

Sezione Speciale: Progetto LIFE FUTMON

“Il Monitoraggio Forestale nel Progetto FUTMON: Risultati e Applicazioni di Ricerca”

Guest Editor: Luca Salvati (CRA-RPS, Roma)

Indagine meteo-climatica per il controllo degli ecosistemi forestali: analisi di alcune tendenze recenti

Valerio Moretti, Roberto Moretti, Tiziano Sorgi, Luca Salvati*

*Centro di Ricerca per le Relazioni Pianta-Suolo (CRA-RPS), Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, v. della Navicella 2-4, I-00184 Roma (Italy) - *Corresponding Author: L. Salvati (luca.salvati@entecra.it).*

Abstract: *The contribution of meteorological surveys to the analysis of forest ecosystems: the FutMon project.* Much of the wide variation in plant morphology, physiology and development biology is reflected by the capacity to adapt to climate changes. The aim of this paper is to contribute to the climate description of selected Italian forest sites (the CONECOFOR network) where a permanent environmental monitoring was carried out since 1997 within the ICP-Forests, ICP-IM framework Forest Focus Reg. and the EU-funded FutMon research project.

Keywords: Forests, Weather, Meteorology, Water Budget, Ecosystem

Received: Apr 26, 2013; Accepted: Aug 03, 2013; Published online: Sep 02, 2013

Citation: Moretti V, Moretti R, Sorgi T, Salvati L, 2013. Indagine meteo-climatica per il controllo degli ecosistemi forestali: analisi di alcune tendenze recenti. *Forest@* 10: 79-87 [online 2013-09-02] URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor1025-010>

Introduzione

Il monitoraggio degli ecosistemi forestali riveste un interesse sempre maggiore a seguito delle crescenti pressioni ambientali legate sia a fattori naturali che antropici. Fra questi, i cambiamenti climatici assumono grande rilevanza perché influenzano le foreste sia in modo diretto che indiretto. La descrizione delle condizioni meteo-climatiche che insistono su un dato territorio è resa complessa da vari aspetti, tra cui assumono particolare rilievo la durata e l'entità dei fenomeni, l'estensione a livello spaziale, la possibile influenza sul sistema forestale a varie scale, da locale a regionale. Conseguentemente, anche gli approcci metodologici nel definire il fenomeno, la scelta delle variabili e la validazione dei possibili indicatori climatici, risultano vari e molteplici.

In questo contributo vengono analizzati alcuni risultati relativi all'indagine meteo-climatica svolta nell'ambito del programma nazionale integrato per il controllo degli ecosistemi forestali (Conecofor) e del

progetto Europeo FutMon. Tale indagine, svolta dal CRA-RPS in collaborazione con il Corpo Forestale dello Stato, si è avvalsa di un monitoraggio a terra delle condizioni meteorologiche tramite un'ampia rete di stazioni di rilevamento automatiche, in funzione a partire dal 1997 in aree di monitoraggio forestale della rete Conecofor e da allora in continua implementazione sul territorio nazionale. Tale monitoraggio è stato concepito in forma integrata, attraverso la rilevazione congiunta di numerose variabili di interesse climatico, agro-climatico e pedo-climatico a livello puntuale.

L'attenzione si concentra qui sulle grandezze più rilevanti per gli ecosistemi forestali (precipitazione e regime termometrico) e su cui sono più nette le evidenze, a livello nazionale ed internazionale, di possibili processi di cambiamento climatico in atto. Questo contributo esplora anche la distribuzione di alcuni eventi estremi di potenziale interesse per le foreste e il regime idrologico superficiale in aree campione,

con particolare riferimento all'acqua disponibile nei suoli. Le informazioni fornite, integrate rispetto alle altre linee di ricerca del programma Conecofor, rappresentano un patrimonio di dati rilevante, vista anche la disponibilità di serie storiche. Tali informazioni sono anche di supporto per studi inter- o co-disciplinari sull'ecologia forestale e la fisiologia vegetale e, più in generale, contribuiscono a determinare, a scala di dettaglio, lo stato di salute dei boschi italiani.

Materiali e metodi

Per ogni area permanente monitorata sono previsti l'acquisizione dei dati climatici sotto copertura (localizzazione *in the plot*) e in un'ampia radura (*open field*) entro il raggio di 2 km secondo quanto previsto dai Regolamenti UE 1091/94 e 690/95. La rilevazione prevede l'acquisizione automatica, attraverso centraline di monitoraggio dei dati giornalieri ed orari delle principali grandezze di interesse meteorologico: temperatura dell'aria a 2 m, umidità relativa a 2 m, radiazione solare, velocità e direzione del vento, precipitazione.

L'inizio di questa attività risale al 1997 con 8 aree e 13 centraline. Tutti i dati rilevati sono stati validati ed elaborati. Attualmente la rete conta 36 stazioni, di cui 23 *open field* e 16 *in the plot*: la distribuzione delle stesse è riportata nella Fig. 1.

Le centraline sono installate e gestite sia diretta-



Fig. 1 - Dislocazione delle centraline meteorologiche sul territorio Italiano. Fonte: nostre elaborazioni su immagine Google Earth™.

mente da CRA-RPS che da altri Enti. L'analisi dei dati è invece centralizzata nel laboratorio informatico di CRA-RPS (Costantini & Amoriello 2000).

I dati meteorologici sono inseriti in una banca dati autonoma formata da due sezioni: la prima raccoglie i metadati descrittivi dell'area (caratteri geografici e fisici), delle centraline (modalità di acquisizione, strumentazione installata), dei sensori (caratteristiche tecniche), dei parametri misurati e della loro elaborazione. Nella fase di immissione dei dati, il programma di gestione del database prevede una serie di controlli e di elaborazioni automatiche.

Ulteriori controlli sul funzionamento delle centraline e quindi sulla validità del dato sono effettuati via elaborazione dei codici di errore riportati dal sistema di rilevazione (*data logger*) in apposite locazioni di uscita. È attiva anche la procedura di segnalazione di eventi (valori dei parametri misurati) fuori dal *range* medio determinato per gli anni precedenti nella stessa area. Le informazioni del campo "controllo" permettono di stabilire sia il tipo di sensore che ha segnalato un dato anomalo, sia per quanto tempo l'errore ha influito sulla determinazione della misura. Questi valori servono quindi anche per valutare la completezza del dato come percentuale di tempo di buon funzionamento.

Risultati

Seguono alcuni dei risultati più significativi dal progetto FutMon applicato alla rete Conecofor. Il capitolo descrive: (i) l'analisi climatica classica, basata sull'utilizzo di statistiche descrittive e indicatori di sintesi; (ii) le principali caratteristiche delle ultime annate meteorologiche in funzione del presunto cambiamento climatico; (iii) l'analisi di medio termine di un fenomeno riconducibile ai cambiamenti climatici, la variazione della direzione e dell'intensità del vento; (iv) l'analisi semplificata del bilancio idrologico.

Analisi climatica di sintesi

Il clima di un determinato territorio esprime lo stato medio della bassa atmosfera sovrastante. Tale stato viene definito in base al valore di un certo numero di grandezze fisiche, di cui le caratteristiche sono la temperatura dell'aria e le precipitazioni. Questi valori possono essere calcolati attraverso elaborazione statistica, utilizzando cumulate, medie o indicatori di frequenza. Poiché la variabilità interannuale è consistente, è necessario tener conto del maggior numero di anni di osservazione disponibili. Nell'ambito dello stesso anno, poi, l'andamento delle grandezze cli-

Tab. 1 - Statistiche descrittive delle principali grandezze meteorologiche misurate nelle stazioni di rilevamento con la serie storica di dati più lunga disponibile.

Stazione	Misura	Pioggia	Temp. massima	Temp. minima	Umidità Relativa	Velocità vento	Radiazione Solare
01-ABR1	Valore medio	770	9.6	2.9	81	3.7	155
	Periodo	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009
	Completezza (%)	87.1	83.2	83.2	80.6	78.4	81.1
	CV (%)	34	28	28	4	8	18
03-CAL1	Valore medio	1814	15.48	7.16	88	0.9	144
	Periodo	1999-2009	1999-2009	1999-2009	1999-2009	1999-2009	1999-2009
	Completezza (%)	97.7	96.2	96.2	96.3	95.9	95.7
	CV (%)	20	10	10	5	9	8
05-EMI1	Valore medio	749	16.46	8.58	74	1	129
	Periodo	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009
	Completezza (%)	100	99.8	99.8	99.8	99.8	98.5
	CV (%)	30	17	17	7	7	25
06-EMI2	Valore medio	1362	13.96	4.91	80	0.4	136
	Periodo	1998-2008	1998-2008	1998-2008	1998-2008	1998-2008	1998-2008
	Completezza (%)	98.9	96.1	96.1	94.7	84.3	95.9
	CV (%)	37	15	15	3	23	23
08-FRI2	Valore medio	1700	12.16	3.13	88	0.8	127
	Periodo	1998-2008	1998-2008	1998-2008	1998-2008	1998-2008	1998-2008
	Completezza (%)	97.8	96.6	96.6	96.6	96.6	96
	CV (%)	21	6	6	3	5	4
09-LAZ1	Valore medio	915	17.16	8.26	79	1.2	159
	Periodo	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009
	Completezza (%)	99.7	98.6	98.6	98.6	96.1	99
	CV (%)	22	6	6	6	7	5
10-LOM1	Valore medio	1228	11.65	3.65	73	0.7	95
	Periodo	1997-2008	1997-2008	1997-2008	1997-2008	1997-2008	1997-2008
	Completezza (%)	77.8	88.2	88.2	87.6	75	88.2
	CV (%)	41	18	18	11	53	11
12-PIE1	Valore medio	1566	9.8	3.62	71	1.3	144
	Periodo	1999-2009	1999-2009	1999-2009	1999-2009	1999-2009	1999-2009
	Completezza (%)	95.6	95.5	95.5	95.5	95.5	94.2
	CV (%)	50	28	28	13	19	17
16-TOS1	Valore medio	706	17.88	9.35	86	0.7	130
	Periodo	1995-2001	1995-2001	1995-2001	1995-2001	1995-2001	1995-2001
	Completezza (%)	84.8	92.6	92.6	74.4	91.6	92.6
	CV (%)	39	6	6	5	41	20
17-TRE1	Valore medio	952	9.98	-0.32	72	1.4	144
	Periodo	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009	1997-2009
	Completezza (%)	93.4	89	89	86.2	59.2	75.7
	CV (%)	27	8	8	7	9	19
19-VAL1	Valore medio	767	9.69	1.48	66	-	166
	Periodo	1993-2009	1993-2009	1993-2009	1993-2009	-	1993-2009
	Completezza (%)	95.3	96.4	96.4	96.3	-	93.3
	CV (%)	34	10	10	6	-	17
20-VEN1	Valore medio	1819	11.94	0.74	86	-	149
	Periodo	1993-2009	1993-2009	1993-2009	1993-2009	-	1993-2009
	Completezza (%)	97.9	97.2	97.2	86	-	96.4
	CV (%)	25	7	7	5	-	10
23-LOM2	Valore medio	1123	12.94	4.65	73	0.5	128
	Periodo	2002-2008	2002-2008	2002-2008	2002-2008	2002-2008	2002-2008
	Completezza (%)	90.6	90.6	90.6	90.6	90.6	90.2
	CV (%)	20	5	5	3	15	6
24-LOM3	Valore medio	1022	12.48	4.64	62	1.5	136
	Periodo	2001-2008	2001-2008	2001-2008	2001-2008	2002-2008	2001-2008
	Completezza (%)	80.3	85.5	85.5	83.3	77.9	84.2
	CV (%)	52	10	10	20	10	18
25-TOS2	Valore medio	630	19.47	12.69	71	0.4	178
	Periodo	2001-2008	2001-2008	2001-2008	2001-2008	2001-2008	2001-2008
	Completezza (%)	91	91	91	90.8	91	91
	CV (%)	18	5	5	10	44	6
27-BOL1	Valore medio	775	-	-	-	-	179
	Periodo	1999-2008	-	-	-	-	1999-2008
	Completezza (%)	93.1	-	-	-	-	83.7
	CV (%)	32	-	-	-	-	11
29-PIE2	Valore medio	997	16.78	5.64	79	1.6	-
	Periodo	1990-2009	1990-2009	1990-2009	1990-2009	1990-2009	-
	Completezza (%)	99.1	99.5	99.5	99	88.2	-
	CV (%)	24	9	9	4	18	-
30-PIE3	Valore medio	1411	8.75	-1.76	71	-	-
	Periodo	1991-2009	1991-2009	1991-2009	1991-2009	-	-
	Completezza (%)	99.2	100.1	100.1	92.7	-	-
	CV (%)	33	17	17	5	-	-

matiche segue ritmi stagionali altrettanto vari, che vengono espressi mediante curve che indicano, mese per mese, le variazioni di tali grandezze.

Le condizioni climatiche medie dei territori soggetti a monitoraggio sono riportate in Tab. 1. Si tratta di un insieme di statistiche descrittive calcolate su cinque variabili meteorologiche fondamentali che forniscono un dettagliato quadro d'insieme in base alla lunghezza della serie storica disponibile. L'elaborazione evidenzia come le stazioni installate siano in grado di cogliere, con precisione, la molteplicità dei climi osservabili lungo la penisola italiana, sia in termini di apporti meteorici, che di regimi termometrici. Per la precipitazione si passa, infatti, da medie annue relativamente basse (630 mm in Toscana, 749 mm in Emilia Romagna), che indicano condizioni locali potenzialmente secche associate a comprensori forestali del medio piano collinare, a medie assai più elevate (1819 mm in Veneto, 1814 mm in Calabria), tipiche di territori forestali montani freschi ed umidi.

L'analisi del regime termometrico mette in evidenza risultati analoghi a quelli già osservati per la pluviometria, sottolineando la rappresentatività del monitoraggio di ambienti tipicamente forestali rispetto alle differenti condizioni climatiche presenti nel nostro Paese. Come già osservato in altri contributi (Costantini & Amoriello 2000), il regime termometrico è fortemente influenzato dall'altimetria ed è quindi sufficiente questa variabile per spiegare le variazioni osservate sia nella temperatura minima che in quella massima su base annua e per l'intero periodo.

Di grande interesse per l'analisi dei regimi climatici e delle loro possibili variazioni nel tempo è lo studio delle relazioni tra variabili climatiche. L'analisi, sviluppata attraverso idonee procedure statistiche di natura descrittiva ed inferenziale, anche per il tramite di analisi di correlazione parametrica e non parametrica, procede a livello annuale o mensile, su un ampio numero di stazioni capaci di produrre un quadro il più possibile articolato delle condizioni meteorologiche di una regione rappresentativa dal punto di vista geografico (Salvati et al. 2009). Ciò è possibile anche per l'insieme delle stazioni di monitoraggio forestale presentate in questo contributo data la loro densità sul territorio nazionale, la serie storica disponibile e la rappresentatività climatica illustrata in precedenza. Nelle Fig. 2 e Fig. 3 è riportata un'analisi di correlazione tra regime pluviometrico e termometrico nelle stazioni con più di 7 anni consecutivi di registrazioni valide. Si osserva una evidente relazione tra le due grandezze in entrambi i casi (sia considerando le temperature massime che

quelle minime). Nelle stazioni dove il regime pluviometrico è più secco (fino a 800 mm) si osserva un regime termometrico più caldo, anche fino a + 5 °C, sia nelle minime che nelle massime, con i regimi pluviometrici più umidi (sopra i 1500 mm).

Tale correlazione conferma le tendenze a suo tempo osservate a livello nazionale e regionale da Perini et al. (2007) che indicavano in questo andamento, un possibile segnale di cambiamento climatico. Sarà di grande interesse confermare, con una serie storica più lunga, la tendenza di medio periodo in questa relazione, ritenuta cruciale nell'ambito dell'analisi degli episodi di siccità e di aumentata aridità (Venezian Scarascia et al. 2006).

Alcuni eventi meteorologici caratteristici

In questo paragrafo si segnalano alcuni eventi meteorologici significativi osservati nell'ultimo decennio, con un breve commento a livello nazionale e regionale. Sono individuati gli anni e/o le stagioni più calde e più fredde e ad esse sono associati i territori maggiormente esposti a tali escursioni. Tali andamenti mostrano come, al di là dei possibili cambiamenti climatici, le condizioni meteo a terra siano comunque oscillanti da un anno all'altro, da stagione a stagione, e questo appare di particolare rilievo per l'analisi dello stato di salute degli ecosistemi forestali.

Considerando ad esempio il periodo estivo, due estati consecutive hanno rappresentato, nel decennio, i due estremi climatici. L'estate 2002 è stata, quasi ovunque, fredda e piovosa con temperature piuttosto inferiori alle medie del periodo: ad es., -8% a Passo Lavazè (TRE1) e con precipitazioni sempre più abbondanti della media comprese tra + 7% a Tarvisio (FRI2) e addirittura + 160% a Cala Violina (TOS2). In Piemonte tale fenomeno è particolarmente evidente: sono stati osservati 4 episodi con precipitazioni superiori a 300 mm giornalieri, in netta controtendenza rispetto agli altri anni della decade, anche dell'anno 2000 in cui è stato osservato un episodio alluvionale a carico del fiume Po (Fig. 4).

L'estate 2003, al contrario, è risultata molto calda e asciutta, con temperature in forte ascesa. Gli scarti dalla media del periodo sono stati compresi tra + 7% a Piano Limina (CAL1) e + 24% a La Thuile (VAL1) e Renon (BOL1). Le precipitazioni sono state fortemente deficitarie. La perdita di apporti meteorici è stata ovunque evidente, compresa tra - 8% a Passo Lavazè (TRE1) e - 62% a Renon (BOL1).

Per la stagione invernale, gli inverni 2004-2005 e 2006-2007 hanno rappresentato periodi particolar-

Fig. 2 - Relazione statistica tra precipitazione annua e media annua delle temperature massime nell'insieme di riferimento.

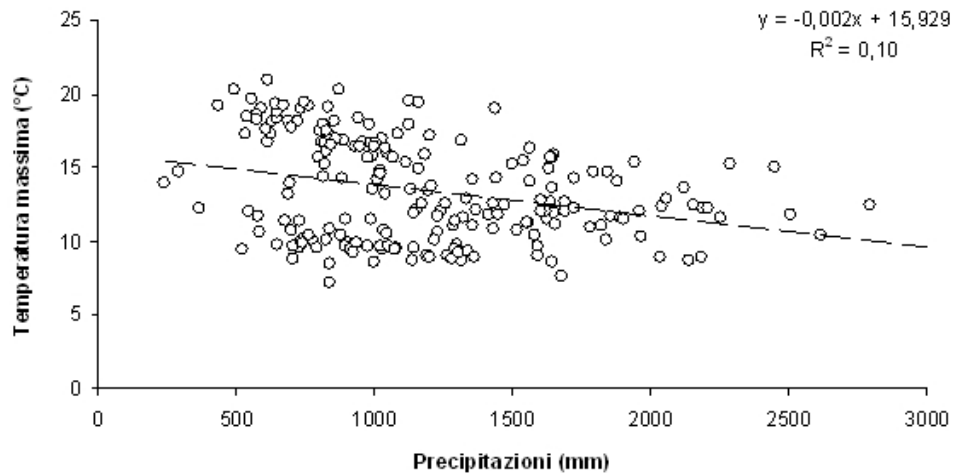


Fig. 3 - Relazione statistica tra precipitazione annua e media annua delle temperature minime nell'insieme di riferimento.

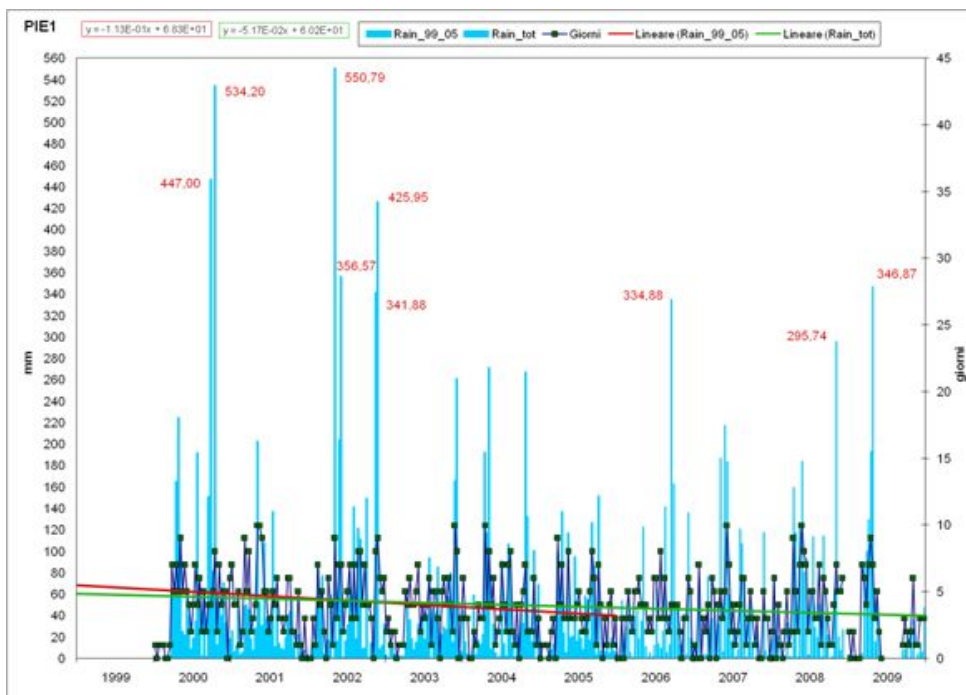
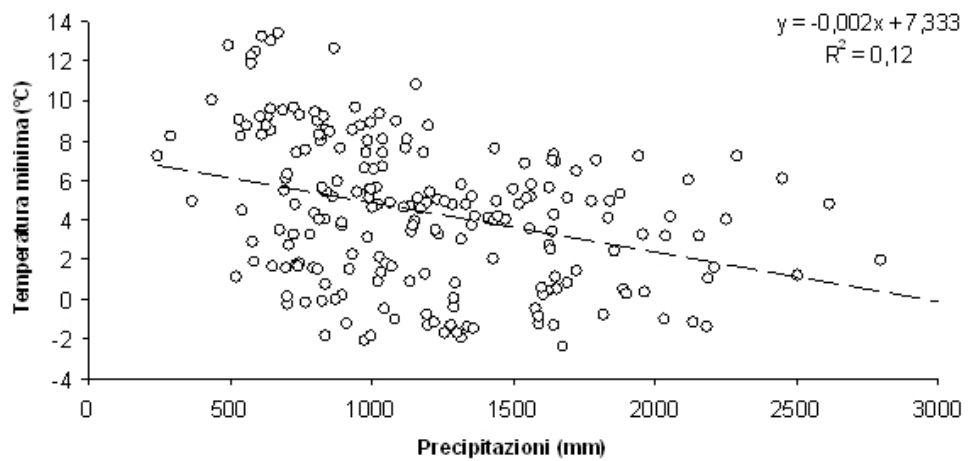


Fig. 4 - Andamento pluviometrico decennale misurato nella stazione PIE1.

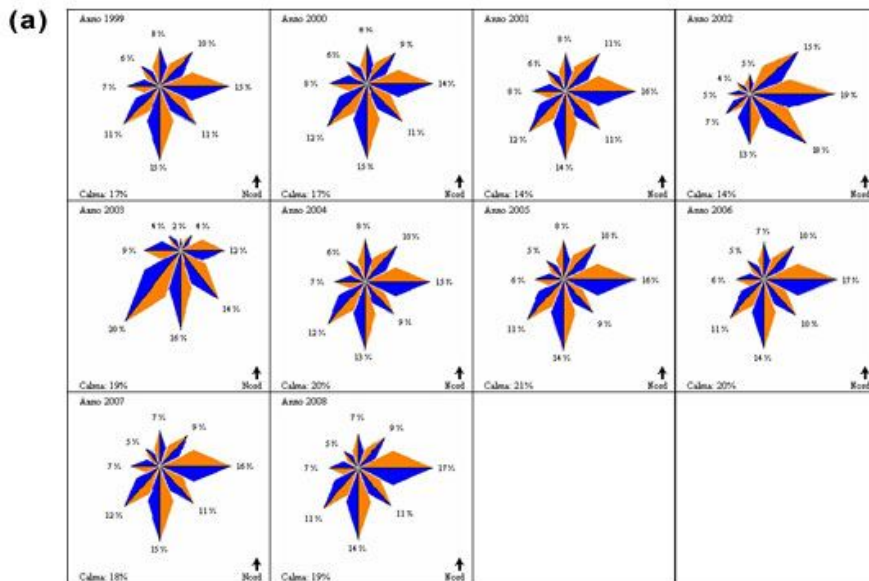
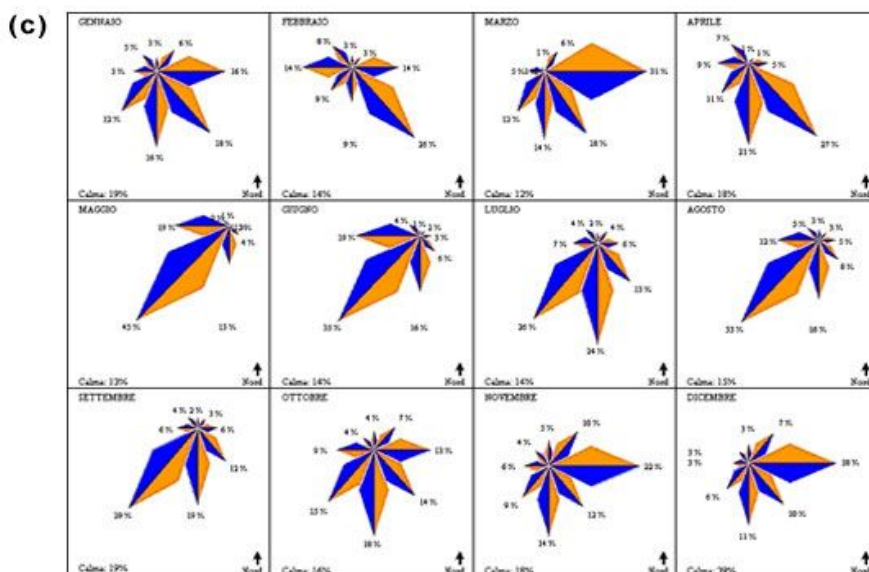
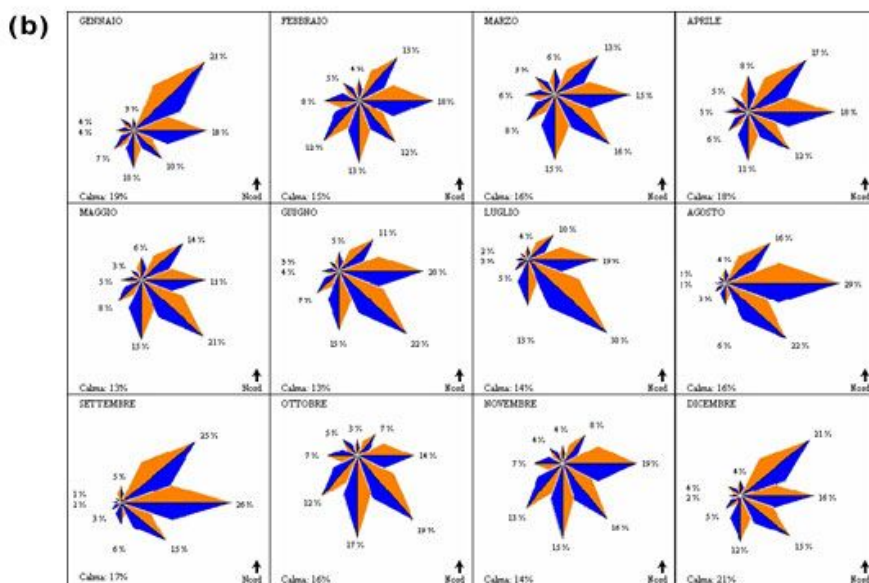


Fig. 5 - Analisi della direzione e dell'intensità del vento filato nella stazione FRI2. (a) Media annua 1999-2008. (b) Statistica mensile dell'anno 2002. (c) Statistica mensile dell'anno 2003.



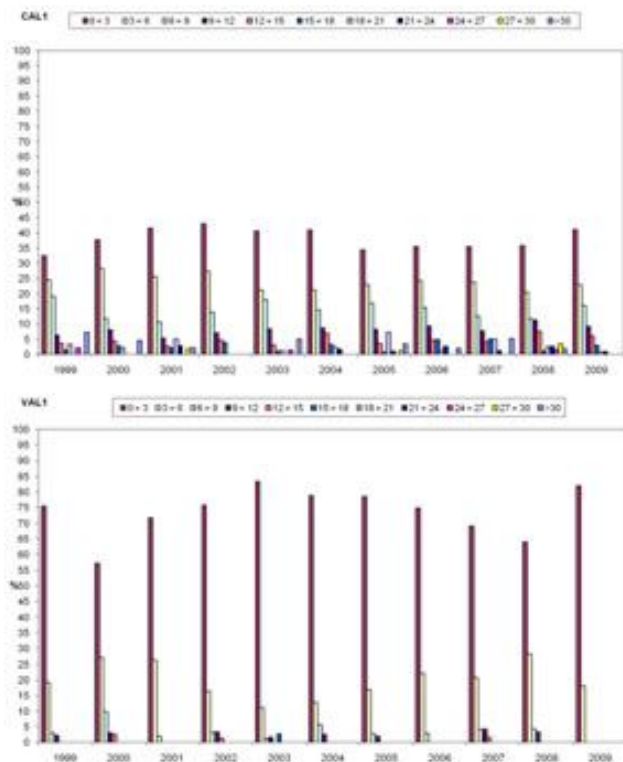


Fig. 6 - Distribuzione della pioggia in classi di intensità. (a) Area CAL1. (b) Area VAL1.

mente rigidi: rispetto alle medie periodali l'inverno 2004-2005 ha fatto registrare temperature comprese tra -2% in Valsessera (PIE1) e addirittura -72% in località Brasimone (EMI2). Gli ultimi mesi dell'annata 2009 preludono ad una nuova stagione fredda particolarmente rigida per il rapido abbassamento delle temperature minime osservato durante i mesi invernali, che hanno raggiunto i -22 °C al Devero (PIE3) nel mese di dicembre. Ciò a testimoniare come la normale e ampia variabilità climatica espressione di regimi atmosferici complessi quale quello Mediterraneo non possa essere di per sé considerata come segnale sufficiente di cambiamento climatico.

Il regime dei venti come esempio di anomalia climatica

Un ulteriore esempio di analisi sulle variazioni climatiche e sugli eventi anomali è prodotto dall'elaborazione dei dati di direzione e intensità del vento che hanno mostrato nel corso dell'ultimo decennio una configurazione spaziale ed una distribuzione stagionale piuttosto omogenee, tranne che in alcuni periodi particolarmente rilevanti. Si riportano (Fig. 5) direzione e intensità media del vento filato per anno (quadro a) e nei dodici mesi dell'anno 2002 (quadro b) e 2003 (quadro c) nella stazione di FRI-2.

Si osserva come entrambe le variabili siano distribuite in modo piuttosto omogeneo negli anni, tranne che nel 2003, rappresentativo di una anomalia, in linea con l'andamento delle altre grandezze meteorologiche, sia in Friuli che nell'intero territorio nazionale. In tale anno, si è registrata una direzione prevalente da sud-ovest, in controtendenza rispetto alla direzione prevalente da est rilevata in tutti gli altri anni e che ha coinciso con un generalizzato aumento termico ed una diminuzione delle precipitazioni.

Comparando un anno normale (2002) con l'anno anomalo (2003), l'analisi dei dati mensili evidenzia come sia stato il periodo primaverile-estivo (da maggio a settembre) 2003 ad aver rappresentato una forte anomalia, con direzione del vento prevalente da sud-est a differenza dell'anno precedente in cui negli stessi mesi era stata registrata, come di consueto, una direzione prevalente da est con intensità abbastanza rappresentative anche da nord-est e sud-est.

Bilancio idrologico

Il bilancio idrologico di un campione di terreno in un determinato intervallo temporale può essere rappresentato dalla formula (eqn. 1):

$$R_f = R_i + P_u - ET - S$$

dove R_i e R_f sono le riserve idriche, rispettivamente all'inizio ed alla fine del periodo, P_u rappresenta le precipitazioni utili, ET è l'evapotraspirazione e S è il surplus, cioè acqua che esce dal campione per percolazione negli strati più profondi.

Il concetto di precipitazione utile deriva dalla considerazione che l'acqua non penetra completamente nel terreno, ma che una sua frazione esce dal sistema per scorrimento superficiale. Questa frazione dipende da numerosi fattori tra cui la pendenza, la permeabilità del suolo e l'intensità della precipitazione stessa. Per quest'ultima variabile i dati raccolti hanno mostrato che la distribuzione percentuale della pioggia totale per classi di intensità oraria, nonostante la variabilità annuale, ha un andamento proprio per ciascun sito. Nella Fig. 6 (quadri a e b) si riportano come esempio gli andamenti di CAL1 e VAL1. Si può osservare che in CAL1 la pioggia con intensità fino a 3 mm h⁻¹ risulta essere il 32-41% della piovosità totale, mentre in VAL1 la stessa raggiunge il 57-83%.

Nell'ambito del progetto FutMon, corrispondente all'ultimo biennio di osservazioni (2010-2011), è stata inserita l'azione dimostrativa D3 mirata a impostare e validare modelli per la stima del bilancio idrologico.

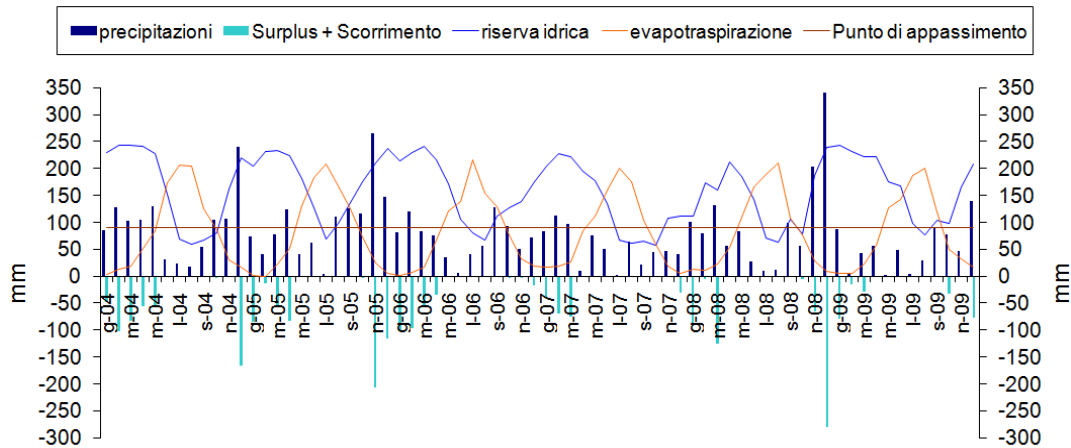


Fig. 7 - Bilancio idrologico 2004-2009 nell'area LAZ1.

co mediante la misura del contenuto idrico del terreno con appositi sensori (TDR), replicati tre volte a tre livelli di profondità. L'Azione ha interessato 5 aree della rete (ABR1, EMI1, FRI2, LAZ1 e TRE1); lo stesso monitoraggio era tuttavia già presente senza repliche (fine 2003-inizio 2004) nelle aree EMI1, LAZ1 e PIE1.

Si riporta in Fig. 7 l'andamento mensile del bilancio idrologico relativo al sito di LAZ1 nel periodo 2004-2009. Il bilancio è stato eseguito sui tre livelli di profondità (0-20, 20-40 e 40-60 cm), ma per motivi di visualizzazione è riportato l'integrale sull'orizzonte 0-60 cm. L'evapotraspirazione è stata stimata con la formula di Thornthwaite ed è stata attribuita ai tre strati proporzionalmente alla massa radicale presente nello strato relativo.

Il grafico evidenzia il rischio di siccità più o meno esteso nel periodo luglio-settembre, ad eccezione del 2005 nel solo mese di luglio e del 2009 nel solo mese di agosto. Il verificarsi di deficit idrico provoca una riduzione dell'attività traspiratoria delle piante mediante chiusura degli stomi, con conseguente minore produzione di sostanza organica rispetto a quella potenzialmente consentita dagli altri parametri climatici. Come dato globale, si evidenzia che il 43% circa della pioggia totale si è allontanata dal sistema per scorrimento superficiale e percolamento negli strati profondi.

Prospettive di ricerca

Il monitoraggio meteo nell'ambito della rete Conecofor prosegue attualmente su tutte le aree attrezzate. Ciò garantisce la continuità della banca dati costituita a partire dal 1997. In tale contesto, particolare attenzione sarà dedicata all'individuazione degli eventi estremi e alle variazioni significative degli andamenti meteorologici annuali dal riferimento climatico, come raccomandato dall'Organizzazione Me-

teorologica Mondiale nell'ambito degli studi di monitoraggio continuo sul cambiamento climatico.

Sarà implementata inoltre una attività di costruzione e validazione di indici climatici, parziali e sintetici, legati alla valutazione dei possibili impatti del cambiamento climatico a scala regionale sugli ecosistemi forestali (Incerti et al. 2007, Salvati et al. 2005, 2008, 2009). Continua, infine, sulla base delle informazioni climatiche e pedologiche disponibili, il monitoraggio permanente del bilancio idrologico in siti campione, quale contributo agli studi sullo stress idrico in ambiente forestale. Verrà implementato infine l'approccio statistico alle serie storiche disponibili che rappresentano un patrimonio di dati sempre più rilevante ed interessante per le specifiche applicazioni di monitoraggio forestale.

Ringraziamenti

Si ringrazia Bruno Petriccione che per anni ha coordinato i progetti in argomento. Si ringraziano inoltre Enrico Pompei e il personale del servizio Conecofor del Corpo Forestale dello Stato che costituiscono il *Focal Centre* nazionale. Si ringraziano infine i responsabili e gli operatori delle aree permanenti della Rete Nazionale Conecofor che con il loro prezioso lavoro hanno consentito la raccolta dei dati.

Bibliografia

- Costantini A, Amoriello T (2000). Indagini meteorologiche. In: "Programma Nazionale Integrato per il Controllo degli Ecosistemi Forestali". Ministero delle Politiche Agricole e Forestali - Corpo Forestale dello Stato, Roma, pp. 145-151.
- Incerti G, Feoli E, Giovacchini A, Salvati L, Brunetti A (2007). Drought estimation through a neural network approach. *International Journal of Biometeorology* 51: 253-263. - doi: [10.1007/s00484-006-0071-6](https://doi.org/10.1007/s00484-006-0071-6)
- Perini L, Salvati L, Ceccarelli T (2007). Atlante agroclimati-

- co II - Scenari climatici. Collana Climagri n. 52, CRA-U-CEA, Roma, pp. 72. [Atlante + CD]
- Salvati L, Libertà A, Brunetti A (2005). Bio-climatic evaluation of drought severity: a computational approach using dry spells. *Biota - Journal of Biology and Ecology* 5: 55-65.
- Salvati L, Petitta M, Ceccarelli T, Perini L, Di Battista F, Venezian Scarascia ME (2008). Italy's renewable water resources as estimated on the basis of the monthly water balance. *Irrigation and Drainage* 57: 507-515. - doi: [10.1002/ird.380](https://doi.org/10.1002/ird.380)
- Salvati L, Venezian Scarascia ME, Zitti M (2009). Monitoring drought severity in agriculture through a synthetic index based on dry periods: a case study in the Mediterranean basin. *Irrigation and Drainage* 58 (5): 596-606. - doi: [10.1002/ird.441](https://doi.org/10.1002/ird.441)
- Venezian Scarascia ME, Di Battista F, Salvati L (2006). Water resources in Italy: availability and agricultural uses. *Irrigation and Drainage* 55: 115-127. - doi: [10.1002/ird.222](https://doi.org/10.1002/ird.222)