

Una piattaforma webGIS per la mappatura degli eventi estremi in foresta in ambito alpino

Marco Pregnotato (*), Stefano Oliveri (*), Mauro Pomatti (**), Giacomo Gerosa (***)

(*) Ecometrics s.r.l., Via G. Rosa 24, 25121 Brescia, +39 030 6376994, stefano.oliveri@ecometrics.it

(**) Terraria srl, Via Melchiorre Gioia 132, 20125 Milano, +39 02 87085650, m.pomatti@terraria.com

(***) Università Cattolica del S.C., Via Musei 41, 25121 Brescia, tel. +39 02 0302406719, giacomo.gerosa@unicatt.it

Riassunto

Con il progetto INTERREG MANFRED (*Management strategies to adapt Alpine Space forests to climate change risk* – www.manfredproject.eu) il programma Spazio Alpino ha inteso attivare una serie di strumenti conoscitivi per valutare l'impatto che i cambiamenti climatici potranno avere sullo stato di salute delle foreste alpine. Una specifica linea di attività è stata dedicata a compiere un censimento georeferenziato degli eventi estremi (ossia eventi che hanno determinato strategie di gestione ed impatti di carattere straordinario) già occorsi nelle foreste alpine nel corso degli ultimi decenni (incendi, attacchi di agenti biotici, schianti da vento o da neve). Con alcuni obiettivi di fondo: (i) mettere in rete le comunità alpine che hanno già esperito tali tipologie di evento, così da favorire il passaggio delle conoscenze fra queste realtà e (ii), sulla base di approfondimenti specifici, derivare indicazioni gestionali di riferimento, da trasmettere e condividere a livello alpino, utili per fronteggiare i cambiamenti climatici spesso causa predisponente di eventi calamitosi in foresta sempre più frequenti ed estesi. Per facilitare la diffusione delle conoscenze acquisite nel corso del progetto, è stata creata una piattaforma webGIS dedicata. Essa consente di accedere ai risultati del censimento in forma georeferenziata e ad una serie di contenuti tematici ed approfondimenti specifici su eventi di particolare rilevanza, secondo un approccio orientato alle *case histories*. Il *paper* descrive la struttura della piattaforma webGIS, specifica le modalità attraverso le quali sono stati censiti gli eventi estremi per le varie tipologie di *hazard* considerati, fornisce un quadro complessivo sui risultati ottenuti ed evidenzia alcune difformità e lacune nella disponibilità di dati su eventi calamitosi in foresta, a livello alpino.

Abstract

Ongoing climate changes are expected to have significant impacts on the state of health of alpine forests. In the next decades, both the frequency and the intensity of forest stress occurrences (fires, biotic agents attacks, windthrows and heavy snows) could increase and new climate scenarios are expected to strongly influence the spatial distribution of such phenomena. Moreover, the new climatic conditions could play a relevant role in inducing the occurrence of extreme events, the management of which requires going beyond present and local technical and/or theoretical know-how, to acquire new knowledge and/or to develop and implement ad hoc strategies. In the framework of MANFRED project, a specific set of activities has been developed, aimed at making a census of extreme stress events already occurred in the alpine forests. With a basic idea: to derive from such occurrences reference management strategies to be shared with alpine communities that will face extreme events in the future. The results of the census, both in terms of geographical data and supporting documentation, have been introduced in a dedicated webGIS platform available at the Internet address www.manfredproject.eu/webgis. This paper describes the different steps carried out in the fulfillment of these activities (survey of available data sources and information, definition of extreme events, building up of a database and production of case histories investigations) and describes the main features and functionalities of the webGIS platform.

Introduzione

La necessità di sistematizzare le conoscenze disponibili nella regione alpina circa i principali fattori di disturbo a carico delle nostre foreste nasce dalla consapevolezza ormai acquisita che il futuro, caratterizzato come è noto da scenari di cambiamento climatico, è segnato da grande incertezza anche per quanto riguarda la gestione e della conservazione delle risorse forestali.

Recentemente diversi studi (Faccoli, Battisti, *in press*; Marini et al., 2012; Lindner et al. 2010; Boisvenue, Running, 2006; Battisti et al. 2005; Battisti, 2004) hanno mostrato che nel prossimo futuro le tendenze del cambiamento climatico in atto potrebbero rappresentare una minaccia consistente per lo stato fitosanitario delle foreste nell'area alpina. Di conseguenza, le comunità dell'ambito alpino potrebbero essere costrette a fronteggiare un aumento sia della frequenza sia della severità degli eventi dannosi: incendi, attacchi patogeni, schianti da vento e da neve. Molti di questi eventi sono stati correlati a fenomeni climatici. In alcuni casi la correlazione è assolutamente immediata, come per le tempeste Vivian (1990) e Lothar (1999) o l'ondata di calore dell'estate 2003 sulla frequenza degli incendi sia estivi, sia nell'inverno successivo. Ma la stessa estate 2003 è risultata influire su moltissime infestazioni di patogeni forestali (Faccoli, 2009; Battisti et al., 2006) e diversi studi stanno esaminando le possibili influenze dei cambiamenti climatici sulla fisiologia dei patogeni forestali e su quella delle piante bersaglio.

Il progetto MANFRED ha rilevato l'importanza di uno strumento finalizzato a consentire alle comunità alpine la condivisione del proprio bagaglio di conoscenze ed esperienze relative a eventi estremi occorsi nel passato allo scopo di derivare lezioni apprese e di trasformarle in strumenti di buona gestione per il futuro. Tale strumento è costituito da una piattaforma webGIS interattiva, che consente di interrogare dati, visualizzarli ed avere accesso alla relativa documentazione di approfondimento.

Materiali e metodi.

Da un punto di vista operativo, il lavoro è stato sviluppato secondo i seguenti passaggi:

- censimento degli eventi, con particolare attenzione agli eventi estremi;
- identificazione di un set di eventi di rilievo, utilizzati come casi studio e sottoposti ad una analisi di approfondimento;
- sistematizzazione dei risultati su una piattaforma webGIS (www.manfredproject.eu/webgis) sulla quale è possibile visualizzare l'intero *set* di dati raccolti ed effettuare interrogazioni parametriche e geografiche.

Premessa sulla definizione di Evento Estremo.

Il tentativo di fornire una **definizione teorica** di evento estremo ha immediatamente reso evidente la soggettività intrinseca nella definizione stessa, sottoposta a chiavi interpretative diverse che fanno ad esempio riferimento a diversi valori e ruoli attribuiti alla foresta. D'altra parte l'elevata eterogeneità delle informazioni nei differenti paesi alpini ha reso complesso anche adottare un **criterio numerico** parimenti univoco. Metodi adatti specificatamente alla natura dei dati disponibili sono stati così sviluppati. In generale il criterio adottato, lungi dal voler fornire una definizione univoca e scientifica di evento estremo, si è riferito principalmente alla caratteristica dell'evento di costituire un'occorrenza **non ordinaria**, la gestione della quale abbia richiesto di superare l'attuale *know-how* tecnico e teorico locale, acquisendo nuove conoscenze e adattando o sviluppando strategie ad hoc.

Il risultato di questo processo preliminare è stata la richiesta ai vari *partner* di progetti di dati di natura variegata per i vari ambiti e soggetti e l'adozione di soluzioni diverse nella traduzione dei dati stessi in termini geo-informatici.

Dati sugli incendi forestali.

Il progetto MANFRED, anche tramite una collaborazione formatasi in corso d'opera con il progetto INTERREG Spazio Alpino: ALPFFIRS (www.alpffirs.eu), ha prodotto un vasto *database* panalpino degli incendi forestali. Il *database* completo contiene circa 82.000 record di incendi forestali

su Italia, Francia, Slovenia, Germania, Svizzera e Austria. Ciascun incendio è descritto tramite un *set* di attributi, come riportato in Tabella 1. Dal *database* completo è stato tuttavia possibile estrarre solo circa 26.000 record georeferenziati e quindi inseriti nel db di riferimento per il webGIS.

Ancora, benché il *database* completo contenga *record* fin dagli anni '70, le serie storiche fornite dai vari *partner* si sovrappongono solo negli anni tra il 2000 e il 2009: solo su questo sottoinsieme è stato dunque possibile compiere analisi statistiche e la selezione del valore soglia per gli eventi estremi. Il parametro *Area Bruciata Totale* è risultato essere il solo attributo quantitativo regolarmente registrato nei singoli *database* locali, senza sostanziale assenza di dati, su tutto l'arco alpino. Di conseguenza, pur consci della limitatezza di tale approccio¹, tale parametro è stato utilizzato per la selezione degli eventi estremi a scala alpina. Il **99° percentile** della distribuzione di tale parametro è stato scelto come identificatore dell'evento estremo di incendio, producendo un valore soglia su scala alpina di **105 ha** e consentendo di normalizzare ed omogeneizzare l'intero *set* di dati, effettuare così comparazioni tra diverse regioni alpine e valutare l'evoluzione spaziale e temporale degli eventi estremi così definiti.

Le analisi statistiche a scala alpina sono state poi integrate da analisi a livello locale ed da singoli approfondimenti. E' noto, infatti, che gli incendi forestali hanno caratteristiche distintive proprie in funzione delle condizioni locali. Un incendio percepito come eccezionale in una regione potrebbe rientrare nella norma in una regione diversa. Pertanto, si è richiesto alle singole regioni di compiere una selezione di eventi estremi, basandosi sui dati disponibili localmente (con limiti temporali e *set* di attributi propri) e su valori soglia calcolati sui propri insiemi di riferimento.

<i>Attribute</i>	<i>Notes</i>	<i>Domain</i>
<i>Year</i>		
<i>Date</i>	Of the signaling	
<i>Season</i>	April-October: summer	
	November-March: winter	
<i>X coordinate</i>	Of the ignition point. UTM WGS84	
<i>Y coordinate</i>		
<i>Cause</i>		1. natural
		2. doubt
		3. anthropogenic
<i>NUTS2</i>	Of the ignition point	
<i>NUTS3</i>		
<i>Altitude</i>	Of the ignition point	1. 0 – 500m
		2. 500 – 1.000m
		3. 1.000 – 1.500m
		4. > 1.500m
<i>Total Burnt Area</i>		
<i>Forest Burnt Area</i>		
<i>Non Forest Burnt Area</i>		
<i>Aspect</i>	Of the ignition point. Derived from DTM	
<i>Vegetation Unit</i>	Of the ignition point. Derived from the " <i>Map of Natural Vegetation of Europe</i> "	The legend has been derived from the " <i>Map of Natural Vegetation of Europe</i> " report and structured in three different levels
<i>Data Owner</i>		
<i>Mail of the Data Owner</i>		
<i>Data Provider</i>		
<i>Mail of the Data Provider</i>		

Tabella 1. Attributi del database pan-alpino degli incendi forestali.

¹ Esperti e tecnici, coinvolti nel progetto, concordano sul fatto che la definizione di incendio estremo dovrebbe derivare da una valutazione che integri una ampia gamma di fattori (per esempio riguardo alle condizioni ambientali e geografiche, alle caratteristiche di propagazione del fuoco e agli impatti reali) e che il solo parametro Area Bruciata Totale non sia necessariamente indicativo di una condizione estrema.

Dati su fattori di disturbo abiotico e biotico.

I dati raccolti per descrivere i fattori di disturbo biotico e abiotico sono tra i più diversificati. In fase di indagine le informazioni si sono presentate molto eterogenee nei diversi paesi dell'area alpina, sia nella disponibilità di dati, sia nella loro natura. Alcune aree non hanno alcun sistema di monitoraggio attivo per questo tipo di fenomeni; in altri casi i dati sono disponibili solo su formato cartaceo e nessun archivio fisico è stato dematerializzato nell'ambito di questo progetto. I sistemi di monitoraggio, laddove presenti, restituiscono spesso dati diversi, con aggregazioni sia spaziali che temporali differenziate: dati di volumi tagliati, numero di segnalazioni di patogeni, numero di piante danneggiate, con o senza riferimento ad uno specifico patogeno od agente fisico. I valori frequentemente non possono essere associati ad un'occorrenza specifica (evento).

I dati che si è stabilito di raccogliere sono, di fatto: volumi tagliati in conseguenza di un'infestazione o di ripristino dopo schianti (sezione *Loggings*), volumi o numero piante specificatamente danneggiate da patogeni o agenti fisici (sezione *Damages*).

I dati di taglio sono stati sottoposti ad una procedura statistica di normalizzazione ad hoc, integrando dati di volumi e superficie delle parcelle e minimizzando così l'influenza dell'estensione, per rendere comparabili le distribuzioni dei dati nelle varie regioni. Su tali dati normalizzati è stata effettuata una selezione di eventi estremi, definiti come i volumi riferiti a parcelle che hanno presentato valori di taglio fuori dalla norma rispetto alla base annuale (*outlying*). I dati di danno biotici ed abiotici, opportunamente elaborati, sono poi riportati nel webGIS, prescindendo da un'impossibile selezione quantitativa dei valori estremi: il questionario degli eventi "a memoria d'uomo" risolve a livello logico questo nodo. Allo scopo di identificare gli eventi che negli ultimi decenni la popolazione, le autorità o i tecnici locali avessero percepito come *non ordinari* o, appunto, *estremi* è stato, infatti, prodotto uno speciale questionario che i partner di progetto hanno distribuito nelle loro regioni di riferimento.

I dati su fattori abiotici e biotici sono stati introdotti nel webGIS in sezioni regionali distinte, data la loro eterogeneità; tali sezioni non sono dunque concepite allo scopo di creare una immagine unitaria della situazione a livello *panalpino* e non permettono di confrontare le situazioni locali dei diversi paesi partner.

Natura dei dati e trasposizione in ambito GIS.

L'oggetto **incendio** (*fire*, nella relativa sezione webGIS) è costituito, di fatto, dal record di un evento ben definito nel tempo (data di innesco, durata) e nello spazio (coordinate del punto di innesco o centroide dell'area percorsa, ed area percorsa). Ogni record è pertanto associabile ad un dato spaziale di tipo **puntuale**. Nella piattaforma webGIS sono poi presenti dati spaziali di tipo **poligonale** (regioni e provincie) che derivano da aggregazioni degli attributi dei singoli incendi (somma delle aree bruciate, numero di incendi) su base annuale.

I dati relativi ai **danni** (*damages*), biotici o abiotici, pur caratterizzati da attributi diversi, presentano caratteristiche simili quanto alla natura del dato. I valori dei parametri (volume stimato del legname danneggiato o numero di segnalazioni di patogeni in una data area) sono i dati originali raccolti generalmente a livello di provincia e divisi su base annua. I dati a livello di regione sono generalmente aggregazioni successive. I dati spaziali che ne derivano sono dunque poligoni, associati a valori annuali.

La piattaforma webGIS riporta tuttavia le coordinate geografiche di riferimento (un centroide) delle aree colpite da eventi che rientrano nelle *Case Histories*, che sono dunque **punti** caratterizzati.

Per quanto riguarda i dati relativi ai **tagli** (*loggings*), il dato originariamente raccolto è generalmente costituito da un valore (volume tagliato) ritraibile dalle relative denunce di taglio e riferito a particelle forestali accatastate e pertanto georeferenziate. Il valore può essere riferito quindi ad un dato **puntuale** (il centroide della particella). I dati a livello di provincia sono invece delle aggregazioni, riferite poi ai relativi poligoni, anche in questo caso su base annua.

Struttura e contenuti della piattaforma.

Dal punto di vista delle specifiche tecniche, la piattaforma è stata sviluppata utilizzando una tecnologia J2EE (*Java enterprise edition*). Essa lavora su un *Application Server* Tomcat 6.0 ed utilizza PostGIS 1.5 ed un server database PostgreSQL 8.4.

Per quanto riguarda la sua architettura concettuale, la piattaforma webGIS consiste in tre distinte sezioni dedicate: incendi, fattori biotici, fattori abiotici. Ciascuna sezione a sua volta contiene: un set di dati geografici; report regionali e/o alpini, documenti concepiti per riassumere e commentare i *dataset* pubblicati; *report* contenenti i risultati delle analisi sui singoli casi di studio.

Sezione Incendi.

Tale sezione permette di interrogare tre *dataset* di riferimento: Alpino; Regionale; *Case Histories* (casi di studio).

Quando si seleziona il set di riferimento Alpino, la piattaforma permette di interrogare e visualizzare sulla mappa i dati del database pan-alpino degli incendi (decennio 2000-2009) su tre diversi livelli di aggregazione: NUTS2 (Regione), NUTS3 (Distretto), come poligoni, oppure la distribuzione dei punti di innesco dei singoli incendi (figura 2).



Figura 2. La sezione Fire (incendi) del webGIS MANFRED: interrogazioni e visualizzazioni sulla sotto-sezione Alpina.

I dati possono essere interrogati sulla base di diversi attributi presenti nel db (data, causa, classe di altitudine, esposizione, classe di estensione) ed è possibile mappare i risultati delle *query* riferite ai livelli di aggregazione Regione o Distretto, come geometrie poligonali associate a valori discretizzati calcolati come numero di incendi sul periodo o come superficie totale bruciata. Nelle mappe risultanti, le aree grigie evidenziano territori per i quali specifiche informazioni non sono disponibili (*No Data*).

La piattaforma, rispondendo agli scopi di progetto, permette una preselezione dei soli eventi estremi e di produrre *query* e visualizzazioni sui soli eventi definiti tali, all'interno del *database*.

Il pulsante *Identify* permette poi di ottenere dalla mappa dettagli analitici sugli oggetti visualizzati dopo le *query* e le informazioni sui *Data Owner* e *Data Provider*.

Ogni visualizzazione è stata fornita di una relativa legenda dinamica che ottimizza la visualizzazione dei dati sulla mappa, adattandosi sulla base della *query* lanciata.

L'area *Download* ospita il *link* al *report* dedicato, che sintetizza i risultati principali delle analisi effettuate sul *database* pan-alpino degli incendi.

Interrogando invece il *reference dataset* regionale, il sistema permette di visualizzare ed interrogare dati, sostanzialmente definiti dallo stesso set di attributi rispetto alla scala alpina ma relativi alla regione selezionata ed in particolare l'insieme di eventi estremi secondo il parametro locale (si veda sopra *Dati sugli incendi forestali*). L'area *Download* ospita anche in questo caso i *report* prodotti dai *partner* regionali.

Sezioni Biotic e Abiotic.

Queste sezioni sono accomunate dalla stessa struttura e possono essere considerate paragonabili dal punto di vista dell'architettura. Esse contengono dati ed informazioni su patogeni forestali (*Biotic*) e su schianti da vento e da neve (*Abiotic*).

Le sezioni si basano su quattro diversi insiemi di dati di riferimento: *Loggings* (tagli); *Damages* (danni); *Memory sifted events* (questionario degli eventi "a memoria d'uomo"); *Case Histories* (casi di studio).

La sotto-sezione *Loggings* è concepita per visualizzare, per quelle regioni che hanno messo a disposizione dati di questo tipo a livello di parcella forestale, la distribuzione delle parcelle *outlying*. La piattaforma permette di interrogare il database a livello di provincia (*district*), sulla base dell'anno del taglio e, quando possibile, dello specifico agente di danno (patogeno oppure vento o neve). L'area *Download* ospita i *report* prodotti dai partner locali per sintetizzare e commentare i dati introdotti nella piattaforma.

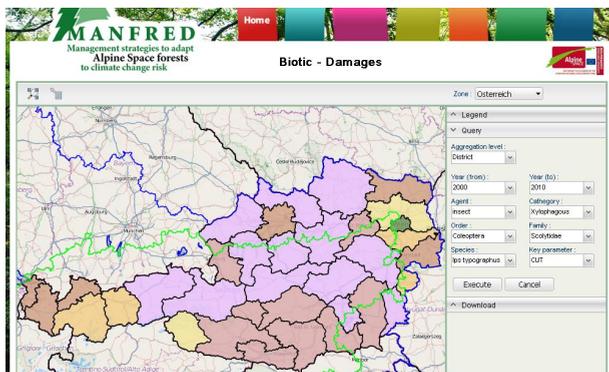


Figura 3. Esempio di ambiente di interrogazione della sottosezione *Damages*: poligoni con aggregazioni per distretto.

La sotto-sezione *Damages* permette di visualizzare e interrogare i dati sulla base degli attributi (volume tagliato, area danneggiata, numero di infestazioni segnalate, ecc.) forniti dai *partner* regionali ed utili per descrivere l'evoluzione spaziale e temporale (su base annua) dei fattori di disturbo biotici o abiotici sulle foreste locali.

La piattaforma è concepita per produrre query e visualizzare a livello di regione (NUTS2) o di provincia/distretto (NUTS3) e di filtrare su un'ampia gamma di attributi: periodo temporale, informazioni tematiche inerenti all'agente di danno (es.: per i patogeni, categoria, ordine, famiglia, specie, ecc.) ed altre chiavi di interrogazione.

Come nel caso precedente, un'area è dedicata al *Download* dei report regionali a chiosa e sunto dei dati introdotti nella piattaforma per ogni regione.

La sezione *Memory Sifted Events* (eventi "a memoria d'uomo") è invece una sezione **non geografica** della piattaforma, concepita per permettere all'utente di interrogare (ma non visualizzare su mappa) il *database* risultato dalla raccolta dei questionari distribuiti sul territorio dai *partner* di progetto, che hanno censito quegli eventi, come già detto, percepiti come **non ordinari**. I livelli di aggregazione delle informazioni possibili in questo caso sono la Provincia/Distretto, il fattore di danno e l'anno di occorrenza dell'evento. Il sistema propone poi la lista degli eventi selezionati secondo i parametri, riportando tutti i dettagli eventualmente introdotti nel questionario.

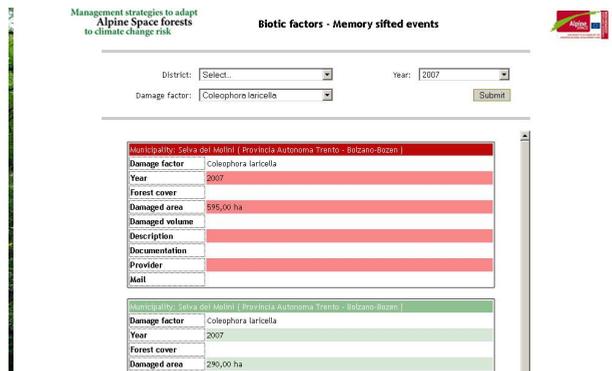


Figura 4. Ambiente di interrogazione dei Memory Sifted Events (eventi "a memoria d'uomo").

Case histories.

Le aree dedicate alle *Case Histories* (casi di studio) sono presenti in tutte le sezioni: *Fires*, *Abiotic* e *Biotic*. La piattaforma mostra in questo caso la distribuzione spaziale degli eventi casi di studio nell'arco alpino, indagati nell'ambito del progetto MANFRED. Il pulsante *Identify* permette di ottenere informazioni di base su ciascun caso di studio e di scaricare dal sito i *report* prodotti sui vari casi dai partner di riferimento nel progetto.

Conclusioni.

Il webGIS prodotto nell'ambito del progetto MANFRED costituisce il contenitore del vasto insieme di dati raccolti durante i tre anni di durata del progetto da tutti i *partner* della regione alpina e fornisce, sotto forma di un manuale di riferimento interattivo, una chiave utile alla consultazione e all'interpretazione di quegli stessi dati, restituendo anche una visione di insieme dello status del monitoraggio degli eventi di danno a carico delle foreste a scala alpina.

La possibilità di localizzare e reperire informazioni circa eventi estremi occorsi nel recente passato può dimostrarsi particolarmente utile e significativa in prospettiva gestionale per le amministrazioni locali e i professionisti del settore: informazioni di contatto relative ai referenti per i casi di studio sono state riportate sulla piattaforma webGIS stessa. Il confronto continuo e proficuo tra esperti e tecnici riguardo alle esperienze di questi eventi del recente passato e alle strategie da loro sviluppate nella gestione degli stessi può consentire sia di assimilare buone pratiche condivise, mettendo a disposizione una vasta gamma di conoscenze ed esperienze, utile a fronteggiare l'incertezza che caratterizza gli scenari di cambiamento climatico per il futuro prossimo.

Con specifico riguardo ai dati raccolti ed alle analisi condotte, è importante ricordare che:

- il *database* pan-alpino degli incendi è probabilmente ad oggi il più completo set di informazioni sugli incendi forestali disponibile a livello dello Spazio Alpino;
- pur con un'evidente elevata soggettività nel processo di segnalazione degli eventi, la collezione degli eventi "a memoria d'uomo" rappresenta il primo censimento georeferenziato disponibile a scala alpina, relativamente a eventi non ordinari di origine biotica e abiotica che hanno colpito le foreste delle Alpi negli ultimi decenni;
- tutti i casi di studio (34) ed i contenuti principali dei report regionali ed Alpino (20) sono stati integrati in un documento di progetto dal titolo "*Extreme stress events in the Alpine forests: management experiences based on recent occurrences*".

Riconoscimenti.

Questo lavoro è stato condotto nell'ambito del progetto Europeo MANFRED, finanziato dal Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale del Programma Spazio Alpino (numero di riferimento 15-2-3-D (MANFRED)). Un ampio gruppo di partner hanno cooperato nelle attività: ERSAF Lombardia; FVA. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt BW; Slovenian Forest Service; Slovenian Forest Institute; Univ. Cattolica di Brescia; Ministero Italiano dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare; Univ. di Camerino; CEMAGREF Francia; IPLA e Regione Autonoma Valle d'Aosta; LWF. Bavarian State Institute of Forestry; WSL. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research; BOKU. University of Natural Resources and Life Sciences; BFW. Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape.

Riferimenti bibliografici

MANFRED project Official website, webGIS platform area. www.manfredproject.eu/webgis (ultimo accesso 28 Agosto 2012).

Faccoli M., Battisti A. (in press) Climate change and forest pests: models from the Alps - Canadian Journal of Forest Research.

Marini L., Ayres M. P., Battisti A., Faccoli M., 2012: Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Climatic Change*, DOI 10.1007/s10584-012-0463-z.

Lindner M., Maroschek M., Netherer S. et al (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For Ecol Manag* 259:698–709.

Faccoli M., (2009) Effect of Weather on *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae) Phenology, Voltinism, and Associated Spruce Mortality in the Southeastern Alps - *Environ. Entomol.* 38(2): 307-316 (2009).

Battisti A., Stastny M., Buffo E., Larsson S. (2006) A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly - *Global Change Biology* (2006) 12, 662–671, doi: 10.1111/j.1365.2486.2006.01124.x.

Boisvenue C., Running S.W. (2006) Impacts of climate change on natural forest productivity—evidence since the middle of the 20th century. *Glob Change Biol* 12:1–21.

Battisti A., Stastny M., Netherer S., Robinet C., Schopf A., Roques A., Larsson S. (2005) Expansion of Geographic Range in the Pine Processionary Moth Caused by Increased Winter Temperatures - *Ecological Applications*, Vol. 15, No. 6 (Dec., 2005), pp. 2084-2096.

Battisti A., (2004) Forests and climate change – lessons from insects. *Forest@* 1 (1): 17-24. [online] URL: <http://www.sisef.it/>.