

Ecologia
Ecology

Clima, mutamenti climatici ed effetti sulle biocenosi del Delta del Po. Il Progetto Climaparks*

LUCIANO MASSETTI

Istituto di Biometeorologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Giovanni Caproni 8 - 0145 Firenze (Italy) - E-mail: l.massetti@ibimet.cnr.it

STEFANO MAZZOTTI

Museo Civico di Storia Naturale di Ferrara, Via Filippo De Pisis 24 - 44121 Ferrara (Italy) - E-mail: s.mazzotti@comune.fe.it

RIASSUNTO

Il Programma per la cooperazione transfrontaliera Interreg Italia/Slovenia 2007-2013 denominato Progetto Climaparks ha lo scopo di evidenziare gli effetti dei cambiamenti climatici di aree protette ed in particolare sulla flora e la fauna e definire un ventaglio di strategie gestionali per contrastare effetti negativi in modo che tali strategie possano essere un riferimento per l'intera area. Per analizzare il clima del Delta del Po e i suoi cambiamenti si è operata una ricerca di fonti storiche dei rilevamenti meteorologici di stazioni ubicate nei pressi dei siti di monitoraggio (Bosco Mesola, Ferrara e Pineta di Classe, Ravenna). L'indagine ha permesso di individuare alcune stazioni meteo in possesso di serie storiche validate da istituzioni quali il Servizio Meteorologico ERMES DEXTER della regione Emilia-Romagna, ARPAV della Regione Veneto e della Provincia di Ferrara preposte alla registrazione di dati meteorologici che hanno fornito le loro banche dati. Da maggio 2011 nell'ambito del programma Climaparks è stata installata una stazione meteorologica completa di rilevatori di temperatura, umidità relativa, precipitazioni, direzione e velocità del vento gestita da ARPA Regione Emilia-Romagna, che ci ha permesso di rilevare in tempo reale i parametri meteorologici di questa stazione. L'analisi delle serie storiche ha confermato una tendenza generale all'aumento delle temperature nell'area di studio mostrando un significativo aumento delle temperature massime al ritmo di $+0,4^{\circ}\text{C}$ per decade causato principalmente dall'aumento delle temperature primaverili ed estive. Dal 1990 in poi questa tendenza si è ulteriormente accentuata. Infatti sia per S1 che S3 la tendenza all'aumento è risultata significativa per le temperature minime, medie e massime ad un ritmo circa doppio ($+0,8^{\circ}\text{C}$ per decade corrispondente ad un aumento di 8°C per secolo).

Parole chiave: Mutamenti climatici, Delta del Po, Progetto Climaparks, biocenosi.

ABSTRACT

Climate, climate change and effects on biocoenosis of the Po River Delta. The Climaparks Project.

The Program for cross-border Interreg Italy / Slovenia 2007-2013 called Climaparks Project aims to highlight the impacts of climate change in protected areas and in particular on the flora and fauna and define a range of management strategies to mitigate negative effects so that such policies could be a reference for the entire area. To analyze the climate of the Po Delta and its changes we have made a search of the historical sources of the measurements of meteorological stations located in the vicinity of the monitoring sites (Mesola Wood, Ferrara and Classe Pine forest, Ravenna). The survey identified some weather stations in possession time series validated by institutions such as the Ermes DEXTER Meteorological Service of Emilia-Romagna, ARPAV Meteorological Service of the Veneto Region and the Province of Ferrara involved in the registration of meteorological data that have provided their databases. From May 2011 as part of the Climaparks program has been installed a weather station complete with sensors for temperature, relative humidity, rainfall, wind speed and direction and managed by ARPA Emilia-Romagna Region, which has allowed us to detect in real time the parameters weather for this station. Since 1990 the time series analysis confirmed a general trend of rising temperatures in the study area showing a significant increase of the minimum, average and maximum temperatures at a rate of $+0,8^{\circ}\text{C}$ per decade corresponding to an increase of 8°C per century.

Key word: climate change, Po Delta River, Climaparks Project, biocoenosis.

INTRODUZIONE

Il quarto rapporto di valutazione sullo stato del clima del 2007 prodotto dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) prefigura sei scenari di mutamenti climatici globali che prendono in considerazione diverse concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica. Con lo scenario più otti-

mistico ci si attende un incremento medio di temperatura rispetto al periodo 1980-1999 di $1,8^{\circ}\text{C}$; quello più pessimistico prefigura un incremento di 4°C che produrrebbe fenomeni di destabilizzazione del sistema climatico globale difficilmente prevedibili. In Italia le principali conseguenze legate a questo fenomeno sembrano riguardare soprattutto la riduzione delle precipitazioni piovose e il susseguirsi di fenomeni estremi,

* Studio finanziato nell'ambito del Progetto Climaparks, Programma per la cooperazione transfrontaliera Italia/Slovenia 2007-2013.

quali piogge intense, periodi di siccità e ondate di calore. Per quanto riguarda le temperature in Italia si registra un progressivo aumento della media annuale di circa 1 °C per secolo equamente distribuito su tutte le stagioni, anche se a partire dal 1980 l'incremento maggiore ha riguardato soprattutto la primavera e l'estate (BRUNETTI *et al.*, 2006). In un recente lavoro, basato su studi del CNR-ISAC, si è constatato che le temperature medie annuali in Italia sono cresciute negli ultimi due secoli di 1,7 °C (pari a oltre 0,8 °C per secolo), ma il contributo più rilevante a questo aumento è avvenuto in questi ultimi 50 anni, per i quali l'incremento è stato di circa 1,4 °C (GAUDIOSO, 2010). L'ultimo quarantennio è stato caratterizzato da temperature costanti, con una leggera diminuzione tra il 1970 e il 1980. Dagli anni '80 al 2008 si registra un nuovo incremento delle temperature medie annuali, con un aumento complessivo di circa 1 °C (DI PALO, 2011). Le temperature massime sono aumentate più rapidamente di quelle minime sia a livello annuale sia stagionale soprattutto negli ultimi decenni, in oltre, si è registrata una progressiva diminuzione delle frequenze di temperature inferiori a 0 °C che, soprattutto nel Nord Italia, risultano dimezzate (PERINI & RANUZZI, 2002). L'indice di aridità, calcolato come il rapporto tra i valori annuali delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione di riferimento, evidenzia una condizione di aumentata aridità nel Centro e Sud Italia, con una transizione dell'area del Delta del Po verso la classe climatica più secca (SALVATI *et al.*, 2011).

In linea con gli scenari di riferimento presentati dall'IPCC, in l'Italia si prevede per il 2030-2050 un incremento delle temperature di 3,5-4,5 °C. Secondo l'ENEA la temperatura media annua aumenterà di 0,1-0,4 °C per decennio, con un incremento maggiore in estate ed una riduzione della durata della stagione invernale, mentre le precipitazioni diminuiranno dell'1% per decade, con una marcata riduzione nei mesi estivi. A questo si assocerà un aumento della frequenza degli eventi estremi, in particolare di fenomeni alluvionali nel Nord Italia e di fenomeni siccitosi nel Centro-Sud. Riguardo alle precipitazioni si registra un trend negativo non sempre statisticamente significativo, mediamente del 5% per secolo (BRUNETTI *et al.*, 2006). La distribuzione delle piogge risulta modificata soprattutto rispetto alle stagioni, con una riduzione significativa nei mesi invernali (-39%) e primaverili (-30%), un leggero calo in estate (-17%) e un lieve aumento in autunno (13%) (PERINI & RANUZZI, 2002). Il decremento più rilevante nel numero di giorni pioggia si riscontra in inverno, con una diminuzione pari al 14% (BRUNETTI *et al.*, 2001a). Nel Nord-Est dell'Italia si registra invece una rilevante riduzione dei giorni pioggia nei mesi estivi ed autunnali tra il 1920 e il 1998, con incremento del numero di eventi piovosi di maggiore intensità (BRUNETTI *et al.*, 2001b). L'intensità media degli eventi piovosi mostra una tendenza all'aumento degli eventi estremi di breve durata in particolare nei mesi estivi. La quantità di precipitazioni quindi mediamente diminuisce, ma si tratta di piogge più violente concentrate in archi temporali più brevi; inoltre appare l'evidenza di un incremento del numero dei periodi di siccità e della loro durata.

Il quadro generale dell'assetto climatico nel nostro Paese sarà connotato, quindi, da un trend dell'ordine del grado per secolo con un incremento più accentuato delle temperature minime; le precipitazioni manifesteranno una linea di tendenza negativa

(CASTELLARI & ARTALE, 2009). Tali tendenze sono state confermate anche a scala regionale. In Emilia-Romagna, infatti, confrontando il periodo di riferimento 1961-1990 al periodo recente (1991-2008) si è riscontrato un aumento delle temperature pari a 1,1 °C. Le precipitazioni mostrano decrementi medi dell'ordine del 5% con ampie oscillazioni a seconda dei settori territoriali: nelle zone montane si è osservata una diminuzione marcata mentre in pianura si è riscontrato un lieve incremento (MARLETTO *et al.*, 2010).

Cambiamenti climatici e biocenosi

I cambiamenti climatici in atto hanno effetti diretti sulla biodiversità. Nei possibili scenari futuri sono previsti cambiamenti nelle fasi vitali delle specie florofaunistiche quali spostamenti latitudinali e altitudinali di piante ed animali con sostanziali modificazioni degli areali, anticipazione delle fioriture, delle migrazioni, del risveglio dal letargo e della riproduzione, effetti sull'abbondanza di diverse specie e sulle loro interazioni (PEÑUELAS & FILELLA, 2001; CRISTALDI & SZPUNAR, 2006). Ciò porterebbe entro il 2080 alla perdita del 62% delle specie vegetali montane, e la perdita del 20% nelle aree umide costiere. In un territorio come quello italiano, che rappresenta una delle aree mediterranee a maggior concentrazione di specie, il riscaldamento globale potrebbe comportare una significativa perdita di biodiversità (SALA *et al.*, 2000). Alcuni modelli predittivi hanno mostrato come nell'area mediterranea un gran numero di specie endemiche sarà fortemente minacciata dai cambiamenti climatici futuri. Ciò inciderà significativamente sulla ricchezza specifica e sulla composizione delle biocenosi (MAIORANO *et al.*, 2011). I risultati sono già evidenti per diversi vertebrati, in particolare gli anfibi, che presentano preoccupanti estinzioni causate da repentini cambiamenti delle condizioni climatiche della fascia tropicale (PARMESAN & YOHE, 2003; ROOT *et al.*, 2003; THOMAS *et al.*, 2004; KIESECKER *et al.*, 2001; POUNDS, 2001; STOKSTAD, 2004). Recenti studi hanno dimostrato come negli ultimi 30 anni alcune specie stiano modificando l'inizio del periodo riproduttivo anticipando o posticipando l'inizio delle attività riproduttive di diversi giorni (TODD *et al.*, 2011). L'incremento di temperature inoltre influisce sui tempi di sviluppo delle larve con una riduzione del tempo di metamorfosi e conseguente diminuzione della taglia (BLAUSTEIN *et al.*, 2010). Uno studio condotto su anfibi e rettili della penisola iberica ha mostrato uno scenario che prevede l'estinzione di diverse specie a causa delle condizioni di aridità sempre più accentuate (ARUJO *et al.*, 2006). Anche in Italia le popolazioni di Anfibi sembrano essere in declino a causa di numerosi fattori, fra i quali il cambiamento climatico sembra essere una delle cause di stress più o meno direttamente determinati (D'AMEN & BOMBI, 2009). Tali situazioni di crisi prodotte da mutamenti climatici sono già state rilevate anche per l'area del Delta del Po sia per gli anfibi (MAZZOTTI *et al.*, 2003) sia per i piccoli mammiferi (Soricomorpha, Rodentia) (SZPUNAR *et al.*, 2008).

Il progetto Climaparks: Cambiamenti climatici e gestione delle aree protette

Il Programma per la cooperazione transfrontaliera Interreg Italia/Slovenia 2007-2013 denominato Progetto Climaparks ha lo

scopo di evidenziare gli effetti dei cambiamenti climatici di aree protette ed in particolare sulla flora e la fauna e definire un ventaglio di strategie gestionali per contrastare effetti negativi in modo che tali strategie possano essere un riferimento per l'intera area. I territori interessati da Climaparks sono costituiti da ecosistemi naturali di notevole importanza compresi nelle aree parco della Slovenia e delle tre regioni italiane, Friuli Venezia Giulia, Veneto ed Emilia Romagna, compreso i Parchi regionali del Delta del Po (Veneto e Emilia Romagna) e il Parco regionale della Vena del Gesso Romagnolo. Il progetto mira alla conservazione dell'ambiente naturale dell'area programma e al contenimento della perdita della biodiversità. Il Museo Civico di Storia Naturale di Ferrara ha assunto il ruolo di partner scientifico (expertise) per l'effettuazione dei monitoraggi per il Parco Regionale del Delta del Po dell'Emilia Romagna grazie alle ricerche faunistiche ed ecologiche sulle zoocenosi avviate già da diversi anni finalizzate alla costituzione di banche dati che riguardano alcuni indicatori bioclimatici. Sono state individuate le seguenti specie e tassocenosi allo scopo di attuare due tipi diversi di monitoraggi: 1) Anfibi: sono stati monitorati i tempi di attività riproduttive stagionali di rana agile (*Rana dalmatina*) correlati ai parametri meteorologici (temperatura dell'acqua e dell'aria, precipitazioni, umidità relativa dell'aria) monitorati in parallelo allo scopo di individuare relazioni fra fenologia della specie e andamenti climatici; 2) Coleotteri Carabidi e micro-mammiferi (Soricomorpha, Rodentia): sono state monitorate le strutture di comunità per l'analisi della composizione qualitativa (numero e ripartizione delle frequenze) delle specie che le compongono correlate ad aree circoscritte. I dati acquisiti sono comparati con quelli pregressi rilevati in analoghe ricerche compiute fin dagli anni '70 del Novecento per l'identificazione di eventuali trend (ad es. modificazione dei tempi riproduttivi, variazione delle frequenze delle specie componenti le comunità, scomparsa o sostituzione di specie) attribuibili a modificazioni

delle condizioni climatiche dell'area indagata.

MATERIALI E METODI

Per analizzare il clima del Delta del Po e i suoi cambiamenti si è operata una ricerca di fonti storiche dei rilevamenti meteorologici di stazioni ubicate nei pressi dei siti di monitoraggio (Bosco Mesola, Ferrara e Pineta di Classe, Ravenna). L'indagine ha permesso di individuare alcune stazioni meteo in possesso di serie storiche validate da istituzioni quali il Servizio Meteorologico ERMES DEXTER della regione Emilia-Romagna, ARPAV della Regione Veneto e della Provincia di Ferrara preposte alla registrazione di dati meteorologici che hanno fornito le loro banche dati. Da maggio 2011 nell'ambito del programma Climaparks è stata installata una stazione meteorologica completa di rilevatori di temperatura, umidità relativa, precipitazioni, direzione e velocità del vento gestita da ARPA Regione Emilia-Romagna, che ci ha permesso di rilevare in tempo reale i parametri meteorologici di questa stazione. Elenchiamo di seguito (Tab. 1) le fonti che hanno permesso il confronto con i dati rilevati durante il monitoraggio con le strumentazioni installate.

Le serie storiche sono state sottoposte ad un processo di controllo di qualità e completezza. In particolare le annate e le stagioni che risultavano avere una percentuale di dati mancanti superiore all'1% sono state rispettivamente escluse dalle analisi climatiche annuali e stagionali. Le serie sono state sottoposte ad un test di omogeneità SNHT (ALEXANDERSSON, 1986) ed in particolare la serie S2 ha mostrato una sospetta discontinuità tra il 1990 e il 1991 dove il test presenta un massimo che è un indicatore di una discontinuità in quel punto. I metadati della stazione non hanno permesso di verificare la causa di questa potenziale discontinuità, pertanto è stato deciso di limitare

Codice	Stazione	Periodo disponibile	Periodo analizzato
S1	Pineta di Classe (Ravenna)	1948-2011	1948-2011
S2	Bosco Mesola (Ferrara)	1986-2012	1992-2012
S3	Porto Tolle (Rovigo)	1989-2012	1990-2012

Tab. 1. Serie storiche di rilevamento dei dati meteorologici in tre stazioni nel territorio del Delta del Po.

Indice	Descrizione	Aggregazione	Formula
TX	Media delle Temperature massime	A - S	
TM	Media delle Temperature medie	A - S	
TN	Media delle Temperature minime	A - S	
P	Precipitazione cumulata	A - S	
NP	Giorni di pioggia (p>1mm)	A - S	
PF	Pluviofattore di Lang (1915)	A	P/TM
MART	Indice di de Martonne	A	P/(TM+10)
Q	Quoziente pluviometrico di Emberger	A	100*P/(TC ² -TF ²)

Tab. 2. Indicatori bioclimatici e di aridità e livelli di aggregazione annuale (A) e stagionale (S); TC Temperatura media massima del mese più caldo in °C, TF Temperatura media minima del mese più freddo in °C

1) Temperatura media massima del mese più caldo in °C, TF Temperatura media minima del mese più freddo in °C

PF	Clima	MART	Clima	Q	Clima
>160	Umido	<5	Arido	>90	Umido
160-100	Temperato umido	5-10	Semiarido	90-50	Sub-umido
100-60	Temperato caldo	10-20	Secco-sub-umido	50-30	Semiarido
60-40	Semiarido	20-30	Sub-umido	<30	Arido
<40	Steppico	30-60	Umido		
		>60	Per-umido		

Tab. 3. Scale di valori degli indici e delle corrispettive categorie climatiche: Pluviofattore di Lang (PF); Indice di de Martonne (MART); Quoziente pluviometrico di Emberger (Q).

le analisi di questa stazione al periodo 1992-2012 (il 2001 e il 2004 sono stati esclusi dall'analisi del trend annuale per la mancanza di una quantità significativa di dati nel periodo autunnale). S1 e S3 sono risultate complete rispettivamente per i periodi 1948-2011 e 1990-2012.

Le serie storiche degli indicatori bioclimatici e di aridità riportati in tabella 2 sono stati analizzati per identificare eventuali trend annuali (A) e stagionali (S); le scale di valori degli indici e delle corrispettive categorie climatiche sono riportate in tabella 3.

RISULTATI

Nelle tre figure 1, 2 e 3 sono rappresentati i valori mensili termo-pluviometrici delle tre stazioni di rilevamento che mostrano un regime termico analogo. La stazione Pineta di Classe (S1) è caratterizzata da un valore annuale medio della TX (19,2 °C) leggermente superiore alle altre due stazioni (18,3 °C, 18,6 °C) (Fig. 1); la stazione di Bosco Mesola (S2) risulta essere caratterizzata da un'estate leggermente più fresca rispetto ad S1 sia per le minime (0,7 °C) sia per le massime (1 °C) (Fig. 2). Le tre stazioni sono caratterizzate da un regime di piogge omogeneo sia come totale cumulado annuale (S1 P = 673 mm; S2 P = 697 mm; S3 P = 706 mm), sia come distribuzione nell'arco dei mesi dell'anno.

Nelle tabelle 4, 5 e 6 sono riportate le serie storiche delle medie annuali di tutti gli indici per le tre stazioni di rilevamento. L'analisi dei trend annuali e stagionali è stata effettuata per il

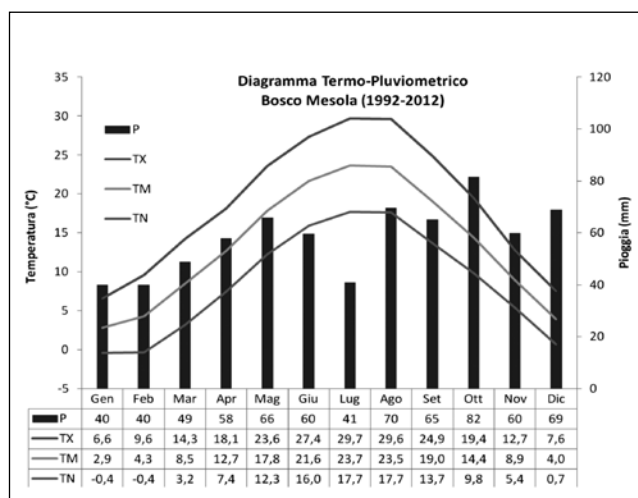


Fig. 2. Diagramma termo-pluviometrico della stazione Bosco Mesola (1992-2012): temperatura mini ma (TN), temperatura media (TM), temperatura massima (TX) e pioggia (P).

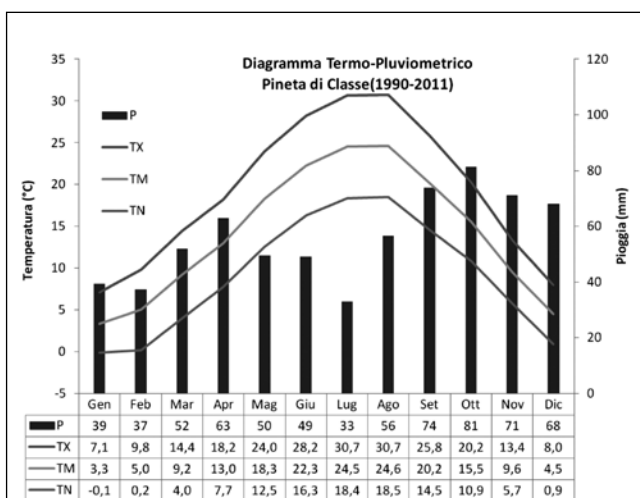


Fig. 1. Diagramma termo-pluviometrico della stazione Pineta di Classe (1990-2011): temperatura mini ma (TN), temperatura media (TM), temperatura massima (TX) e pioggia (P).

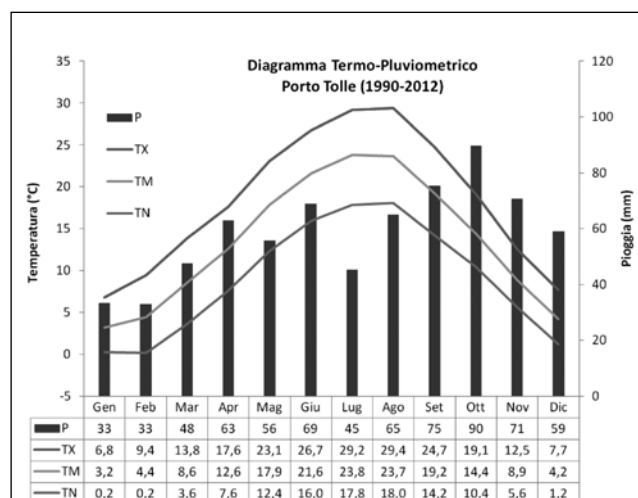


Fig. 3. Diagramma termo-pluviometrico della stazione Porto Tolle (1990-2012): temperatura mini ma (TN), temperatura media (TM), temperatura massima (TX) e pioggia (P).

anno	TX °C	TN °C	TM °C	P mm	PN ng	PF	MART	Q
1948	18,2	10,8	14,5	614,2	65,0	28,7	1,4	42,4
1949	16,6	9,4	13,0	675,4	77,0	26,9	-0,3	52,0
1950	18,3	11,0	14,6	580,8	70,0	29,9	-0,1	39,6
1951	19,4	9,5	14,5	953,8	94,0	30,7	-0,5	65,9
1952	19,2	8,5	13,9	604,0	78,0	32,3	-0,5	43,5
1953	18,6	7,7	13,1	774,0	70,0	29,6	-2,6	59,0
1954	18,4	7,6	13,0	604,4	78,0	29,5	-2,0	46,6
1955		7,1		660,0	80,0			
1956	15,6	8,1	11,8	517,8	74,0	28,5	1,3	43,7
1957	17,0	8,1	12,6	546,8	69,0	28,2	-2,3	43,4
1958	17,5	8,4	12,9	594,4	68,0	28,1	-2,6	46,0
1959	17,6	8,7	13,2	675,1	76,0	28,9	-1,8	51,3
1960	16,7	9,7	13,2	786,2	101,0	27,2	-0,9	59,6
1961	18,0	9,9	14,0	562,8	65,0	26,9	-1,5	40,3
1962	16,8	9,0	12,9	496,2	78,0	29,4	-0,8	38,5
1963	16,6	9,1	12,9	650,8	89,0	28,4	-3,8	50,6
1964				762,6	83,0			
1965	16,8	9,3	13,1	544,0	75,0	28,2	-0,6	41,7
1966	16,8	10,4	13,6	959,4	86,0	26,5	-3,6	70,5
1967	16,9	10,5	13,7	699,2	66,0	27,3	-1,5	51,0
1968	17,1	9,9	13,5	667,4	87,0	28,7	-1,2	49,4
1969	18,0	10,3	14,2	630,2	81,0	28,9	-1,9	44,5
1970	16,5	9,2	12,9	532,6	83,0	26,9	-0,4	41,4
1971	17,1	10,3	13,7	592,0	68,0	29,1	0,6	43,2
1972	16,8	10,8	13,8	920,6	91,0	27,0	3,4	66,8
1973	17,2	10,6	13,9	757,0	69,0	28,3	1,2	54,4
1974	17,3	11,1	14,2	494,2	75,0	28,3	2,0	34,8
1975	17,6	10,7	14,2	632,2	63,0	28,0	1,4	44,7
1976	16,7	9,7	13,2	681,0	88,0	28,1	-0,9	51,6
1977	17,2	10,4	13,8	487,8	62,0	28,0	0,0	35,3
1978	16,6	9,7	13,2	617,6	83,0	26,9	1,2	47,0
1979	17,3	10,3	13,8	796,4	66,0	27,3	-2,2	57,6
1980	16,5	9,8	13,1	899,2	90,0	28,5	-0,3	68,5
1981	17,3	10,2	13,8			27,6	-2,5	
1982	17,4	11,0	14,2	766,0	73,0	27,9	0,9	54,0
1983	17,1	9,8	13,4	396,6	52,0	29,9	-1,3	29,5
1984	14,8	7,8	11,3	827,2	87,0	26,5	-2,2	73,2
1985	16,9	8,7	12,8	428,2	68,0	30,0	-4,2	33,4
1986	16,1	7,4	11,7	597,0	62,0	28,2	-2,5	50,8
1987	17,1	8,7	12,9	729,6	81,0	31,0	-4,2	56,5
1988	18,1	9,4	13,7	418,2	54,0	30,8	-0,4	30,5
1989		9,1	13,1					
1990	18,4	7,8	12,6	512,4	57,0	28,5	-2,4	40,8
1991	18,0	8,2	13,1	689,8	65,0	31,2	-3,1	52,7
1992	18,6	9,1	13,8	541,8	62,0	32,2	-0,5	39,1
1993	18,5	8,4	13,5	504,6	60,0	30,0	-2,1	37,5

Tab. 4. Continua.

anno	TX °C	TN °C	TM °C	P mm	PN ng	PF	MART	Q
1994	19,3	9,8	14,6	668,6	68,0	32,4	0,4	45,9
1995	18,5	8,7	13,6	757,8	82,0	31,0	-0,5	55,7
1996	18,0	8,9	13,4	861,8	89,0	28,6	0,3	64,1
1997	19,3	9,3	14,3	656,4	67,0	29,6	1,7	45,9
1998	19,3	8,9	14,1	701,6	65,0	31,0	-0,8	49,8
1999	18,9	9,0	13,9	965,6	75,0	29,9	-1,6	69,3
2000	19,8	9,4	14,6	512,0	57,0	30,9	-2,5	35,1
2001	19,7	9,4	14,6	748,6	77,0	33,3	-2,8	51,4
2002	19,7	10,0	14,8	808,4	81,0	30,3	-3,5	54,5
2003	20,3	9,7	15,0	435,8	49,0	35,0	-3,0	29,1
2004	19,7	9,2	14,5	801,8	78,0	31,9	-1,4	55,4
2005	19,3	9,1	14,2	918,0	72,0	31,7	-2,3	64,7
2006	19,7	8,7	14,2	534,2	48,0	32,4	-1,5	37,6
2007	20,4	9,3	14,8	514,2	59,0	33,8	-0,3	34,7
2008	20,3	9,8	15,0	690,6	75,0	32,4	0,7	45,9
2009	20,7	9,8	15,4	508,4	75,0	32,7	-0,3	32,9
2010	18,6	9,4	13,8	1049,0	104,0	33,4	-0,8	76,2
2011	19,4	10,5	15,4	421,6	49,0	30,8	0,8	27,4

Tab. 4. Indici annuali della stazione meteorologia Pineta di Classe (S1).

anno	TX °C	TN °C	TM °C	P mm	PN ng	PF	MART	Q
1992	20,0	6,7	13,4	656,0	65,0	49,1	28,1	53,8
1993	20,1	6,5	13,3	738,0	68,0	55,6	31,7	69,5
1994	19,7	7,6	13,6	648,0	68,0	47,5	27,4	61,9
1995	18,5	6,8	12,6	1051,0	82,0	83,1	46,4	119,7
1996	18,0	7,6	12,8	1070,0	86,0	83,4	46,9	137,7
1997	18,8	7,7	13,2	726,0	63,0	54,9	31,2	90,5
1998	19,6	8,5	14,0	611,0	57,0	43,5	25,4	62,2
1999	18,7	8,6	13,6	947,0	56,0	69,4	40,0	100,0
2000	18,5	9,0	13,5	536,8	57,0	39,9	22,9	62,3
2001								
2002	18,1	9,5	13,5	560,8	72,0	41,5	23,9	70,8
2003	18,9	9,5	14,0	326,7	61,0	23,4	13,6	30,6
2004								
2005	16,9	8,5	12,5	783,7	79,0	62,9	34,9	94,1
2006	18,2	8,9	13,3	555,8	65,0	41,9	23,9	57,8
2007	18,8	9,4	13,7	680,7	70,0	49,6	28,7	73,2
2008	18,4	9,6	13,7	519,4	77,0	37,8	21,9	59,1
2009	18,6	9,6	13,8	911,9	88,0	66,2	38,3	96,2
2010	17,3	9,0	12,9	978,2	96,0	75,9	42,7	105,7
2011	18,9	9,1	13,6	467,2	57,0	34,3	19,8	49,6
2012	19,4	10,1	14,7	452,7	62,0	30,8	18,3	42,8

Tab. 5. Indici annuali della stazione meteorologia Bosco Mesola (S2).

anno	TX °C	TN °C	TM °C	P mm	PN ng	PF	MART	Q
1990	17,9	8,1	12,9	666,4	63,0	51,6	29,1	82,3
1991	16,9	7,6	12,2	634,6	62,0	52,2	28,6	72,3
1992	16,5	7,5	11,9	639,4	57,0	53,9	29,2	67,3
1993	17,9	8,2	13,0	517,4	62,0	40,0	22,5	59,2
1994	18,7	9,7	14,1	540,0	60,0	38,2	22,4	56,8
1995	17,6	8,3	12,8	895,2	78,0	69,8	39,2	99,4
1996	17,5	8,7	13,1	921,2	89,0	70,4	39,9	120,6
1997	18,5	8,9	13,6	641,0	66,0	47,1	27,1	81,5
1998	18,4	8,6	13,4	593,4	59,0	44,3	25,4	66,0
1999	18,3	8,7	13,3	765,6	80,0	57,4	32,8	90,9
2000	19,1	8,9	13,9	680,2	67,0	49,0	28,5	74,6
2001	18,8	8,7	13,6	606,6	77,0	44,5	25,7	60,5
2002	18,5	9,7	14,0	914,8	82,0	65,4	38,1	112,3
2003	18,8	9,5	14,2	693,8	56,0	48,8	28,7	64,9
2004	18,2	9,4	13,8	855,4	89,0	62,0	35,9	101,2
2005	17,6	9,0	13,2	1012,2	69,0	76,7	43,6	120,4
2006	18,7	9,3	13,9	591,8	58,0	42,6	24,8	59,9
2007	19,6	9,7	14,6	678,2	63,0	46,6	27,6	70,7
2008	19,6	9,9	14,6	721,6	87,0	49,3	29,3	78,7
2009	19,3	9,9	14,5	714,4	78,0	49,3	29,2	74,1
2010	18,0	9,4	13,7	841,4	102,0	61,6	35,6	89,9
2011	19,4	9,6	14,3	432,4	51,0	30,2	17,8	45,4
2012	19,2	9,3	14,0	479,8	61,0	34,1	19,9	46,3

Tab. 6. Indici annuali della stazione meteorologia Porto Tolle (S3).

periodo di disponibilità di dati di tutte le stazioni: per S1 1948-2011 (Tab. 7), per S2 1992-2012 (Tab. 9) e per S3 1990-2012 (Tab. 10). Per S1 l'analisi è stata effettuata anche sul periodo 1990-2012 (Tab. 8).

L'analisi della serie storiche annuali degli indici bioclimatici di S1 su tutto il periodo disponibile (Tab. 7) ha mostrato i seguenti trend significativi: 1) Un trend positivo per la temperatura massima (0,4 °C per decade, $p < 0,01$) e per la temperatura media (0,2 °C per decade, $p < 0,01$); 2) Un trend negativo per il numero di giorni di pioggia (circa 1,7 giorni per decade, $p < 0,05$). Analizzando le singole stagionali non si riscontra nes-

sun trend significativo riguardante i giorni di pioggia, sebbene in tutte le stagioni ci sia una tendenza alla riduzione.

Il trend positivo della temperatura media è causato essenzialmente dall'innalzamento delle temperature primaverili ed estive, in oltre, per la temperatura massima si riscontra un aumento significativo anche in autunno.

L'analisi della serie storiche annuali degli indici bioclimatici di S1 sugli ultimi 22 anni (Tab. 8) (periodo di confronto con le altre stazioni) ha mostrato trend positivi su tutti gli indici legati alla temperatura di intensità maggiore rispetto all'analisi della serie storica completa. Infatti TX mostra un aumento di circa 0,8 °C per decade che è doppio rispetto a quello del periodo completo, TN, che non mostrava alcuna significatività, mostra un aumento di circa 0,6 °C per decade e i due effetti combinati portano ad un trend positivo (0,6 °C per decade) della TM all'incirca triplo rispetto a quello dell'intero periodo. Nessun trend significativo è stato riscontrato per i giorni di pioggia.

L'analisi delle singole stagionali conferma il ruolo determinante del trend positivo primaverile e stagionale per tutti gli indici termici (TX, TM, TN) e conferma una tendenza all'aumento della TX in autunno. Per le precipitazioni si riscontra anche un trend significativo per la pioggia cumulata ed i giorni di pioggia in inverno, ma questo potrebbe essere dovuto all'influenza degli inverni 2009 e 2010 che hanno riscontrato una piovosità di circa il 40% al di sopra della media e si trovano nella parte finale della serie storica.

L'analisi della serie storiche annuali degli indici bioclimatici di S2 (Tab. 9) su tutto il periodo disponibile ha mostrato un trend positivo soltanto per la temperatura minima (1,4 °C per decade, $p < 0,01$). L'analisi stagionale mostra una diminuzione significativa della temperatura massima invernale (1,2 °C per decade, $p < 0,01$) e un aumento della temperatura media primaverile (0,7 °C per decade, $p < 0,01$). Al contrario le temperature minime mostrano una forte tendenza all'aumento in primavera (1,8 °C per decade, $p < 0,01$), in estate (1,9 °C per decade, $p < 0,01$) ed autunno (1,3 °C per decade, $p < 0,01$). Sebbene non sia statisticamente significativa, è importante sottolineare la diminuzione delle precipitazioni annuale di -9 mm per anno causata principalmente dall'estate 2012 che è stata di gran lunga la più secca di tutto il periodo.

L'analisi della serie storiche annuali degli indici bioclimatici di S3 (Tab. 10) ha mostrato trend positivi su tutti gli indici legati alla temperatura di circa 0,8 °C per decade e causato dall'innal-

	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Annuale
TX (°C/Y)	0,019	0,042**	0,056**	0,018*	0,040**
TN (°C/Y)	-0,011	-0,002	0,007	-0,002	-0,001
TM (°C/Y)	0,003	0,02*	0,031**	0,007	0,019**
P (mm/Y)	-0,072	0,148	0,078	0,206	0,311
PN (giorni/Y)	-0,05	-0,034	-0,023	-0,06	-0,175*
PF					-0,035
MAR					-0,006
Q					-0,292

Tab. 7. Trend annuali e significatività (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) degli indici annuali e stagionali di Pineta di Classe (S1) per il periodo 1948-2011.

	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Annuale
TX (°C/Y)	0,013	0,111**	0,115**	0,072*	0,082**
TN (°C/Y)	0,008	0,083**	0,103**	0,037	0,064**
TM (°C/Y)	0,038	0,104**	0,108**	0,052	0,083**
P (mm/Y)	4,280*	1,609	-1,287	-1,731	1,487
PN (giorni/Y)	0,660*	0,213	-0,176	-0,334	0,232
PF					-0,123
MAR					-0,016
Q					-0,452

Tab. 8. Trend annuali e significatività (* $p<0,05$, ** $p<0,01$) degli indici annuali e stagionali di Pineta di Classe (S1) per il periodo 1990-2012.

	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Annuale
TX (°C/Y)	-0,116**	-0,020	-0,028	-0,050	-0,057
TN (°C/Y)	0,103	0,184**	0,191**	0,128**	0,144**
TM (°C/Y)	-0,032	0,069*	0,076	0,011	0,027
P (mm/Y)	0,671	2,139	-5,317	-4,724	-9,274
PN (giorni/Y)	0,453	0,154	-0,084	-0,134	0,308
PF					-0,778
MAR					-0,424
Q					-0,935

Tab. 9. Trend annuali e significatività (* $p<0,05$, ** $p<0,01$) degli indici annuali e stagionali di Bosco Mesola (S2) per il periodo 1992-2012.

	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Annuale
TX (°C/Y)	0,045	0,096**	0,099**	0,092**	0,084**
TN (°C/Y)	0,057	0,084**	0,095**	0,084**	0,081**
TM (°C/Y)	0,054	0,089**	0,095**	0,085**	0,080**
P (mm/Y)	2,990	-0,561	-3,091	0,842	0,003
PN (giorni/Y)	0,593**	0,003	-0,150	-0,032	0,409
PF					-0,293
MAR					-0,093
Q					-0,413

Tab. 10. Trend annuali e significatività (* $p<0,05$, ** $p<0,01$) degli indici annuali e stagionali di Porto Tolle per il periodo 1990-2012.

zamento dei rispettivi indici in primavera, estate ed autunno. Nessun trend significativo è stato riscontrato per la pioggia cumulata e i giorni di pioggia.

Solo per le piogge invernali si è riscontrato anche un trend significativo per la pioggia cumulata (solo S1) e del numero dei giorni di pioggia (S1, S2 e S3), ma questo potrebbe essere dovuto agli inverni 2009 e 2010 che hanno registrato piogge superiori alla media di circa il 40%, che trovandosi nella parte finale di una serie storica di soli 22 anni, possono aver influenzato il risultato.

Nessun trend significativo è stato riscontrato per i tre indici di aridità considerati, sebbene tutti mostrino una tendenza

alla diminuzione del valore e di conseguenza ad un aumento dell'aridità. Questa variazione dell'indice è più consistente per il sito S2 dove ad esempio l'indice di de Martonne (MAR) ha una tendenza alla diminuzione di 4,24 punti per decade (significatività $p=0,22$) e analogamente gli altri.

DISCUSSIONE

L'analisi delle serie storiche delle tre stazioni meteorologiche ha confermato una tendenza generale all'aumento delle temperature nell'area di studio. La serie storica più lunga (S1, 64

anni), che può essere considerata un indicatore delle variazioni climatiche di medio-lungo periodo, ha mostrato un significativo aumento delle temperature massime al ritmo di $+0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decade e questo aumento è causato principalmente dall'aumento delle temperature primaverili ed estive.

Dal 1990 in poi questa tendenza si è ulteriormente accentuata. Infatti sia per S1 che S3 la tendenza all'aumento è risultata significativa per le temperature minime, medie e massime ad un ritmo circa doppio ($+0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decade corrispondente ad un aumento di $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ per secolo) causato principalmente dalla primavera e dall'estate per S1 ($+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decade) e anche dall'autunno per S3 ($+0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decade). Questa tendenza è dovuta ad un corrispondente aumento delle temperature primaverili ed estive e per S3 anche ad un forte aumento di quelle autunnali. Questi risultati sono in buon accordo con quelli dei precedenti studi. Infatti BRUNETTI *et al.* (2006) documentano un aumento di tutti gli indici termici (TX, TM e TN) mediamente di circa $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ in primavera ed estate per secolo a partire dagli anni '80.

La stazione di Bosco Mesola ha mostrato un comportamento leggermente diverso. Infatti i cambiamenti significativi sono stati riscontrati solo per le temperature minime annuali ma secondo un ritmo decadale molto più elevato ($+1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decade) con una forte tendenza all'aumento delle temperature estive ($+1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decade) e primaverili ($+1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decade). Questa differenza di comportamento potrebbe essere dovuta alle condizioni microclimatiche locali ed in particolare dal ruolo svolto dalla vegetazione nel mitigare la temperatura delle ore notturne. Non è stato rilevato alcun trend per le piogge sia nei valori cumulati che nel numero di eventi annuali sebbene l'analisi della serie 1948-2011 di S1 mostri una debole tendenza alla diminuzione del numero di giorni di pioggia che, combinata ad una sostanziale costanza delle precipitazioni annuali, è indice di fenomeni piovosi più intensi. Infine anche gli indici di aridità analizzati non hanno mostrato nessuna significatività, sebbene tutti i trend indichino, un progressivo aumento dell'aridità e questo sembra sia dovuto più all'aumento delle temperature che ad una diminuzione delle precipitazioni.

RINGRAZIAMENTI

Desideriamo ringraziare per la collaborazione al Progetto Climaparks il Corpo Forestale dello Stato - Ufficio territoriale per la Biodiversità, Punta Marina (RA) e della Stazione di Bosco Mesola per il supporto al nostro lavoro. Ringraziamo il Settore Ambiente ed Agricoltura (U.O.S. Divulgazione e comunicazione) della Provincia di Ferrara; ARPA-ERMES, Rete Dexter della Regione Emilia Romagna e ARPAV Centro Meteorologico di Teolo della Regione Veneto per aver messo a disposizione le serie storiche di dati climatici.

BIBLIOGRAFIA

ALEXANDERSSON H., 1986 - A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6: 661-675.
ARUJO M.B., THUILLER W. & PEARSON R.G., 2006 - Climate warm-

ing and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33: 1712-1728.

- BLAUSTEIN A.R., WALLIS S.C., BANCROFT B.A., LAWLER J.J., SEARLE C.L. & GERVAZI S.S., 2010 - Direct and Indirect Effects of Climate Change on Amphibian Populations. *Diversity*, 2: 281-313.
BRUNETTI M., COLACINO M., MAUGERI M. & NANNI T., 2001a - Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996. *International Journal of Climatology*, 21: 299-316.
BRUNETTI M., MAUGERI M. & NANNI T., 2001b - Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in northeastern Italy. *International Journal of Climatology*, 21: 861-871.
BRUNETTI M., MAUGERI M., MONTI F. & NANNI T., 2006 - Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26: 345- 381.
CASTELLARI S. & ARTALE V., 2009 - *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*. Bonomia University Press, Bologna.
CRISTALDI M. & SZPUNAR G., 2006 - *L'impatto dei cambiamenti climatici sugli animali*: 189-212. In: Antonioli et al., *Kyoto e dintorni. I cambiamenti climatici come problema globale*, Franco Angeli, Milano.
D'AMEN M. & BOMBI P., 2009 - Global warming and biodiversity: Evidence of climate- linked amphibian declines in Italy. *Biological Conservation*, 142: 3060- 3067.
DI PALO C., 2011 - *L'adattamento*: 141- 151. In: Caminiti N.M. (a cura di), *Politiche e misure nazionali sui cambiamenti climatici. Elementi per una valutazione*. ENEA, Roma.
GAUDIOSO D., 2010 - I cambiamenti climatici in Italia: quadro attuale, scenari, gap conoscitivi. *Agriregioneuropa*, 6 (21): 12-15.
IPCC, 2007 - Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.), IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104
KIESECKER J.M., BLAUSTEIN A.R. & BELDEN L.K., 2001 - Complex causes of amphibian population declines. *Nature*, 410: 681-684.
MAIORANO L., FALCUCCI A., ZIMMERMANN N.E., PSOMAS A., POTTIER J., BAISERO D., RONDININI C., GUIAN A. & BOITANI L., 2011 - The future of terrestrial mammals in the Mediterranean basin under climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 366: 2681-2692.
MARLETTO V., G. ANTOLINI, F. TOMEI, V. PAVAN, R. & TOMOZEIU, 2010 - Atlante idroclimatico dell'Emilia-Romagna 1961- 2008. *Arpa Emilia Romagna, Servizio Idro-Meteo-Clima*.
MAZZOTTI S., FALCONI R. & ZACCANTI F., 2003 - Autumnal reproduction of *Bufo bufo* in the Po Delta river (Northern Italy). *Annali del Museo civico di Storia naturale di Ferrara*, 5 (2002): 131-133.
PARMESAN C. & YOHE G., 2003 - A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421: 37-42.
PEÑUELAS J. & FILELLA I., 2001 - Phenology: responses to a warming world. *Science*, 294: 793-794.
PERINI L. & RANUZZI M., 2002 - Analisi delle temperature e delle precipitazioni piovose in Italia negli ultimi decenni. In: Atti del Convegno "Clima, Precipitazioni, agricoltura, UCEA, Roma: 15-25.
POUNDS A.J., 2001 - Climate and amphibian declines. *Nature*, 410: 639-640.
ROOT T.L., PRICE J.T., HALL K.R., SCHNEIDER S.H., ROSENZWEIG C. & POUNDS J.A., 2003 - Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421: 57-60.
STOKSTAD E., 2004 - Global Survey Documents Puzzling Decline of Amphibians. *Science*, 306.
SALA O.E., CHAPIN F.S., ARMESTO J.J., BERLOW E., BLOOMFIELD J., DIRZO R., HUBER-SANWALD E., HUENNEKE L.F., JACKSON R.B., KINZIG A., LEEMANS R., LODGE D.M., MOONEY H.A., OESTERHELD M., POFF N.L., SYKES M.T., WALKER B.H., WALKER

- M. & WALL D.H., 2000 - Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287: 1770-1774.
- SALVATI L., VENEZIAN SCARASCIA M., SABBI A., ZITTI M. & PERINI L., 2011 - Breve excursus sul clima italiano con riferimenti al settore agricolo. *Bollettino della società geografica italiana*, 3 (serie XIII): 295- 310.
- SZPUNAR G., ALOISE G., MAZZOTTI S., NIEDER L. & CRISTALDI M., 2008 - Effect of global change on terrestrial small mammal communities in Italy. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (9b): 1526-1533.
- THOMAS C.D., CAMERON A., GREEN R.E., BAKKENES M., BEAUMONT L.J., COLLINGHAM Y.C., ERASMUS B.F.N., FERREIRA DE SIQUEIRA M., GRAINGER A., HANNAH L., HUGHES L., HUNTLEY B., VAN JAARSVELD A.S., MIDGLEY G.F., MILES L., ORTEGA-HUERTA M.A., TOWNSEND PETERSON A., PHILLIPS O.L. & WILLIAMS S.E., 2004 - Extinction risk from climate change. *Nature*, 427: 145-148.
- TODD B.D., SCOTT D.E., PECHMANN J.H.K. & GIBBONS J.W., 2011 - Climate change correlates with rapid delays and advancements in reproductive timing in an amphibian community. *Proceedings of the Royal Society B*, 278: 2191-2197.

