FFMC}$$

13. Calcolo della quinta componente *BUI*.

$$BUI = 0 \quad \text{se } DMC = 0 \text{ e } DC = 0$$

$$BUI = 0.8 * DC * \frac{DMC}{DMC + (0.4 * DC)} \quad \text{negli altri casi}$$

Se il valore di *BUI* è inferiore rispetto al valore di *DMC*, allora:

$$BUI = DMC - (cc * p)$$

dove

$$cc = 0.92 + (0.0114 * DMC)^{1.7}$$

$$p = \frac{DMC - BUI}{DMC}$$

14. Calcolo di *FWI*.

$$FWI = e^{2.72 * (0.434 * \log(bb))^{0.647}}$$

$$bb = 0.1 * ISI * \frac{1000}{25 + \frac{108.64}{e^{0.023 * BUI}}} \quad \text{se } BUI > 80$$

$$bb = 0.1 * ISI * [(0.626 * BUI^{0.809}) + 2] \quad \text{se } BUI < 80$$

Nel caso in cui *bb* assuma valori inferiori o uguali ad 1, allora:

$$FWI = bb$$

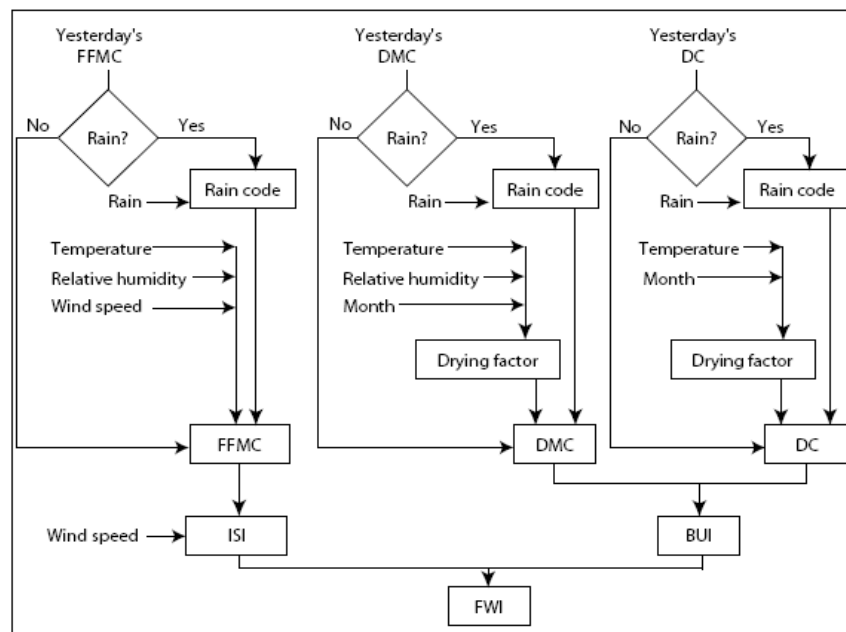


Figura 35 Diagramma schematico per il calcolo delle sei componenti del Canadian Forest Fire Weather Index System. *FFMC* = Fine Fuel Moisture Code, *DMC* = Duff Moisture Code, *DC* = Drought Code, *ISI* = Initial Spread Index, *BUI* = Buildup Index, *FWI* = Fire Weather Index. Lawson e Armitage 2008

ALLEGATO II. COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE CALCOLATI UTILIZZANDO IL DATASET NEVE0 (AZZERAMENTO DEI VALORI DEGLI INDICI DEL CFFWI IN PRESENZA DI NEVE AL SUOLO)

CORRELAZIONI TRA VPD E I CONTENUTI IDRICI³

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 75		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 75	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	0.24*	*	0.32*	**	0.34*	**	0.22*	*
	<i>OmbrA</i>	0.29	**	0.31	**	0.39*	***		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.29	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.63	***	0.47	***	0.43	***		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							0.43	***
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							0.37	**

Tab. 41 - Correlazioni tra VPD e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 49		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 48	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.		n.s.	-0.38	**	-0.33	*
	<i>OmbrA</i>		n.s.		n.s.	-0.30	*	-0.36	*
	<i>SolV</i>	-0.29	*	-0.46*	***	-0.51	***	-0.35	*
	<i>OmbrV</i>	-0.31	*	-0.29*	*	-0.36	**	-0.42	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.44	***		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 42 - Correlazioni tra VPD e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.45*	**	-0.62*	***	-0.73*	***	-0.62*	***
	<i>OmbrA</i>	-0.46*	**	-0.57*	***	-0.66*	***	-0.58*	***
	<i>SolV</i>	-0.46*	**	-0.57*	***	-0.81*	***	-0.62*	***
	<i>Ombr</i>	-0.52	***	-0.44*	**	-0.71	***	-0.61	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.51	***		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 43 - Correlazioni tra VPD e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC. * = coefficiente di correlazione di Pearson

³ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA GRADO_FWI E I CONTENUTI IDRICI⁴

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 75		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 75	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	
	<i>OmbrA</i>	n.s.		0.23 *		n.s.		n.s.	
	<i>SolV</i>	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	
	<i>OmbrV</i>	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.34 **		0.28 *		0.23 *			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	n.s.							
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 44 - Correlazioni tra GRADO_FWI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 49		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 48	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.26 *		-0.33 *		-0.40 **		-0.34 *	
	<i>OmbrA</i>	n.s.		n.s.		n.s.		-0.40 **	
	<i>SolV</i>	-0.34 **		-0.52 ***		-0.53 ***		-0.40 **	
	<i>OmbrV</i>	n.s.		-0.42 **		-0.37 **		-0.44 **	
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		n.s.		n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	n.s.							
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab.45 - Correlazioni tra GRADO_FWI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.46 **		-0.63 ***		-0.71 ***		-0.57 ***	
	<i>OmbrA</i>	-0.44 **		-0.65 ***		-0.54 ***		-0.51 ***	
	<i>SolV</i>	-0.52 ***		-0.72 ***		-0.76 ***		-0.64 ***	
	<i>OmbrV</i>	-0.43 **		-0.64 ***		-0.68 ***		-0.58 ***	
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		n.s.		n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.34 *							
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 46 - Correlazioni tra GRADO_FWI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC. * = coefficiente di correlazione di Pearson

⁴ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA *FFMC* E I CONTENUTI IDRICI⁵

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 75		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 75	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	0.24	*		n.s.		n.s.
	<i>OmbrA</i>	0.24	*	0.25	*	0.23	*		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.24	*
	<i>OmbrV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.26	*
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.47	***	0.31	**	0.27	*		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 47 - Correlazioni tra *FFMC* e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale *ANNO*. * = coefficiente di correlazione di *Pearson*

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 49		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 48	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	-0.37	**	-0.38	**	-0.38	**
	<i>OmbrA</i>		n.s.	-0.31	*		n.s.	-0.41	**
	<i>SolV</i>	-0.27	*	-0.48	***	-0.51	***	-0.42	**
	<i>OmbrV</i>		n.s.	-0.38	**	-0.34	**	-0.42	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 48 - Correlazioni tra *FFMC* e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale *NO_STAGVEG*. * = coefficiente di correlazione di *Pearson*

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.41	**	-0.53	***	-0.62	***	-0.48	**
	<i>OmbrA</i>	-0.32	*	-0.53	***	-0.43	**	-0.38	*
	<i>SolV</i>	-0.45	**	-0.60	***	-0.68	***	-0.55	***
	<i>OmbrV</i>	-0.35	*	-0.48	**	-0.60	***	-0.46	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 49 - Correlazioni tra *FFMC* e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale *STAG_INC*. * = coefficiente di correlazione di *Pearson*

⁵ Orizzonti temporali considerati: *ANNO* = da gennaio a dicembre; *NO_STAGVEG* = da metà settembre a novembre; *STAG_INC* = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA DMC E I CONTENUTI IDRICI ⁶

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 75		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 75	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrA</i>	0.25	*		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.29	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.38	***	0.26	*	0.33	**		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 50 - Correlazioni tra DMC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 49		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 48	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.27	*		n.s.	-0.26	*	-0.34	*
	<i>OmbrA</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.44	**
	<i>SolV</i>	-0.33	*	-0.42	**	-0.39	**	-0.38	**
	<i>OmbrV</i>		n.s.	-0.41	**	-0.27	*	-0.50	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.27	*						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 51 - Correlazioni tra DMC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.64	***	-0.67	***	-0.66	***	-0.61	***
	<i>OmbrA</i>	-0.58	***	-0.68	***	-0.50	***	-0.65	***
	<i>SolV</i>	-0.62	***	-0.69	***	-0.68	***	-0.68	***
	<i>OmbrV</i>	-0.53	***	-0.71	***	-0.62	***	-0.72	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.44	**						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 52 - Correlazioni tra DMC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC. * = coefficiente di correlazione di Pearson

⁶ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA DC E I CONTENUTI IDRICI ⁷

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 75		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 75	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	0.38	***	0.27	*	0.33	**		n.s.
	<i>OmbrA</i>	0.45	***	0.32	**	0.39	***		n.s.
	<i>SolV</i>	0.25	*		n.s.	0.36	***		n.s.
	<i>OmbrV</i>	0.27	*		n.s.	0.37	***		n.s.
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 53 - Correlazioni tra DC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 49		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 48	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrA</i>		n.s.		n.s.	0.29	*		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrV</i>		n.s.		n.s.	0.26	*		n.s.
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								-0.30 *
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 54 - Correlazioni tra DC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.39	*	-0.35	*	-0.34	*	-0.43	**
	<i>OmbrA</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.57	***
	<i>SolV</i>	-0.40	*	-0.32	*		n.s.	-0.47	**
	<i>OmbrV</i>		n.s.	-0.38	*		n.s.	-0.56	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.	-0.33	*		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		-0.51 ***						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								-0.34 *
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 55 - Correlazioni tra DC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC. * = coefficiente di correlazione di Pearson

⁷ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA ISI E I CONTENUTI IDRICI⁸

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 75		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 75	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	0.23	*		n.s.		n.s.
	<i>OmbrA</i>		n.s.	0.21	*		n.s.		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.31	**
	<i>OmbrV</i>	-0.23	*		n.s.		n.s.	-0.32	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.44	***	0.33	**	0.33	**		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 56 - Correlazioni tra ISI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO.

* = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 49		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 48	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	-0.41	**	-0.50	***	-0.40	**
	<i>OmbrA</i>		n.s.	-0.36	**	-0.33	*	-0.38	**
	<i>SolV</i>	-0.34	*	-0.53	***	-0.62	***	-0.46	***
	<i>OmbrV</i>		n.s.	-0.47	***	-0.61	***	-0.41	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 57 - Correlazioni tra ISI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.41	**	-0.62	***	-0.72	***	-0.55	***
	<i>OmbrA</i>	-0.35	*	-0.61	***	-0.54	***	-0.44	**
	<i>SolV</i>	-0.47	**	-0.69	***	-0.77	***	-0.62	***
	<i>OmbrV</i>	-0.38	*	-0.58	***	-0.70	***	-0.51	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 58 - Correlazioni tra ISI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC. * = coefficiente di correlazione di Pearson

⁸ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA BUI E I CONTENUTI IDRICI⁹

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 75		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 75	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	0.26	*	0.25	*	0.23	*		n.s.
	<i>OmbrA</i>	0.31	**	0.28	*	0.29	**		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrV</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.33	**	0.27	*	0.32	**		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 59 - Correlazioni tra BUI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 49		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 48	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrA</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.34	*
	<i>SolV</i>		n.s.	-0.32	*	-0.27	*		n.s.
	<i>OmbrV</i>		n.s.	-0.33	*		n.s.	-0.39	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							-0.29	*
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 60 - Correlazioni tra BUI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.62	***	-0.62	***	-0.62	***	-0.61	***
	<i>OmbrA</i>	-0.56	***	-0.62	***	-0.45	**	-0.67	***
	<i>SolV</i>	-0.60	***	-0.63	***	-0.63	***	-0.64	***
	<i>OmbrV</i>	-0.50	**	-0.68	***	-0.56	***	-0.70	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		-0.48	**					
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 61 - Correlazioni tra BUI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC. * = coefficiente di correlazione di Pearson

⁹ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA DSR E I CONTENUTI IDRICI¹⁰

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 75		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 75	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	0.25	*		n.s.		n.s.
	<i>OmbrA</i>	0.25	*	0.25	*		n.s.		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.24	*
	<i>OmbrV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.31	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.41	***	0.36	**	0.36	***		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 62 - Correlazioni tra DSR e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 49		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 48	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	-0.37	**	-0.43	***	-0.42	**
	<i>OmbrA</i>		n.s.	-0.39	**	-0.29	*	-0.48	***
	<i>SolV</i>	-0.33	*	-0.53	***	-0.55	***	-0.46	***
	<i>OmbrV</i>		n.s.	-0.47	***	-0.39	**	-0.52	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 63 - Correlazioni tra DSR e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.51	***	-0.69	***	-0.79	***	-0.65	***
	<i>OmbrA</i>	-0.50	**	-0.71	***	-0.62	***	-0.60	***
	<i>SolV</i>	-0.54	***	-0.75	***	-0.82	***	-0.72	***
	<i>OmbrV</i>	-0.45	**	-0.69	***	-0.75	***	-0.68	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.37	*						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 64 - Correlazioni tra DSR e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC. * = coefficiente di correlazione di Pearson

¹⁰ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

ALLEGATO IIb. COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE CALCOLATI UTILIZZANDO IL DATASET NEVEI (CONVERSIONE DELLA NEVE AL SUOLO IN ACQUA PIOVANA PER IL CALCOLO DEGLI INDICI DEL CFFWI)

CORRELAZIONI TRA VPD E I CONTENUTI IDRICI¹¹

Dataset: tutto l'anno

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 86		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 86	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	0.24	*	0.41	***	0.34	**	0.39	***
	<i>OmbrA</i>	0.28	**	0.40	***	0.30	**		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.27	*
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.61	***	0.49	***	0.43	***		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							0.42	***
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							0.30	**

Tab. 65 - Correlazioni tra VPD e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 56		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 56	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	-0.28*	*	-0.38	**	-0.35	**
	<i>OmbrA</i>		n.s.		n.s.	-0.30	*	-0.36	**
	<i>SolV</i>	-0.28	*	-0.54*	***	-0.51	***	-0.33	*
	<i>OmbrV</i>	-0.28	*	-0.36*	**	-0.36	**	-0.40	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.40	**		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 66 - Correlazioni tra VPD e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG. * = coefficiente di correlazione di Pearson

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.45	**	-0.63*	***	-0.73	***	-0.61	***
	<i>OmbrA</i>	-0.46	**	-0.58*	***	-0.66	***	-0.56	***
	<i>SolV</i>	-0.46	**	-0.72	***	-0.81	***	-0.61	***
	<i>OmbrV</i>	-0.53	***	-0.56*	***	-0.71	***	-0.61	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.51	***		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 67 - Correlazioni tra VPD e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC. * = coefficiente di correlazione di Pearson

¹¹ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA GRADO_FWI E I CONTENUTI IDRICI¹²

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 86		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 86	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	
	<i>OmbrA</i>	n.s.		0.22	*	n.s.		n.s.	
	<i>SolV</i>	n.s.		n.s.		n.s.		-0.25	*
	<i>OmbrV</i>	n.s.		n.s.		n.s.		-0.30	*
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.29	**	n.s.		0.22	*		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	n.s.							
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 68 - Correlazioni tra GRADO_FWI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO.

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 56		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 56	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	n.s.		-0.32	*	-0.43	***	-0.43	***
	<i>OmbrA</i>	n.s.		-0.26	*	-0.29	*	-0.44	***
	<i>SolV</i>	-0.33	*	-0.48	***	-0.54	***	-0.46	***
	<i>OmbrV</i>	n.s.		-0.43	***	-0.38	**	-0.47	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		n.s.		n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.27	*						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 69 - Correlazioni tra GRADO_FWI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG.

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.36	*	-0.61	***	-0.72	***	-0.56	***
	<i>OmbrA</i>	-0.43	**	-0.64	***	-0.56	***	-0.50	***
	<i>SolV</i>	-0.43	**	-0.69	***	-0.75	***	-0.60	***
	<i>OmbrV</i>	-0.44	**	-0.64	***	-0.68	***	-0.58	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		n.s.		n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.35	*						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 70 - Correlazioni tra GRADO_FWI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC.

¹² Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA *FFMC* E I CONTENUTI IDRICI¹³

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 86		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 86	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	n.s.		0.24	*	n.s.		n.s.	
	<i>OmbrA</i>	n.s.		0.23	*	n.s.		n.s.	
	<i>SolV</i>	n.s.			n.s.	n.s.		-0.26	*
	<i>OmbrV</i>	-0.23	*		n.s.	n.s.		-0.29	*
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.38	***	0.25	*	0.26	*		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	n.s.							
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 71 - Correlazioni tra *FFMC* e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale *ANNO*.

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 56		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 56	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	n.s.		-0.31	*	-0.38	**	-0.42	**
	<i>OmbrA</i>	n.s.		-0.29	*	-0.30	*	-0.43	***
	<i>SolV</i>	-0.28	*	-0.41	**	-0.55	***	-0.43	***
	<i>OmbrV</i>	-0.28	*	-0.35	**	-0.38	**	-0.41	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		n.s.		n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	n.s.							
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 72 - Correlazioni tra *FFMC* e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale *NO_STAGVEG*.

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	n.s.		-0.52	***	-0.68	***	-0.50	**
	<i>OmbrA</i>	-0.37	*	-0.56	***	-0.53	***	-0.42	**
	<i>SolV</i>	-0.35	*	-0.59	***	-0.70	***	-0.50	***
	<i>OmbrV</i>	-0.42	**	-0.48	**	-0.64	***	-0.46	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		n.s.		n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	n.s.							
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 73 - Correlazioni tra *FFMC* e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale *STAG_INC*.

¹³ Orizzonti temporali considerati: *ANNO* = da gennaio a dicembre; *NO_STAGVEG* = da metà settembre a novembre; *STAG_INC* = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA DMC E I CONTENUTI IDRICI¹⁴

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 86		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 86	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	n.s.		0.21	*	n.s.		n.s.	
	<i>OmbrA</i>	n.s.		0.21	*	n.s.		n.s.	
	<i>SolV</i>	n.s.			n.s.	n.s.		-0.25	*
	<i>OmbrV</i>	n.s.			n.s.	n.s.		-0.34	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.34	**		n.s.	0.32	**		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 74 - Correlazioni tra DMC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO.

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 56		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 56	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.34	**		n.s.	-0.28	*	-0.40	**
	<i>OmbrA</i>	-0.31	*		n.s.		n.s.	-0.45	***
	<i>SolV</i>	-0.41	**	-0.40	**	-0.38	**	-0.43	***
	<i>OmbrV</i>	-0.33	*	-0.41	**	-0.29	*	-0.53	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.42	**						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 75 - Correlazioni tra DMC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG.

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.63	***	-0.65	***	-0.69	***	-0.63	***
	<i>OmbrA</i>	-0.70	***	-0.67	***	-0.56	***	-0.67	***
	<i>SolV</i>	-0.64	***	-0.66	***	-0.67	***	-0.67	***
	<i>OmbrV</i>	-0.66	***	-0.70	***	-0.65	***	-0.74	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.	-0.33	*		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.59	***						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 76 - Correlazioni tra DMC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC.

¹⁴ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA DC E I CONTENUTI IDRICI ¹⁵

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 86		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 86	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	0.39	***	0.34	**	0.32	**		n.s.
	<i>OmbrA</i>	0.44	***	0.38	***	0.38	***		n.s.
	<i>SolV</i>	0.28	**	0.26	*	0.38	***		n.s.
	<i>OmbrV</i>	0.28	**	0.26	*	0.36	***		n.s.
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 77 - Correlazioni tra DC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO.

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 56		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 56	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrA</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrV</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								-0.27 *
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 78 - Correlazioni tra DC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG.

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.33	*	-0.34	*		n.s.	-0.45	**
	<i>OmbrA</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.59	***
	<i>SolV</i>	-0.38	*		n.s.		n.s.	-0.43	**
	<i>OmbrV</i>		n.s.	-0.37	*		n.s.	-0.60	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.	-0.34	*	0.31	*		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.72	***						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								-0.33 *
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 79 - Correlazioni tra DC e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC.

¹⁵ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA ISI E I CONTENUTI IDRICI ¹⁶

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 86		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 86	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	n.s.		0.22	*	n.s.		n.s.	
	<i>OmbrA</i>	n.s.			n.s.	n.s.		n.s.	
	<i>SolV</i>	n.s.			n.s.	n.s.		-0.30	**
	<i>OmbrV</i>	-0.30	**	-0.22	*	n.s.		-0.34	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.35	***	0.31	**	0.32	**		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	n.s.							
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 80 - Correlazioni tra ISI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO.

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 56		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 56	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.26	*	-0.43	***	-0.55	***	-0.47	***
	<i>OmbrA</i>	-0.29	*	-0.40	**	-0.41	**	-0.46	***
	<i>SolV</i>	-0.38	**	-0.54	***	-0.66	***	-0.48	***
	<i>OmbrV</i>	-0.37	**	-0.49	***	-0.46	***	-0.46	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		n.s.		n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.29	*						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 81 - Correlazioni tra ISI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG.

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	n.s.		-0.64	***	-0.79	***	-0.58	***
	<i>OmbrA</i>	-0.42	**	-0.66	***	-0.64	***	-0.48	**
	<i>SolV</i>	-0.41	**	-0.70	***	-0.81	***	-0.60	***
	<i>OmbrV</i>	-0.45	**	-0.61	***	-0.72	***	-0.53	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	n.s.		n.s.		n.s.			
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	n.s.							
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>							n.s.	
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>							n.s.	

Tab. 82 - Correlazioni tra ISI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC.

¹⁶ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA BUI E I CONTENUTI IDRICI¹⁷

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 86		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 86	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	0.24	*	0.29	**	0.23	*		n.s.
	<i>OmbrA</i>	0.27	*	0.30	**	0.28	**		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	<i>OmbrV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.23	*
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.29	**		n.s.	0.32	**		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 83 - Correlazioni tra BUI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO.

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 56		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 56	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.31	*
	<i>OmbrA</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.38	**
	<i>SolV</i>	-0.27	*	-0.32	*	-0.26	*	-0.33	*
	<i>OmbrV</i>		n.s.	-0.32	*		n.s.	-0.45	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.35	**						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 84 - Correlazioni tra BUI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG.

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.60	***	-0.63	***	-0.66	***	-0.62	***
	<i>OmbrA</i>	-0.65	***	-0.65	***	-0.51	***	-0.68	***
	<i>SolV</i>	-0.59	***	-0.63	***	-0.62	***	-0.63	***
	<i>OmbrV</i>	-0.60	***	-0.70	***	-0.57	***	-0.73	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.	-0.37	*		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.63	***						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 85 - Correlazioni tra BUI e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC.

¹⁷ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

CORRELAZIONI TRA DSR E I CONTENUTI IDRICI ¹⁸

Specie	Variabile	Morgex N = 85		Quart N = 86		St. Christophe N = 86		St. Denis N = 86	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	0.26	*		n.s.		n.s.
	<i>OmbrA</i>	0.22	*	0.26	*		n.s.		n.s.
	<i>SolV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.27	*
	<i>OmbrV</i>		n.s.		n.s.		n.s.	-0.34	**
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>	0.35	***	0.26	*	0.36	***		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>		n.s.						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 86 - Correlazioni tra DSR e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale ANNO.

Specie	Variabile	Morgex N = 55		Quart N = 56		St. Christophe N = 56		St. Denis N = 56	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>		n.s.	-0.35	**	-0.46	***	-0.47	***
	<i>OmbrA</i>		n.s.	-0.31	*	-0.31	*	-0.50	***
	<i>SolV</i>	-0.34	**	-0.50	***	-0.56	***	-0.49	***
	<i>OmbrV</i>	-0.27	*	-0.47	***	-0.39	**	-0.53	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.33	*						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 87 - Correlazioni tra DSR e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale NO_STAGVEG.

Specie	Variabile	Morgex N = 39		Quart N = 40		St. Christophe N = 40		St. Denis N = 40	
		r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r	r	Prob > r
<i>Pinus</i> spp.	<i>SolA</i>	-0.35	*	-0.70	***	-0.81	***	-0.69	***
	<i>OmbrA</i>	-0.46	**	-0.71	***	-0.66	***	-0.65	***
	<i>SolV</i>	-0.43	**	-0.75	***	-0.81	***	-0.72	***
	<i>OmbrV</i>	-0.45	**	-0.71	***	-0.75	***	-0.71	***
<i>Juniperus communis</i>	<i>JuCo</i>		n.s.		n.s.		n.s.		
<i>Juniperus sabina</i>	<i>JuSa</i>	-0.42	**						
<i>Arctostaphylos uva ursi</i>	<i>UvaU</i>								n.s.
<i>Tymus vulgaris</i>	<i>TymV</i>								n.s.

Tab. 88 - Correlazioni tra DSR e contenuti idrici delle specie considerate durante l'orizzonte temporale STAG_INC.

¹⁸ Orizzonti temporali considerati: ANNO = da gennaio a dicembre; NO_STAGVEG = da metà settembre a novembre; STAG_INC = da dicembre ad aprile. Livello di significatività: *** = pr < 0.001, ** = pr < 0.01, * = pr < 0.05, n.s. = pr > 0.05.

ALLEGATO III. BOLLETTINO METEO AIB

METEO A.I.B.

PREVISIONI METEO per gli OPERATORI dell'ANTINCENDIO BOSCHIVO
EMESSO **MERCOLEDÌ 26 MARZO 2008** ALLE ORE 9.30



Previsione fino alle ore 12 di domani

ZT ¹	Vento e umidità aria	Precipitazioni
1200		
1200		
1300		
1300		
1300		
<p>Note</p> <p>Nulla da segnalare.</p>		

PROSSIMA EMISSIONE **GIOVEDÌ 27 MARZO 2008** ALLE ORE 9.30

ARPA LOMBARDDIA. SERVIZIO METEOROLOGICO REGIONALE - SEDE DI MILANO
Tel. 02.69666.401 Fax 02.69666.248 e-mail: meteo@arpalombardia.it

Legenda : consultare il foglio allegato

METEO A.I.B. - Legenda



Definizione delle Zone Omogenee:

- ZONA 1:** provincia di Sondrio
ZONA 2: province di Varese, Como, Lecco
ZONA 3: unione delle Comunità Montane della provincia di Bergamo
ZONA 4: unione delle Comunità Montane della provincia di Brescia
ZONA 5: Comunità Montana dell'Oltrepò Pavese
ZONA 6: province di Milano e Lodi; parte di pianura della provincia di Pavia
ZONA 7: province di Mantova e Cremona; parte di pianura delle province di Bergamo e Brescia

Descrizione delle icone utilizzate:

Precipitazioni ²	
	assenti o < 1 mm occasionali
	< 1 mm sparse o diffuse, 1 - 10 mm isolate
	1 mm - 10 mm sparse o diffuse
	> 10 mm sparse o diffuse, indipendentemente se a carattere continuo o di rovescio
	> 10 mm, isolate, solo a carattere di rovescio, eventualmente anche temporalesco

Vento ³	
	< 8 Km/h
	8-20 Km/h
	20 - 30 Km/h
	> 30 Km/h

Umidità ⁴	
	molto umido (80-100 %)
	umido (60-80 %)
	secco (30-60 %)
	molto secco (<30%)

Note:

- ZT:** altitudine media dello Zero Termico (quota a cui la temperatura è di 0°C in aria libera, cioè lontano dal suolo) in metri slm. In caso di significative differenze all'interno del territorio regionale, è indicata *in corsivo* la quota sulla fascia prealpina. T.N.: temperature negative a tutte le quote.
- Precipitazioni:** precipitazioni totali (pioggia e/o neve) cumulate sull'intervallo temporale considerato [mm].
- Vento:** valore massimo della velocità del vento (media oraria) a 10 m sul suolo, a quote al di sotto dei 1500 m slm [Km/h].
- Umidità:** umidità relativa prevalente a 2 m sul suolo, a quote al di sotto dei 1500 m slm [%].

ALLEGATO IV. BOLLETTINO FWI

FWI

INDICE di PERICOLO METEO per gli
INCENDI BOSCHIVI in LOMBARDIA
EMESSO **MERCOLEDÌ 26 MARZO 2008 ALLE ORE 14**



BOLLETTINO SPERIMENTALE
Solo per uso interno

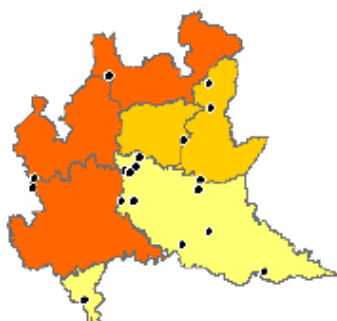
FIRE WEATHER INDEX ANALISI DELLA SITUAZIONE DI OGGI

FWI (max/zona)



POSIZIONE DI TUTTE LE STAZIONI
UTILIZZATE

ISI (max/zona)



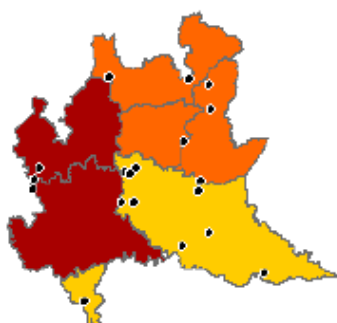
BUI (max/zona)



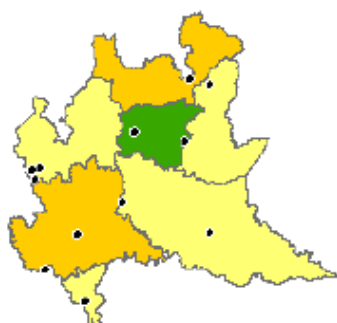
SCALA DI PERICOLO

- MOLTO BASSO
- BASSO
- MODERATO
- ALTO
- MOLTO ALTO
- ESTREMO

FFMC (max/zona)



DMC (max/zona)



DC (max/zona)



N.B. Per ciascuna Zona è mostrato il valore massimo dell'indice (colore dell'area). E' inoltre indicata la posizione della/e stazione/i in cui tale valore è stato ottenuto. Data l'irregolare copertura del territorio da parte della rete di stazioni meteo al momento disponibile, le Zone in cui è suddivisa la Lombardia **non sono omogenee** rispetto al calcolo dei vari indici. Le mappe sopra riportate servono solo per segnalare l'eventuale presenza di valori alti. **Per un utilizzo corretto delle informazioni, si deve pertanto fare riferimento alla tabella allegata**, che presenta in dettaglio i valori calcolati puntualmente in tutte le stazioni. L'indice FWI ed i vari sottoindici sono calcolati da misure meteo delle ore 12 LST odierne.



ZONA 1 - Provincia di Sondrio

STAZIONE	Alt	T	UR	VV	PT	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI
Bema	800	6,2	26	5	0	71	7	1	1	7	0
Bormio	1225	5,3	41	4	0	84	5	10	2	5	1
Chiavenna	333	11,6	30	5	0	88	17	17	4	16	6
Livigno - Passo Foscagno	2250	-5,6	56	22	0	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -
Morbegno	262	10,6	31	7	0	84	13	21	3	12	3
S. Caterina Valfurva	1780	1	31	9	0	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -
Samolaco	206	10,2	30	19	0	89	25	49	11	25	16
Sondrio	307	10,8	18	4	0	86	22	46	3	22	5
Tirano	449	10	22	5	0	90	36	52	5	36	12
Valdidentro - Cancano	1855	-1,2	38	4	0	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -
Valdidentro - La Vallaccia	2655	-4,4	40	9	2	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -
Valdisotto - Oga S. Colombano	2295	-2,6	29	5	0,6	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -
Valdisotto - Val Pola	1050	6,1	47	22	0	85	10	72	6	14	8



ZONA 2 - Province di Varese, Como, Lecco

STAZIONE	Alt	T	UR	VV	PT	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI
Busto Arsizio	224	11,9	49	5	0	86	19	34	3	19	5
Casatenovo	360	8,7	38	6	0	85	10	9	3	9	3
Colico	288	9,1	26	12	0	89	20	25	7	19	11
Como	201	10	17	7	0	91	16	15	7	16	10
Erba	323	12,6	26	7	0	89	12	7	5	11	6
Gallarate	238	11,2	29	5	0	92	27	33	8	27	13
Ispra	193	11,9	31	4	0	91	20	28	6	20	9
Laveno Mombello - Poggio S. Elsa	951	4,6	36	18	0	85	9	10	5	9	5
Lecco	214	11,8	25	4	0	87	9	5	3	9	3
Lonate Pozzolo	205	11,6	26	6	0	93	27	32	9	26	15
Minoprio	322	10,6	23	9	0	89	13	6	6	13	7
Moggio	1234	5,2	24	4	0	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -
Saronno	212	11	30	5	0	88	16	35	4	16	6
Somma Lombardo	238	11,2	29	8	0	92	26	33	8	26	14
Valmadrera	237	11,8	24	7	0	89	14	9	5	13	7
Varese	382	10,5	29	6	0	89	15	16	5	15	7



ZONA 3 - Unione delle Comunità Montane della provincia di Bergamo

STAZIONE	Alt	T	UR	VV	PT	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI

Costa Volpino	192	14,1	27	9	0,2	89	10	33	6	11	7
Mezzoldo - Passo S.Marco	1824	-0,3	36	6	0	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -
S. Giovanni Bianco - Cornalita	700	6,4	16	15	0	84	6	2	4	5	3



ZONA 4 - Unione delle Comunità Montane della provincia di Brescia

STAZIONE	Alt	T	UR	VV	PT	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI
Breno	342	9,8	24	5	0	89	13	15	5	12	6
Capo di Ponte	362	11,4	21	11	0	91	18	20	9	17	12
Darfo Boario Terme	222	10,6	27	0	0	86	12	11	3	12	3
Edolo	699	11	23	12	0	90	23	34	8	23	12
Odolo	345	10,4	31	10	0	86	10	20	4	10	4
Ponte di Legno - Passo Tonale	1883	-0,7	40	13	0	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -	nc -



ZONA 5 - Comunità Montana dell'Oltrepò Pavese

STAZIONE	Alt	T	UR	VV	PT	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI
Varzi	500	9	26	7	0	87	28	62	4	27	8



ZONA 6 - Province di Milano e Lodi, parte di pianura della provincia di Pavia

STAZIONE	Alt	T	UR	VV	PT	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI
Agrate	162	10,9	33	7	0	88	15	40	5	16	7
Carate Brianza	256	11	23	5	0	89	16	19	5	16	7
Cassano d'Adda	133	11,8	35	5	0	89	24	48	5	24	8
Cavenago d'Adda	67	13	43	4	0	89	20	68	5	23	8
Certosa di Pavia	90	12,6	41	5	0	90	37	91	5	37	12
Corsico	116	12,4	35	4	0	88	23	67	4	25	8
Isola S. Antonio	76	11,2	38	4	0	90	37	89	5	37	12
Landriano	88	13,3	53	4	0	85	16	82	2	22	4
Milano - Lambrate	120	12	32	4	0	89	23	71	5	25	9
Milano - Parco Nord	142	10,2	31	6	0	89	18	58	5	21	8
Pavia	77	12,6	38	5	0	87	23	79	4	27	7
Rodano	114	9,7	47	5	0	84	10	36	2	12	3
S. Angelo Lodigiano	60	12,5	42	4	0	90	20	67	5	23	9
S. Colombano al Lambro	80	12,8	40	3	0	90	24	67	5	25	8
Settala	107	11,2	22	5	0,2	90	17	52	5	19	8
Tavazzano	80	10,7	58	3	0	85	13	58	3	16	3
Trezzo d'Adda	187	11,5	27	5	0	89	16	49	5	18	7
Turbigo	146	11,2	26	8	0	94	23	33	11	23	16

Vigevano	107	10,7	40	5	0	89	23	59	5	23	8
----------	-----	------	----	---	---	----	----	----	---	----	---



ZONA 7 - Province di Mantova e Cremona, parte di pianura delle province di Bergamo e Brescia

STAZIONE	Alt	T	UR	VV	PT	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI
Bargnano	93	10,4	41	5	0	82	10	34	2	12	2
Bergamo - Goisis	290	9,7	35	7	0	85	10	8	3	10	3
Bergamo - Stezzano	211	10,9	35	7	0	86	11	35	3	12	4
Brescia - Mompiano	130	11,9	31	4	0	88	19	67	4	22	7
Brescia - Ziziola	70	11,9	31	4	0	86	15	51	3	17	4
Capralba	96	9	41	4	0,2	85	13	41	3	14	3
Crema	79	11,3	40	0	0	--	--	--	--	--	--
Filago	190	11,2	36	9	0	86	14	46	4	16	6
Gambara	51	15,1	50	5	0	89	23	70	5	25	9
Osio Sotto	182	9,5	32	7	0	87	11	35	4	13	4
Palidano di Gonzaga	22	10,4	55	7	0,4	88	15	51	4	17	6
Persico Dosimo	44	11,3	51	4	0	89	19	67	4	22	7
Rivolta d'Adda	102	11,8	35	5	0	89	25	74	5	27	9

Legenda

Alt: Altitudine della stazione (metri)
T: Temperatura media oraria alle ore 12 LST (°C)
UR: Umidità Relativa media oraria alle ore 12 LST (%)
VV: Velocità del Vento media oraria alle ore 12 LST (Km/h)
PT: Precipitazioni Totali cumulate dalle 12 LST di ieri alle 12 LST di oggi (mm)
FFMC: Fine Fuel Moisture Content
DMC: Duff Moisture Code
DC: Drought Code
ISI: Initial Spread Index
BUI: Build Up Index
FWI: Fire Weather Index
nc: Indice non calcolato per presenza di copertura nevosa
--: Dato non disponibile

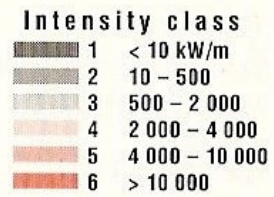


POSIZIONE DI TUTTE LE STAZIONI DISPONIBILI

PROSSIMA EMISSIONE GIOVEDÌ 27 MARZO 2008 ALLE ORE 14

ARPA LOMBARDIA, SERVIZIO METEOROLOGICO REGIONALE - SEDE DI MILANO
 Tel. 02.69666.401 Fax 02.69666.248 e-mail: meteo@arpalombardia.it

Table 4.5
Equilibrium rate of spread (m/min)
and fire intensity class
C-5 red and white pine



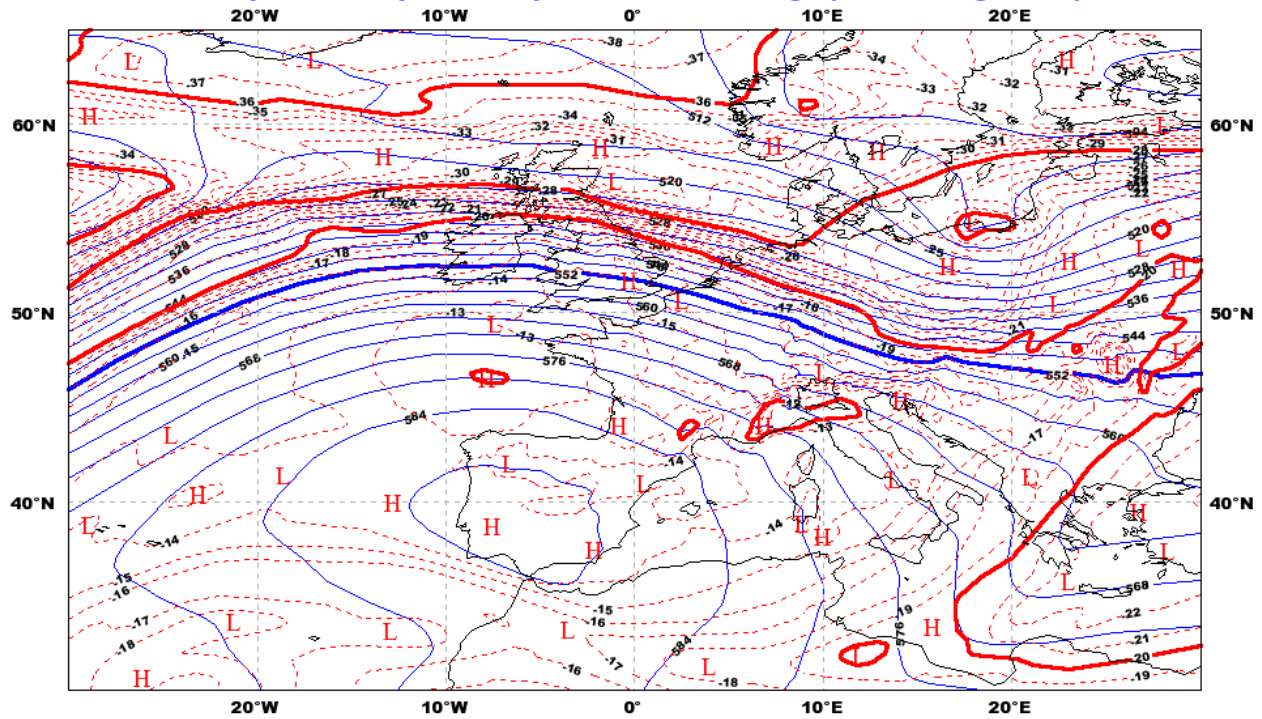
ISI	BUI							
	0-20	21-30	31-40	41-60	61-80	81-120	121-160	161-200
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
4	< 0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	0.1	0.2	0.2	0.2	2	0.2	0.2	0.3
6	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
7	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8
8	0.5	0.8	0.9	1	1	1	1	1
9	0.6	1	1	1	1	2	2	2
10	0.8	2	2	2	2	2	2	2
11	1	2	2	2	3	3	3	3
12	1	2	3	3	3	3	3	4
13	2	3	3	4	4	4	4	4
14	2	4	4	4	5	5	5	5
15	2	4	5	5	6	6	6	6
16	3	5	5	6	6	7	7	7
17	3	5	6	7	7	8	8	8
18	3	6	7	8	8	9	9	9
19	4	7	8	9	9	10	10	10
20	4	8	9	9	10	10	11	11*
21-25	5	10	11	12	13	13	14*	14*
26-30	7	13	14	16	17	18*	18*	19*
31-35	8	15	18	19	20	21*	22	23
36-40	9	18	20	22	23	24*	25	26
41-45	10	19	22	24	25*	27	28	28
46-50	11	20	23	25	27*	28	29	30
51-55	11	21	24	27	28*	30	31	31
56-60	11	22	25	27	29*	31	32	32
61-65	12	22	25	28	30*	31	32	33
66-70	12	23	26	28	30*	32	33	33

Constants: foliar moisture content = 97%; crown base height = 18 m. □ = average BUI.

Type of fire: **surface**, **intermittent crown***, **continuous crown**. _ = CFB 50%.

ALLEGATO VI. SITUAZIONI SINOTTICHE

ECMWF Analysis VT:Friday 19 January 2007 00UTC 500hPa geopotential height/ temperature



ECMWF Analysis VT:Friday 16 March 2007 00UTC 500hPa geopotential height/ temperature

