

# Irri4web: crop water needs definition by webGIS

Fabio Zottele<sup>1</sup>, Giambattista Toller<sup>1</sup>, Emanuele Eccel<sup>2</sup>

**Abstract:** A Decision Support System for irrigation scheduling is proposed as a tool for improving agriculture sustainability and adaptations to the ongoing climatic change. In the Italian province of Trento (Trentino-South Tyrol), the newly implemented Public Waters General Exploitation Plan fixes new ceilings to the use of irrigation water and aims at its optimisation by setting up limits to soil moisture. The system was implemented for the pilot area of “Val di Non”, 192 km<sup>2</sup> almost completely devoted to apple growing. The protocol entails the assessment of water content in a soil parcel, given its location and the history of the latest irrigation actions. The water balance is carried out with rainfall and temperature values spatially interpolated from the neighbouring meteorological stations. Hargreaves’ equation is used for the calculation of evapotranspiration, and pedologic information is inferred by a “(pedo-) landscape map” compiled for this purpose. An estimate of soil water content is provided to end users. The spatial interpolation of rainfall and temperature is carried out either by inverse-distance (squared) weighted mean (IDW) or kriging; both algorithms duly take into account elevation. Soil water content is calculated from 7 days before to 3 days after user’s request. Weather forecasts are provided by the local weather service. The system is presently ready for its distribution to farmers and agricultural syndicates.

**Key-words:** spatial interpolation, soil water balance model, irrigation scheduling, soil water need forecasting

**Riassunto:** Nell’ambito della ricerca di azioni favorevoli alla sostenibilità delle attività agricole, ivi compreso l’adattamento al cambiamento climatico in atto, si propone un Sistema di Supporto alle Decisioni per la gestione della risorsa irrigua in Trentino. In questa regione è richiesto l’adeguamento al Piano Generale di Utilizzo delle Acque Pubbliche, che fissa nuovi tetti all’uso della risorsa irrigua e favorisce i mezzi per quantificare il bilancio irriguo nei suoli. Per l’area pilota della Val di Non, 192 km<sup>2</sup> coltivati quasi esclusivamente a melo, è stato implementato un sistema che consente di stimare il contenuto d’acqua in un suolo nota la sua ubicazione e gli interventi irrigui più recenti. Applicando il calcolo dell’evapotraspirazione di Hargreaves, condotto con soli valori spazializzati di temperatura, e con indicazioni pedologiche derivanti dalla redazione di una “carta dei pedopaesaggi”, dopo aver spazializzato le precipitazioni misurate dalle stazioni presenti nell’area viene effettuato un bilancio idrico e fornito un suggerimento sull’irrigazione. La spazializzazione di precipitazioni e temperatura viene condotta con medie pesate secondo l’inverso della distanza al quadrato (IDW) o kriging; entrambi gli algoritmi tengono debitamente conto della quota. Il contenuto d’acqua nel terreno viene calcolato a partire dal 7° giorno precedente alla richiesta dell’utente; la previsione viene estesa ai 3 giorni successivi utilizzando i dati forniti dal servizio meteorologico provinciale. Il metodo è attualmente pronto per essere implementato per l’utenza agricola, che potrà essere singola o rappresentata dai numerosi consorzi irrigui presenti in Trentino.

**Parole chiave:** interpolazione spaziale, bilancio idrico del terreno, gestione irrigua, previsione dei fabbisogni irrigui

## INTRODUCTION

Sustainable agriculture relies on the implementation of strict standards for the safeguard of water resources. At present, any discussion on the interaction of plants with their physical environment has to take into account the climate-driven water shortages envisaged by IPCC (2007). For southern Europe, climate projections highlight a remarkable decrease in summer rainfall, accompanied by a thermal increase (Giorgi *et al.*, 2004); thus, diminished water availability in soils during the growing season is expected. The impacts of climate change on agriculture are diverse (Rounsevell *et al.*, 2005; Grünberg *et al.*, 2007; FAO, 2007), not necessarily

detrimental all over the world and/or for every crop (Olesen and Bindi, 2002; Ewerth *et al.*, 2004). The general issues at the planetary scale are often better addressed with adaptation approaches at the local scale.

In the Italian province of Trento (Trentino), the Public Waters General Exploitation Plan (PGUAP) regulates these issues since 2006 (Fezzi, 2007). Presently, the overall water requirements for irrigation are of 40.3 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (calculated as the sum of authorization regulations). PGUAP estimates an average actual need of 21.1 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> and, in the most stressful summer conditions, fixes an average need of 0.81 l s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Because such conditions take place for limited time spans, the average need assessed is lower, i.e. 0.50 l s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Therefore, an effort is required for the rationalization of the use of the water resource, fostering the optimisation of irrigation management.

<sup>\*</sup> Corresponding Author: Fabio Zottele fabio.zottele@iasma.it

<sup>1</sup> IASMA Consulting and Services

<sup>2</sup> IASMA Research and Innovation Centre  
received 02-Nov-09 accepted 22-Oct-10

id	Name	Latitude	Longitude	Elevation
31	Cles	46d21'40.219"N	11d2'23.852"E	652
33	Ton	46d15'38.059"N	11d4'26.143"E	448
35	Spormaggiore	46d13'15.750"N	11d2'46.021"E	548
38	Nanno	46d19'12.152"N	11d2'43.875"E	567
39	Banco-Casez	46d22'45.723"N	11d4'40.881"E	703
40	Segno	46d18'17.332"N	11d4'33.469"E	525
41	Revò	46d23'34.989"N	11d3'56.958"E	715
42	Cis	46d23'51.237"N	11d0'8.531"E	708
43	Arsio	46d25'33.073"N	11d5'47.824"E	797
45	Mezzocorona Novali	46d12'32.499"N	11d6'35.561"E	216
57	Rovere della Luna	46d14'55.154"N	11d11'7.982"E	208
58	Mezzolombardo	46d11'14.194"N	11d6'15.955"E	204
84	Fondo	46d26'15.714"N	11d7'46.713"E	907

**Tab. 1** - Agro-meteorological stations used in spatial interpolation. Datum is Gauss Boaga-Rome40-West Fuse, elevation in m a.s.l.

Tab. 1 - Descrizione delle stazioni meteorologiche utilizzate per lo studio. Coordinate planimetriche in Gauss Boaga su Roma 40 fuso Ovest, quote in metri sul livello del mare.

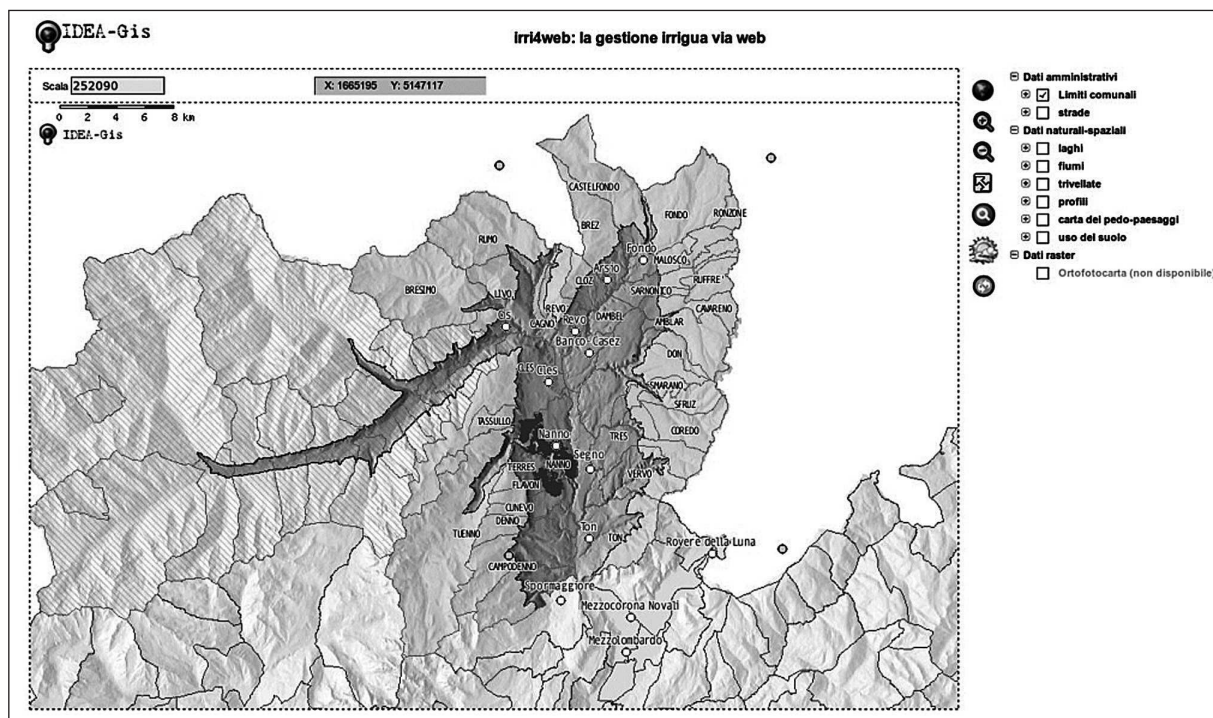
In Trentino, irrigation covers 12% of the whole area exploitable for agriculture (SAU) – 18662 out of 135000 ha - including the total of apple and grapevine areas, and only marginally pastures and meadows (81% of the total SAU). The high standards in viticulture and apple growing must be supported by irrigation practices that consider both crop yield and quality. Moreover, the PGUAP explicitly aims at the optimisation of water use by setting up measurements of soil moisture that can be either “direct” or “indirect”, delegating the monitoring of these characteristics to local farmers syndicates. Consequently, the Plan commits the regional administration to support water balance applications in irrigated soils.

In order to obtain a correct water balance it is of foremost importance to avail of accurate estimates of inputs (precipitation) and outputs (evapotranspiration) for the balance of soil water content. Since 1990, Istituto Agrario San Michele all’Adige (IASMA) has joined the AgriVideoTel project and is actively involved in the research and development of water management systems (Toller *et al.*, 2002 ).The high costs involved with the expansion of the existing agrometeorological network made it preferable to obtain rain and evapotranspiration data by spatial interpolation. For this purpose, Eccel *et al.* (2004) developed the prototype of a client-side application (IrriGRASS) specifically bound to GRASS GIS. The IrriGRASS system implemented a water balance model on a daily scale: potential evapotranspiration was calculated with the Hargreaves’ equation (Battista *et al.*, 1994), soil properties were inferred analysing soil cores. Rain and temperature inputs for the

calculation of the potential evapotranspiration were interpolated by an inverse distance weighted algorithm (IDW) (Shepard, 1968). Unfortunately the IrriGRASS application soon became unmaintained owing to the lack of feedback from users, who were required to install GRASS only on LINUX clients, collect huge input (Digital Elevation Model at 1 meter resolution), and establish a dedicated account to the meteorological database of Istituto Agrario. These non-trivial tasks were showstoppers for a user-friendly application.

During the last two decades, we found different approaches to the development of decision support systems for irrigation (DSS). For example *IRRINET* (Mannini, 2009) is an advisory service for the “Consorzio di Bonifica di secondo grado per il Canale Emiliano Romagnolo”. It uses a large scale resolution (6.25 km<sup>2</sup>) for the calculation of crop water requirements and it is developed using proprietary technology. Bonamano *et al.* (2008) developed *IrriWeb* based on the soil and the meteorological databases of Veneto (Italy). The system offers many choices and options to the final user, but the spatial interpolation of past and forecasted temperature and rain are not implemented. Recently, the *AQUATER* project (Acutis *et al.*, 2010) aims to model crop water availability by remote sensing image processing, geostatistical analyses and simulation models. When this DSS the will be complete, it will work on a weekly temporal resolution and will focus on risk of over/under irrigation.

This work describes **irri4web**: an advanced version of *IrriGRASS* that sets up a simplified, high



**Fig. 1** - Irri4web, consulting mode: the pilot area is shown. Datum: Gauss Boaga-Rome40-West Fuse. Both agrometeorological stations (white circles) and four ECMWF meteorological model grid points for rain forecast (grey circles) are shown. *Fig. 1 - Irri4web in modalità di consultazione. È visualizzata l'area pilota (datum: Gauss-Boaga su Roma 40 fuso Ovest). Con i cerchi bianchi sono visualizzate le stazioni agrometeorologiche, in grigio i 4 punti della griglia del modello meteorologico ECMWF utilizzati per la previsione della pioggia.*

resolution water balance model by spatial interpolation procedures, and integrates it in a server-side fully open source webGIS with forecasting capabilities. This DSS guides the final user through the choice process of a correct irrigation regime with a daily temporal scale, on-the-fly spatial interpolation of meteorological data and with an integration of meteorological forecasts for better irrigation scheduling. The centralized data management, achieved by open source software and spatially-enabled database systems, plays an important role in the performance, the reliability and the scalability of the entire project.

## MATERIALS AND METHODS

### Pilot area

For the development of an application prototype, only “Val di Non”, Trentino region, Northern Italy, was investigated. A high-resolution pedologic survey was available for this area, which is the most productive zone for apple growing - one of the most notable in Europe - thanks to its good exposure and ventilation. As Val di Non is a very valuable and productive agricultural area with a complex morphology, a high number of meteorological stations has been established

here (Tab. 1). Apple tree is the main irrigated crop. It is grown up to 1000 m of altitude, so the study area was further filtered out above this limit using a Digital Elevation Model with 20 meter nominal resolution (DTM) (PAT, 2006), as shown in figure 1. The main characteristics of the landscape are reported in Tab. 2. The climate of the area is temperate, oceanic, tending to continentality in the inner areas (Colombo *et al.*, 2001), and “humid” after De Martonne’s classifications. Mean yearly temperatures vary between 8 - 11 °C, with summer values (from May to August) between 17 and 19 °C on average. The vertical lapse rate at the ground is between -0.0045 °C

Pilot area characterization	
Area	192 km <sup>2</sup>
Min elevation	253 m
Mean elevation	704 m
Max elevation	1000 m
Apple growing area	5876 ha
Grapevine growing area	16 ha
Non-irrigated areas	1289 ha

**Tab. 2** - Characterization of pilot area. *Tab. 2 - Caratterizzazione dell'area di studio.*

Stima dell'evapotraspirazione potenziale utilizzando la formula di Hargreaves.  
 Determinazione delle variabili meteorologiche dal giorno 2010-04-06 al giorno 2010-04-11.  
 Previsione dal giorno 2010-04-12 al giorno 2010-04-14 (METEOTRENTINO).  
 Stazioni meteorologiche utilizzate: Nanno, Cles, Segno e Banco-Casez.

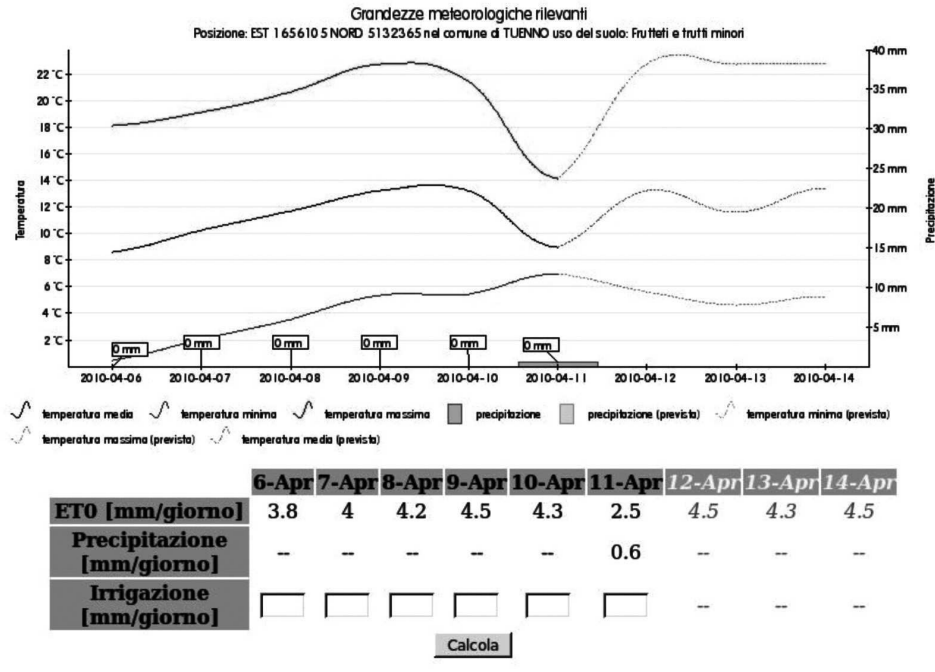


Fig. 2 - Irri4web, processing mode. Graph: spatially interpolated meteorological data for calculation of evapotranspiration; lower part: input form of the irrigation amounts during the previous seven days. Dotted curves show forecasts till day +3.  
 Fig. 2. Irri4web in modalità elaborativa: interpolazione spaziale delle grandezze meteorologiche necessarie al calcolo dell'evapotraspirazione (grafico) e form di immissione degli apporti durante la settimana precedente alla richiesta dei dati. Le curve tratteggiate mostrano le previsioni per i tre giorni successivi.

m<sup>-1</sup> and -0.0066 °C m<sup>-1</sup>, in winter and in summer, respectively. Mean annual rainfall amount ranges between 800 and 1000 mm, according to locations, with a dry winter season, a more humid one between spring and autumn and no real dry period in the summer. However, the moderate rainfall, mostly favourable sun exposure, and constant summer breeze, make Val di Non agriculture strongly dependent on irrigation that, as a matter of fact, is a widespread practice managed by growers' syndicates.

**Soil survey**

Because a soil map for the Trentino region was missing, firstly a (pedo-)landscape map (CPp) focusing on morphology and soil characteristics was created by visual interpretation of aerial images taken in 2003. Secondly, a soil survey was conducted, in which 908 soil samples were collected and tested for their chemical and physical properties. Bulk density, organic matter and pedotransfer functions (PTF) were also determined for further inclusion in a map

focused on pedologic description of soils. The soil survey is still under progress (Sartori *et al.*, 2010).

**Water balance**

The algebraic sum of water inputs and outputs expressed as rain (R), irrigation (I<sub>r</sub>), percolation (P<sub>p</sub>) and effective evapotranspiration (ET<sub>a</sub>) returns the water budget for a soil unit at the given day (t):

$$W^t = W^{t-1} + P^{t-1} + I_r^{t-1} - ET_a^{t-1} \pm P_p^t$$

The calculation of soil water balance is based on the hypothesis that W<sup>0</sup>=0.75f<sub>c</sub>, where f<sub>c</sub> represents field soil capacity. ET<sub>a</sub>=k<sub>cd</sub>ET<sub>0</sub>, where k<sub>cd</sub> stands for a crop-specific coefficient and ET<sub>0</sub> stands for potential evapotranspiration.

For the calculation of ET<sub>0</sub> the Hargreaves' equation was applied (Battista *et al.*, 1994).

$$ET_0 = 0.0023 \frac{Rg_0}{L} (T_{dm} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}$$

	Number of signif. days	Percentage	R <sup>2</sup> <sub>min</sub>	R <sup>2</sup> <sub>max</sub>
T <sub>dm</sub>	2162 (1646)	84 (97)	0.3148 (0.3333)	0.9969 (0.9952)
T <sub>min</sub>	1664 (1249)	65 (73)	0.3061 (0.3061)	0.9975 (0.9975)
T <sub>max</sub>	2143 (1643)	84 (96)	0.3063 (0.3114)	0.9967 (0.9881)

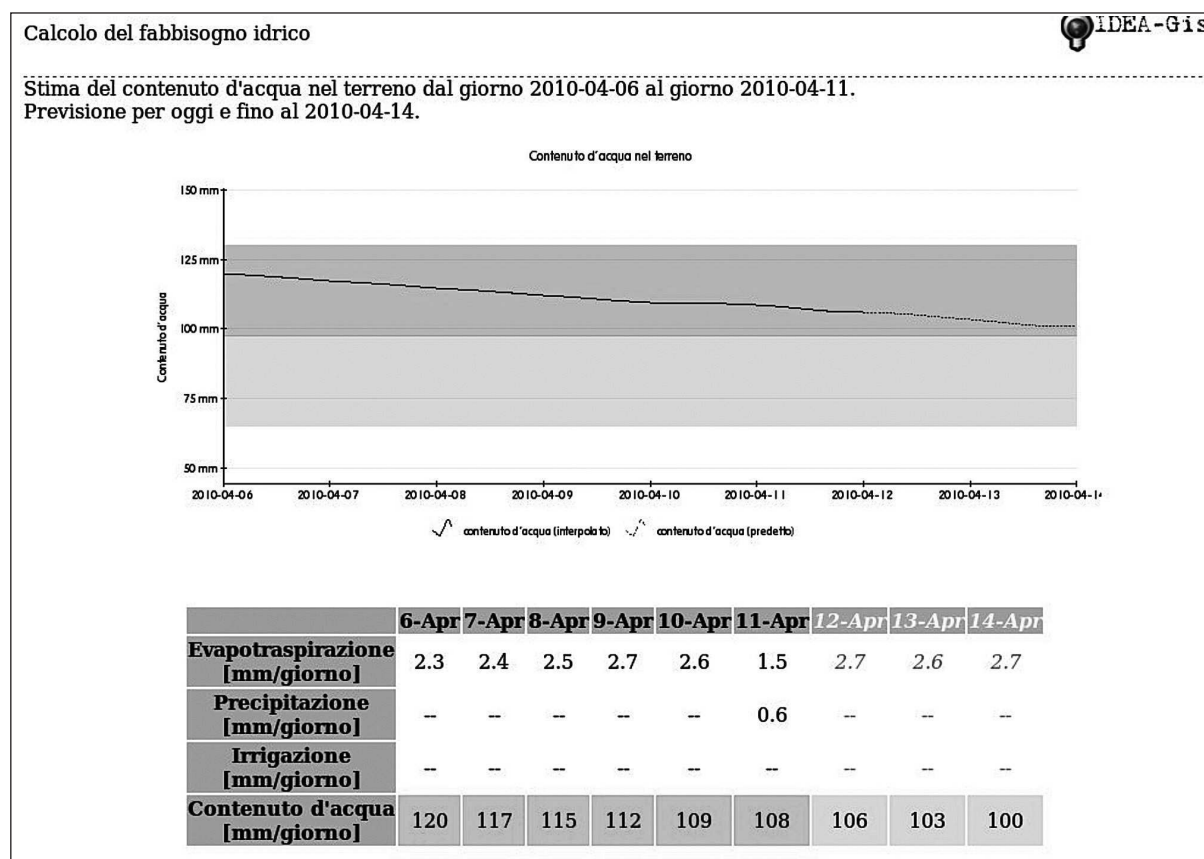
**Tab. 3** - Results of external drift investigation for temperatures spatial interpolation. In brackets values for the irrigation season. T<sub>dm</sub>: mean daily temperature; T<sub>min</sub>: minimum temperature; T<sub>max</sub>: maximum temperature.

Tab. 3 - Indagine della serie storica considerata per la ricerca di forzante tra temperatura e quota. Tra parentesi vengono riportati i parametri relativi alla stagione irrigua. T<sub>dm</sub>: temperatura media giornaliera; T<sub>min</sub>: temperatura minima; T<sub>max</sub>: temperatura massima.

The minimum mean hourly value recorded between 3 and 9 a.m. and the maximum mean hourly value between midday and 4 p.m. were used as minimum (T<sub>min</sub>), and maximum temperature (T<sub>max</sub>), respectively. A minimum of four hourly records in the considered time intervals was deemed necessary for defining T<sub>min</sub> and T<sub>max</sub>. The mean daily temperature (T<sub>dm</sub>) was used only when more than 16 hourly records per day were available.

Extra-atmospheric radiation (R<sub>g0</sub>) and the latent

heat of evaporation (L) are computed as described by Eccel *et al.* (2004). The Hargreaves' equation accounts for solar radiation reaching the ground by using the daily thermal range (T<sub>max</sub> - T<sub>min</sub>): the larger the range, the more shortwave solar energy reaches the ground and becomes available for evaporation. I<sub>r</sub> values are manually introduced into equation (1) (Fig. 2). When field capacity (f<sub>c</sub>) is reached for a given day, a fifth of the residual water surplus is made available on the following day under the



**Fig. 3** - irri4web in exploratory mode. Graph: soil water content W[t]. Lower part: water balance terms.

Fig. 3 - irri4web in modalità esplorativa. Viene riportato il grafico del contenuto idrico del suolo W[t] e, in tabella, i contributi idrici del bilancio.

model	Year		Season	
	days	perc.	days	perc.
Prec ~ quota	329	25.61	273	27.55
Prec ~ x+y	145	11.32	106	10.70
Prec ~ 1	807	63.00	612	61.76

**Tab. 4** - Summary results for spatial correlation of P. Top to bottom: external drift (elevation), trend (x+y: geographic coordinates) and zero hypothesis of absence of links were tested. *Tab. 4 - Risultato riassuntivo dell'analisi della ricerca di correlazione spaziale. Dall'alto al basso: forzante (quota), trend (x+y: coordinate geografiche), ipotesi zero (assenza di legami con tali variabili nei dati di precipitazione).*

		MAE [°C]	MSE [°C <sup>2</sup> ]
<b>T<sub>dm</sub></b>	LM	1.3439 (1.1944)	0.3955 (0.2844)
	MBLM	1.5050 (1.3569)	0.4424 (0.3137)
<b>T<sub>min</sub></b>	LM	2.2188 (2.1221)	1.1204 (0.9722)
	MBLM	2.4246 (2.3441)	1.2310 (1.0870)
<b>T<sub>max</sub></b>	LM	2.0227 (1.8928)	0.7644 (0.7047)
	MBLM	2.0884 (1.9468)	0.8183 (0.7521)

**Tab. 5** - Comparison between interpolation errors in Linear Model (LM) and Median-Based Linear Model (MBLM) by Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV) technique (75<sup>th</sup> percentile of Mean Absolute Error - MAE - and Mean Standard Error - MSE). In brackets values relevant to the irrigation season. **T<sub>dm</sub>**: mean daily temperature; **T<sub>min</sub>**: minimum temperature; **T<sub>max</sub>**: maximum temperature.

*Tab. 5 - Confronto tra errori di interpolazione tra modello lineare (LM) e modello lineare basato su mediana (MBLM) mediante cross-validazione "leave-one-out" (LOOCV). Sono riportati i valori del 75° percentile di errore assoluto medio (MAE) ed errore standard (MSE). Tra parentesi sono riportati i valori relativi alla stagione irrigua. **T<sub>dm</sub>**: temperatura media giornaliera; **T<sub>min</sub>**: temperatura minima; **T<sub>max</sub>**: temperatura massima.*

hypothesis that  $P_p$  is driven by  $f_c$ . As this application aims at the optimization of water use, the final user can monitor soil water content (Fig. 3).

### Spatial interpolation

As irri4web is a web-oriented, server side application, it applies spatial interpolation of precipitation and temperatures on any map point, interactively defined by the user, by using meteorological data collected at the surrounding stations. This requires the use of an interface between the web server (Apache) and a statistical software (R), which feeds the predicted values into the water balance model. MySQL is used as a data store for meteorological records (DBMS) while PostgreSQL + PostGIS manages all georeferenced data (RDBMS). These database management systems are used as informative layers.

This working approach simplifies the Input/Output process for spatial interpolation thus boosting overall performance. In geostatistics, it is a well established procedure (Kitanidis, 1997) to conduct a correlation analysis between dependent variables (in this case, temperature and precipitation) and their possible driving factors, prior to parameter estimation. In this case, the established, day-by-day statistical relationship with altitude - vertical temperature gradient or, more generically, external drift (ED) - was used for temperature. This approach follows the "regression kriging" as proposed by Hengl *et al.* (2007). A finer analysis was necessary for the spatial interpolation of precipitation events.

### Temperature

Preliminary tests were conducted on the data series collected by IASMA, in order to identify the best approaches to the DSS implementation. Meteorological data series cover 2546 days, from 26<sup>th</sup> Oct. 2001 to 10<sup>th</sup> Oct. 2008. A significant linear trend with elevation was found in 2156 cases (84%) for **T<sub>dm</sub>**, with a  $R^2$  ranging from 0.307 to 0.997. During the irrigation season (1<sup>st</sup> Mar. to 30<sup>th</sup> Oct.), the number of days with a significant trend increases to 97%. Extended results are summarized in Tab. 3.

In order to shorten the response time of the DSS, calculations rely on data from a small subset of the 17 available meteorological stations depending on the selected point. Due to the low number of measurement sites and to their uneven distribution, the assumptions for a valid linear regression model (LM) for ED were hardly met. For this reason, a median based robust regression model (MBLM) was preferable to LM (Theil, 1950; Lukasz, 2007). Nevertheless, the accuracy of these methods was compared. The significance of Theil slope coefficient was determined by Kendall test (Sen, 1968; McLeod, 2005). Leave-one-out cross-validation (LOOCV) (Cressie, 1993) was performed on daily temperatures residuals for a comparison of LM vs. MBLM, using ordinary kriging (OK). Independence of residuals obtained with LOOCV was tested with Wilcoxon test.

### Precipitation

Precipitation was investigated for 2563 days, from 22<sup>nd</sup> Oct. 2001 to 29<sup>th</sup> Oct. 2008. In 1281 cases (50%) at least one precipitation event was recorded in at least one station. Up to 991 (57%) rainy days were counted out of a total of 1731 during irrigation season. No clear link or trend between rainfall

		MAE [mm]	MSE [mm <sup>2</sup> ]	ME [mm]
P	kriging	5.948 (6.026)	6.241 (6.596)	6.273 (6.273)
	IDW	6.031 (6.201)	7.036 (7.415)	2.177 (2.177)

**Tab. 6** - Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV) error comparison for precipitation. 75<sup>th</sup> percentiles are reported. Values for irrigated season in brackets. MAE: Mean Absolute Error. MSE: Mean Standard Error. ME: Mean Error (bias). IDW: inverse-(squared) distance-weighted mean.

*Tab. 6 - Confronto tra errori di interpolazione IDW e previsione mediante kriging stimati mediante cross-validazione "leave-one-out" (LOOCV). Tra parentesi sono riportati i valori relativi alla stagione irrigua. Sono riportati i valori del 75° percentile di errore medio assoluto (MAE), errore medio standard (MSE) ed errore medio o bias (ME). IDW: media pesata con l'inverso delle distanze al quadrato.*

amount (P) and elevation was found (Tab. 4). Thus, a general model is unlikely to suit the data set.

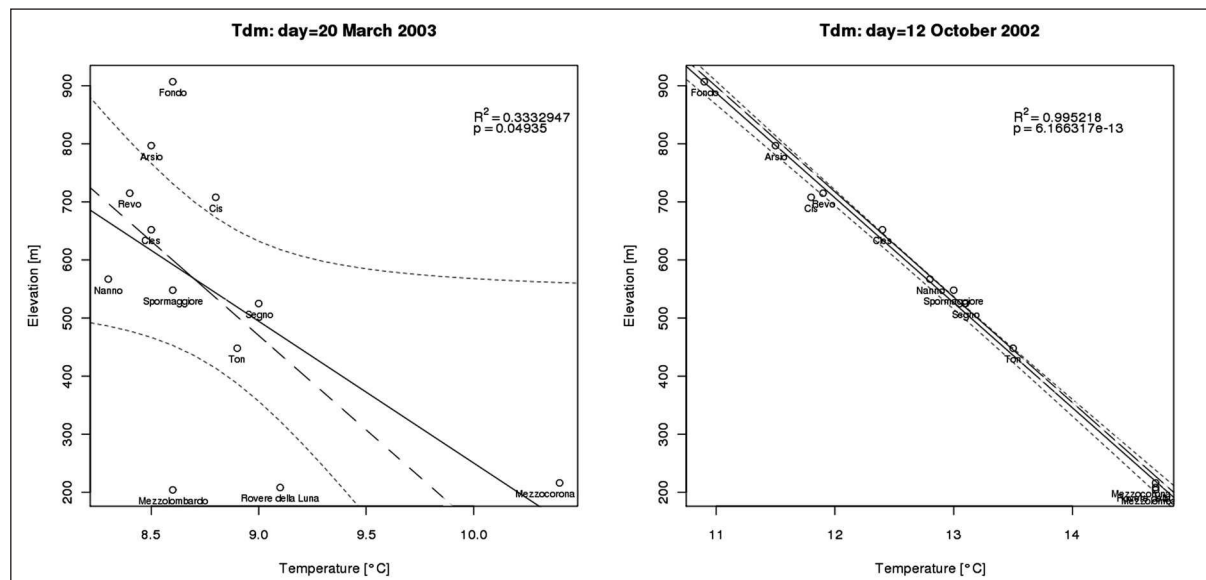
This problem was addressed by selecting the best interpolator according to the empirical semivariogram and by performing a day-by-day LOOCV (Fig. 5a). Concomitantly, a LOOCV for inverse-squared-distance-interpolation method (IDW, Eccel *et al.*, 2004) was carried out. The independence of crossvalidated residuals was tested with Wilcoxon test and performance between the two methods were compared (Fig. 5b).

## Results and Discussion

### Temperature

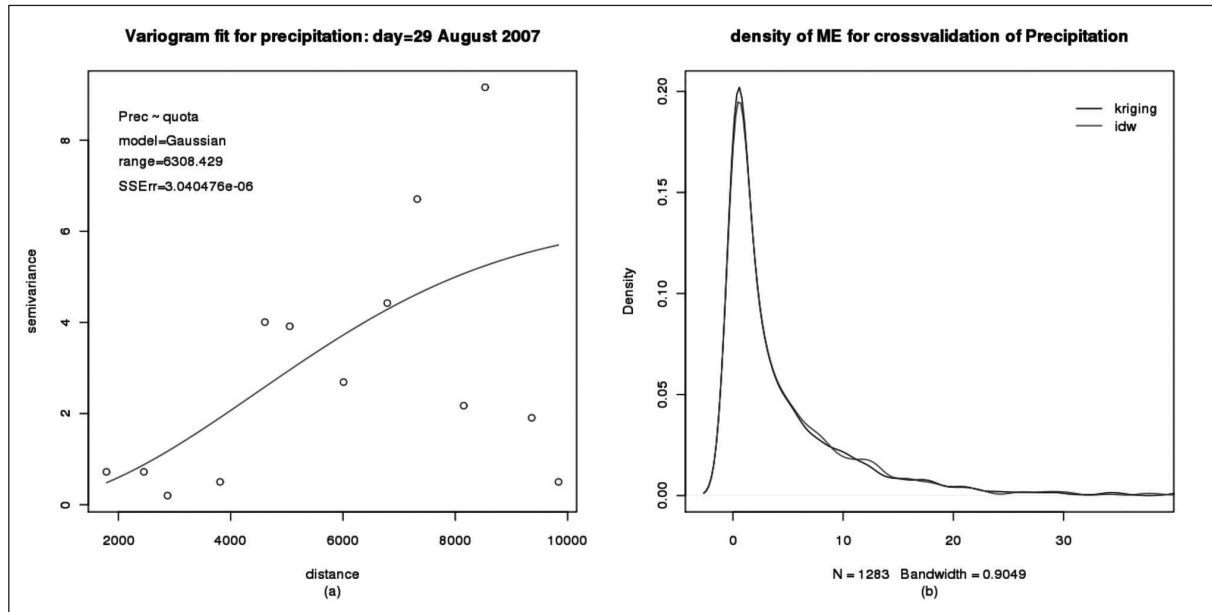
The differences between interpolated values and measures of temperature (residuals) were calculated for both LM and MBLM. The 75<sup>th</sup> percentile of the

Maximum Absolute Errors (MAE) and Mean Square Errors (MSE) are reported for model comparison, as these error distributions are strongly influenced by irregular, confined anomalies in data recordings (Fig. 4, Tab. 5). Daily comparisons (Wilcoxon test) of residuals show no significant difference between methods. For  $T_{dm}$ , Kendall test applied to MBLM slopes shows that ED occurs in 82% of cases (up to 96% during the irrigation season). Similarly, in the 57% (85%) and 84% (96%) of cases, ED occurs for  $T_{min}$  and  $T_{max}$ , respectively. Moreover, from 1<sup>st</sup> Mar. to 30<sup>th</sup> Oct., when the DSS is supposed to be used, the frequency of occurrence of ED is similar between methods (Tab. 3). LM is always more precise than MBLM, but the latter is preferred for the DSS implementation due to its robustness.



**Fig. 4** - Fit comparison for temperature vertical lapse rate at the ground. Linear Model (LM, continuous line) and Median-Based Linear Model (MBLM, long dashed line): gradient is significant (right) and not (left). Short dashed lines represent confidence interval at 95% significance.

*Fig. 4 - Temperature medie giornaliere in funzione della quota: confronto tra modello lineare (LM, linea continua) e modello lineare basato su mediana (MBLM, linea a tratteggio lungo), nel caso di assenza di legame lineare tra temperatura media giornaliera e quota (sx) e di presenza di un gradiente termico statisticamente significativo (dx). Le linee a tratteggio fitto rappresentano l'intervallo di confidenza al 95%.*



**Fig. 5** - Empirical semivariogram interpolation example (a) and performance comparison between kriging and IDW (Inverse-(squared) Distance-Weighted mean).

*Fig. 5 - Interpolazione del semivariogramma empirico (a) e confronto di performance tra kriging e IDW (media pesata con l'inverso della distanza al quadrato).*

### Precipitation

In the 98% of rainy days, the Wilcoxon test showed the independence of LOOCV daily residuals for both IDW and kriging. The comparison of the density distribution of the MEs showed a similar performance of the two methods. When the MAE was used as comparison parameter, in 67% of cases the predictions yielded by the IDW were better or equivalent to those observed by the kriging. Working with non-validated data series led to occasionally strange spatial configurations and both methods proved poorly descriptive. More details on these errors are given in table 6. Kriging performed considerably better than IDW only when data showed good spatial correlation. IDW was preferred in the DSS implementation, as it was more robust in all the cases where the parameterization of the precipitation event is hardly assessable.

### Web interface

The end user of the DSS identifies a point of interest (POI) through the webGIS interface based on the p.mapper software library (Burger, 2008). Consequently, the relevant information is retrieved from RDBMS: the elevation attributed to the POI is that of the nearest DTM cell (stored as a vector point layer); land use is inferred from the "Effective Land Use Map" (CUSR) (PAT, 2006); the identification codes of meteorological

stations falling into a 5-km-radius circle (if the number of stations is less than 4, the radius is doubled) come from the meteorological database; the depth and structure of soil are retrieved from the Cpp and are used for  $f_c$  and wilting point ( $w_p$ ) assessment.

The  $T_{min}$ ,  $T_{dm}$ ,  $T_{max}$ , and P are retrieved from the DBMS and spatially interpolated (Pebesma, 2006) for the 7 days preceding the present date for all the stations that meet the position requirement.  $k_{cd}$  is fixed according to the CUSR for the given period of the year. The available water content (awc) and the portion of water rapidly available for roots (raw) are calculated. The water inputs and outputs received by the soil are then quantified by spatial interpolation, for the seven days preceding the query (current date).

Evapotranspiration is calculated for the 3 days after the actual user request, by applying MBLM kriging to 7 forecast points. For this task we use temperature forecasts provided by Meteotrentino (the regional meteorological service) on 7 stations by Kalman filtering (Galanis *et al.*, 2002) of the meteorological model from Reading European Centre (ECMWF). Rainfall is interpolated by IDW using 4 ECMWF points surrounding the pilot area (Fig. 1). This offers the opportunity for further resource optimization to the whole DSS system. Graphs and tables are served to the user.



## Conclusions

The envisaged changes in the patterns of precipitation and the need to preserve valuable crops require that good practices in agriculture are implemented, supported by the development of modern tools for modelling water requirements. Thus a Decision Support Service (DSS) has been developed to follow growers' syndicates in their irrigation management. This DSS focuses on reduction of wastes, by modulating necessary supplies during the growing season. System efficiency is based on the minimization of user inputs, on robust spatialization techniques and on the scalability offered by interoperable open source software (Ciolli *et al.*, 2006).

## Acknowledgements

This study was funded by the Provincia Autonoma di Trento, Department of Agriculture, Commerce and Tourism. Thanks to: Alessandro Biasi, Amelia Caffarra, Paolo Cestari, Stefano Corradini, Claudio Dalsant and Michele Tarolli .

## References

- Acutis M., Perego A., Bernardoni E., Rinaldi M., 2010. AQUATER Software as a DSS for Irrigation Management in Semi-Arid Mediterranean Areas. *Italian Journal of Agronomy*, 5(2): 205-215.
- Battista P., Benincasa F., Duce P., Pellizzaro G., 1994. Metodi Agrometeorologici per il calcolo dei fabbisogni irrigui. *Quaderno Ce.S.I.A.*, 30, 91 pp.
- Bonamano A., Borin M., 2008. An Application of agrometeorology: irrigation water management in maize, PhD thesis, University of Padua.
- Burger A., 2008. p.mapper: a mapeserver/php\_mapscript framework. <http://www.pmapper.net/>.
- Ciolli M., Vitti A., Zatelli P., Zottele F., 2006. FOSS spatial DBMS and interoperability. *Geomatic workbook*, 6: 1-9.
- Colombo M., Portolan V., Toller G., Zampedri R., Eccel E., 2001. Il clima nelle valli del Noce in Trentino. *Acta Geologica*, 76: 71-88.
- Cressie N., 1993. *Statistics for Spatial Data*. Wiley, New York.
- Eccel E., Toller G., Portolan V., Colombo M., 2004. Irrigation scheduling in a mountaineous fruit growing area implemented on a GIS. *Advances in Horticultural Science*, 2:74: 84.
- Ewerth F., Rounsevell M.D.A., Reginster I., Metzger M.J., Leemans R., 2004. Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107: 101-116.
- FAO (ed.) 2007. *Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities*. Interdepartmental Working Group on Climate Change.
- Fezzi M., 2007. Il Piano generale di utilizzazione delle acque e riflessi sull'uso dell'acqua in agricoltura. Simposio "Acqua e agricoltura", S. Michele, Istituto Agrario, 14 maggio 2007: 7-44.
- Galanis G, Anadreanistakis M., 2002. A one-dimensional Kalman filter for the correction of near surface temperature forecasts. *Meteorological Applications*, 9(4): 437-441.
- Giorgi F., Bi X., Pal, J., 2004. Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071- 2100). *Climate Dynamics*, 23: 839-858.
- Grünberg K.U., Beltrano C., Perini L., Rossi F., Dall'Olio N., Tripaldi V., Toller G., Eccel E., Reitschläger J.D., Petrakis M., Verbič J., Mateescu E., Turcu V., Cortez-Sack S., 2007. Agriculture and climate change in Europe. Regional facts and challenges. Project ACCRETE, 82 pp.
- Hengl T., Heuvelink G.B.M., Rossiter D.G., 2007. About regression-kriging: from equations to case studies. *Computers and Geosciences*, 33(10): 1301-1315.
- IPCC (ed.), 2007. *Climate change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kitanidis P.K., 1997. *Introduction to geostatistics*. Cambridge University Press.
- Lukasz K. 2007. mblm: Median-Based Linear Models. R package version 0.11. <http://www.r-project.org>, <http://www.komsta.net/>.
- Mannini P., Anconelli S., Genovesi R. 2009. Irrinnet e Tecnirri, un aiuto agli agricoltori nelle decisioni irrigue. XXVI° convegno peschiccolo - Sistemi esperti per la gestione dell'acqua in regime di risparmio idrico.
- McLeod A.I., 2005. Kendall: Kendall rank correlation and Mann-Kendall trend test. R package version 2.0, <http://www.stats.uwo.ca/faculty/aim/>.
- Olesen J.E., Bindi M., 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy* 16: 239-262.
- Pebesma E.J., 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, 30: 683-691.
- Rounsevell M.D.A., Ewert F., Reginster I., Leemans

- R., Carter T.R., 2005. Future scenarios of European agricultural land use II. Projecting changes in cropland and grassland, *Agriculture Ecosystems & Environment* 107: 117-135.
- Sartori G., Toller G., 2010. La carta dei pedopaesaggi e dei suoli, in: "Esperimenti di irrigazione per un uso sostenibile dell'acqua", 22 marzo 2010.
- Sen P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.
- Shepard D., 1968. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the 1968 Association for Computing Machinery (ACM) National Conference*: 517-524.
- Theil H., 1950. A rank invariant method for linear and polynomial regression analysis. *Nederl. Akad. Wetensch. Proc. Ser. A* 53: 1950 386-392 (Part I), 521-525 (Part II), 1397-1412 (Part III).
- G. Toller, M. Ciampa, 2002. Irrigazione in internet: Irri2 si evolve. *Terra Trentina*, 7.

# La siccità nelle Marche nel periodo 1961-2009

Stefano Leonesi<sup>1\*</sup>, Danilo Tognetti<sup>1</sup>

**Abstract:** Drought is an important phenomenon with effects in agriculture and groundwater. Several results on trend of drought events in Marche Region in the period 1961-2009 are presented. For this purpose, we have considered the Standard Precipitation Index from 1 to 48 monthly temporal scales. The highly significant increase of the frequency of drought events from SPI-6 upwards and their return period, about six years for 3- and 6-months periods, are discussed. The analysis has permitted to individuate the more affected regional areas: northern Marche and coast in summer, most of the region, in particular Macerata's province, during winter.

**Keywords:** drought, precipitation, Standardized Precipitation Index, SPI, return period.

**Riassunto:** La siccità è un fenomeno con importanti ricadute in agricoltura e sulle falde acquifere. Sono presentati alcuni risultati dello studio della siccità nelle Marche nel periodo 1961-2009. L'analisi si basa sul calcolo dell'indice SPI (Standardized Precipitation Index) alle diverse scale temporali, da 1 a 48 mesi. I risultati mostrano come ci sia un trend crescente con alto livello di significatività dei fenomeni siccitosi dalla scala semestrale in su. Anche i loro tempi di ritorno sono considerati e si aggirano intorno ai 6 anni per intervalli trimestrali e semestrali. Lo studio ha permesso altresì di individuare le aree marchigiane più soggette e vulnerabili alla siccità: le zone settentrionali e costiere per i periodi estivi, gran parte del territorio, e soprattutto il maceratese, per quello invernale.

**Parole chiave:** siccità, precipitazioni, Standardized Precipitation Index, SPI, tempi di ritorno.

## INTRODUZIONE

La necessità di approfondire la conoscenza sul fenomeno della siccità è decisamente sentita per le sue vaste conseguenze ed implicazioni in ambito agricolo, sociale ed economico. Inoltre i paventati mutamenti climatici non fanno che rendere tale necessità ancor più insistente. Il presente lavoro intende studiare gli eventi siccitosi che hanno interessato la Regione Marche nel periodo 1961-2009, investigare la presenza di un loro trend significativo e individuare le aree regionali più coinvolte dagli stessi.

Per tali fini si è scelto di adoperare l'indice SPI (Standardized Precipitation Index), sviluppato da McKee *et al.* (1993). Uno dei vantaggi legati all'uso dell'SPI deriva dal fatto che per il suo calcolo si abbisogna solo dei dati delle precipitazioni.

La tabella seguente classifica i livelli di siccità in dipendenza ai valori assunti dall'indice:

Valore SPI	Classe
> 2	Estremamente umido
Da 1,5 a 1,99	Severamente umido
Da 1 a 1,49	Moderatamente umido
Da -0,99 a 0,99	Vicino al normale
Da -1,49 a -1	Moderatamente siccitoso
Da -1,99 a -1,5	Severamente siccitoso
< -2	Estremamente siccitoso

\* danilo.tognetti@regione.marche.it

<sup>1</sup> Centro Operativo Agrometeo ASSAM – Regione Marche  
received 06-Lug-10 accepted 01-Oct-10

L'indice SPI appare estremamente versatile perché in grado di quantificare le ripercussioni della siccità su finestre temporali di varia ampiezza, in genere da 1, 3, 6, 12, 24, 48 mesi. Nel seguito indicheremo con SPI-1, ..., SPI-48 gli indici relativi. Nel considerare SPI-1, si vanno a desumere informazioni sulla siccità meteorologica e sull'umidità dei primi strati del suolo, gli SPI-3 e SPI-6 offrono indicazioni sulla siccità agronomica e sulla resa delle colture, gli SPI-12 o superiori vengono considerati per la siccità idrologica e le sue conseguenze sul livello delle falde acquifere e delle portate dei fiumi.

L'efficacia dell'indice SPI è poi salvaguardata dall'osservazione della lunga e continuativa serie storica del periodo 1961-2009.

Infine per valutare l'intensità e la significatività del trend dell'SPI riscontrato a vari intervalli temporali si sono adoperati rispettivamente i test non parametrici di Sen-Theil e Mann-Kendall.

## MATERIALI E METODI

La serie storica delle precipitazioni regionali dal 1961 al 2009, usata per il calcolo dell'SPI e per le successive elaborazioni, è stata ottenuta considerando i dati rilevati da 15 delle 78 stazioni agrometeorologiche dell'ASSAM attive dal 1996, convenientemente scelte in modo da garantire l'omogeneità, la continuità e la rappresentatività del territorio regionale (Fig. 1). Per gli anni anteriori al 1996, i dati sono stati raccordati con le serie storiche dell'ex Servizio Idrografico elaborate nell'ambito del progetto MARSIA ASSAM (Mariani, 2005).

La metodologia usata per calcolo di SPI è quella adottata da Edwards et al. (1997). Per ogni stazione, in corrispondenza di SPI- $k$  ( $k = 1, 3, 6, 12, 24, 48$ ), si ricavano le serie delle cumulate delle precipitazioni  $\{s_m\}$  a  $k$  mesi, dal mese attuale fino al  $k-1$ -esimo precedente. Ogni serie ottenuta viene suddivisa in 12 sequenze mensili le quali sono adattate a distribuzioni Gamma  $H_m(x)$  di parametri  $\alpha_m$  e  $\beta_m$ , con  $m = 1, \dots, 12$ , stimati secondo Thom (1966):

$$\alpha_m = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\beta_m = \frac{E(s_m)}{\alpha_m}$$

dove

$$A = \ln(E(s_m)) - \frac{\sum \ln(s_m)}{N}$$

Le probabilità cumulate sono date da

$$G_m(x) = \frac{1}{\beta_m^{\alpha_m} \Gamma(\alpha_m)} \int_0^x x^{\alpha_m-1} e^{-\frac{x}{\beta_m}} dx$$

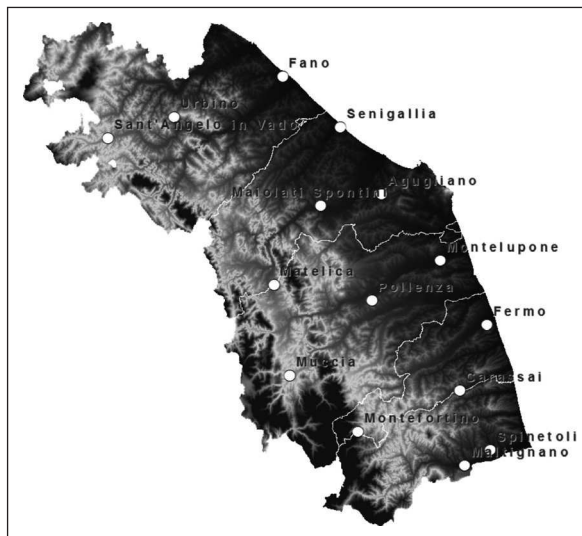
per  $m = 1, \dots, 12$ . Al fine di ampliarne il dominio per  $x=0$  (precipitazione nulla), le probabilità cumulate diventano

$$H_m(x) = q + (1-q)G_m(x)$$

dove  $q$  è la probabilità di precipitazione nulla. Ciascuna  $H_m(x)$  viene finalmente trasformata in una corrispondente distribuzione Normale standard (di media 0 e varianza 1) per ottenere il valore dell'indice SPI. Si tratta di una trasformazione equiprobabile, in modo che la probabilità di essere inferiore ad un certo valore nella Gamma sia uguale alla probabilità di essere inferiore al valore trasformato corrispondente nella Normale (Panofsky and Brier, 1958).

La bontà dell'adattamento della distribuzione di frequenza delle precipitazioni cumulate alla distribuzione di probabilità Gamma è stata controllata tramite il test Chi Quadrato.

La realizzazione pratica dei test di Mann-Kendall e Sen-Theil è stata effettuata tramite le librerie *Kendall* e *Zyp* del software statistico R (reperibile al sito <http://www.r-project.org/>), libero con licenza GNU General Public License ([www.gnu.org/](http://www.gnu.org/)). R è stato utilizzato anche per determinare i *break point*, tramite la libreria *Strucchange*. Le carte tematiche sono state realizzate con il software ArcMap di ESRI (<http://www.esri.com/>)



**Fig.1** - Posizione geografica delle 15 stazioni usate per la serie storica delle precipitazioni 1961-2009.

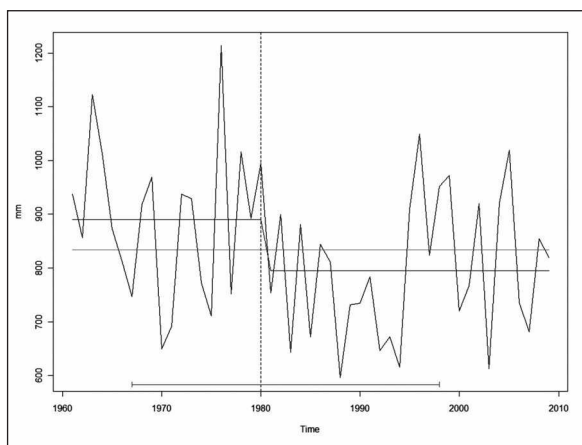
*Fig.1 - Geographical map of the meteorological station network USCO for the precipitation in the period 1961-2009.*

## RISULTATI

L'ipotesi di buon adattamento delle cumulate delle precipitazioni alla distribuzione Gamma, appurato con il test Chi Quadrato, è stata accettata nel 96% dei casi, con una significatività pari a 0,05. I casi negativi ricadono quasi tutti nelle scale temporali inferiori (SPI-1 e SPI-3).

## SIGNIFICATIVITÀ DEI TREND LINEARI

Per ognuna delle 15 stazioni considerate si sono calcolati gli SPI-1, ..., SPI-48 con frequenza mensile a partire dalle serie storiche delle precipitazioni puntuali. L'uso delle medie precipitative permette di sin-



**Fig. 2** - Andamento precipitazione totale annua regionale (mm). Anni 1961-2009. Si nota anche il break point del 1980.

*Fig. 2 - Regional annual precipitation trend (mm). Period 1961-2009, with estimated break point in 1980.*

Stazione	SPI-1	SPI-3	SPI-6	SPI-12	SPI-24	SPI-48
<b>Regione</b>	n.s.	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003
<b>Prov. Pesaro-Urbino</b>	n.s.	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	n.s.
Fano	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.001
Sant'Angelo in V.	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002
Urbino	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
<b>Prov. Ancona</b>	n.s.	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
Agugliano	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002
Maiolati S.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.001	n.s.
Senigallia	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
<b>Prov. Macerata</b>	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.003
Matelica	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003
Montelupone	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002
Muccia	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003
Pollenza	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002
<b>Prov. Ascoli P.-Fermo</b>	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002
Carassai	n.s.	0.000	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002
Fermo	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003
Maltignano	n.s.	n.s.	n.s.	-0.001	-0.002	-0.002
Montefortino	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.001
Spinetoli	n.s.	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003

**Tab. 1** - Stima del coefficiente angolare, con il metodo di Sen-Theil (approssimato alla terza cifra decimale) e sua significatività secondo il test di Mann-Kendall, dei trend lineari dell'indice SPI su media regionale, provinciale e per singola stazione; n.s. non significativo ( $p\text{-value} \geq 0,05$ ); grigio chiaro, moderatamente significativo (95%,  $0,01 \leq p < 0,05$ ); grigio scuro, molto significativo (99%,  $p < 0,01$ ).

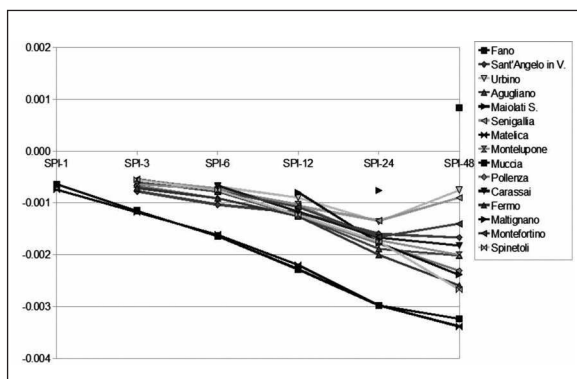
Tab. 1 - Estimate of slopes of linear trend of SPI index (approximate to third decimal place) and its significance according to Mann-Kendall test: n.s., not significant ( $p\text{-value} \geq 0,05$ ); light gray, moderately significant (95%,  $0,01 \leq p < 0,05$ ); dark gray, highly significant (99%,  $p < 0,01$ ).

tetzare l'SPI a livello provinciale e regionale (Fig. 2). Successivamente abbiamo rivolto l'attenzione alla tendenza degli indici SPI, sia per ciascuna stazione che a livello medio provinciale e regionale.

La Tab. 1 mostra un trend non significativo dell'SPI-1 per 13 stazioni su 15; Muccia e Matelica hanno invece una significatività forte del 99% (moderata per la provincia di Macerata); con l'SPI-3 si rafforza la significatività per la maggioranza delle stazioni considerate.

Allargando poi la finestra temporale dell'indice, si nota un contemporaneo e diffuso incremento del numero delle stazioni che presentano un trend significativo soprattutto per le provincie meridionali, Macerata, Fermo e Ascoli Piceno.

Discorso a parte meritano le stazioni di Fano e Maiolati S. dove la significatività risulta esigua, rispet-



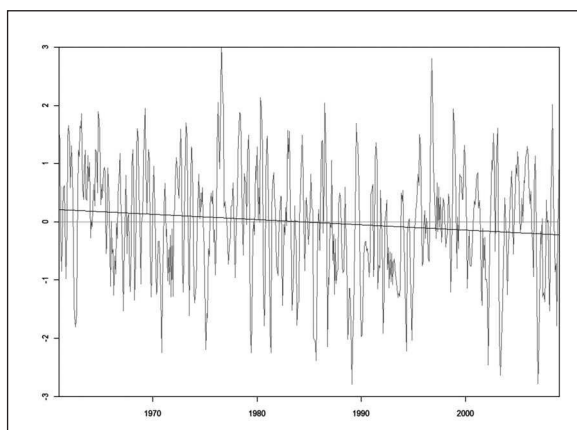
**Fig. 3** - Andamento dei coeff. angolari (stimati con metodo di Sen-Theil) dell'indice SPI in funzione della finestra temporale. Sono riportati solo i coefficienti ritenuti significativi (test di Mann-Kendall). Periodo di calcolo 1961-2009.

Fig. 3 - Trend of slopes (estimated with Sen-Theil approach) of SPI indexes. Only significant slopes (by Mann-Kendall test) are considered. Period 1961-2009.

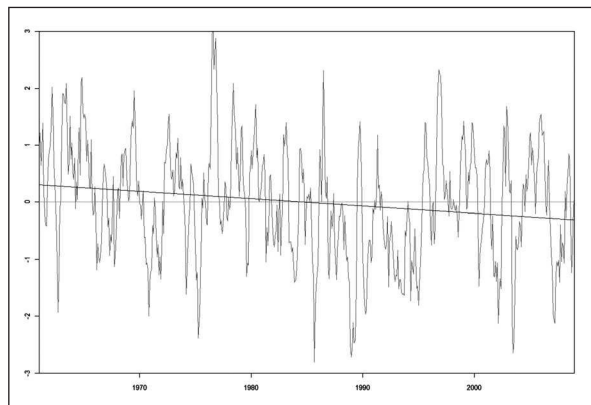
tivamente solo nei casi di SPI-48 e SPI-24. La quasi totalità dei trend lineari significativi degli SPI calcolati sulle singole stazioni considerate è negativo (Fig. 3); solo quella di Fano presenta un trend positivo in corrispondenza dei 48 mesi. Da evidenziare che in genere l'entità della decrescita si accentua all'aumentare dell'ampiezza della finestra temporale, come si può dedurre dalla diminuzione dei coefficienti angolari delle rette di regressione relative (Fig. 3).

Anche a livello medio regionale tutti gli indici SPI, ad eccezione di SPI-1, fanno emergere un andamento lineare decrescente con alta significatività ( $p < 0,01$ ) a partire dai 3 mesi (Tab. 1) e con pendenza crescente all'aumentare dell'ampiezza della finestra temporale (esempi da Fig. 4 a Fig. 8). L'SPI-1 non presenta invece alcuna significatività.

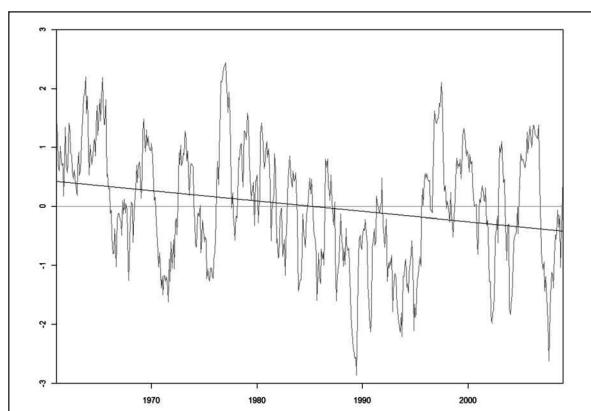
La non significatività e la discordanza dei risultati



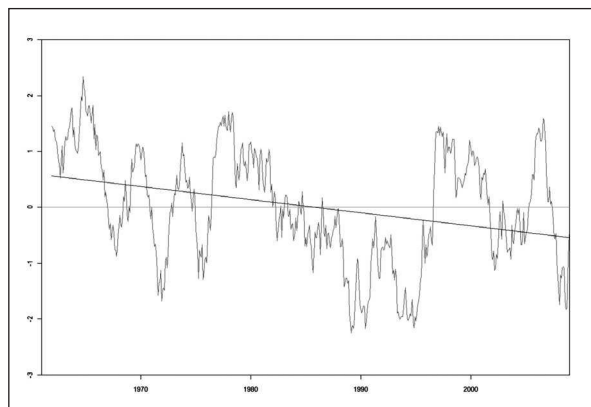
**Fig. 4** - Andamento mensile SPI-3. Anni 1961-2009.  
Fig. 4 - Monthly SPI-3 trend. Period 1961-2009.



**Fig. 5** - Andamento mensile SPI-6. Anni 1961-2009.  
*Fig. 5 - Monthly SPI-6 trend. Period 1961-2009.*



**Fig. 6** - Andamento mensile SPI-12. Anni 1961-2009.  
*Fig. 6 - Monthly SPI-12 trend. Period 1961-2009.*



**Fig. 7** - Andamento mensile SPI-24. Anni 1961-2009.  
*Fig. 7 - Monthly SPI-24 trend. Period 1961-2009.*

delle stazioni di Maiolati S. e Fano rispetto alle altre stazioni, anche limitrofe, potrebbe essere imputabile ad un impreciso raccordo tra le due serie storiche delle precipitazioni usate per calcolare gli indici.

	SPI-1 Luglio	SPI-3 estate	SPI-6 inverno	SPI-6 estate
Estr. siccitosi SPI < -2	2.0	2.7	2.0	3.1
Sev. siccitosi -2 ≤ SPI < 1.5	6.1	4.8	2.7	4.1
Mod. siccitosi -1.5 ≤ SPI < -1	2.0	8.2	13.9	9.2
Siccitosi SPI < -1	10.2	15.6	18.7	16.3
Vicino al normale -1 ≤ SPI < 1	75.5	67.3	66.0	70.1
Umidi SPI ≥ 1	14.3	17.0	15.3	13.6
Mod. umidi 1 ≤ SPI < 1.5	4.1	10.2	8.8	8.8
Sev. umidi 1.5 ≤ SPI < 2	8.2	4.1	3.1	2.7
Estr. umidi SPI > 2	2.0	2.7	3.4	2.0

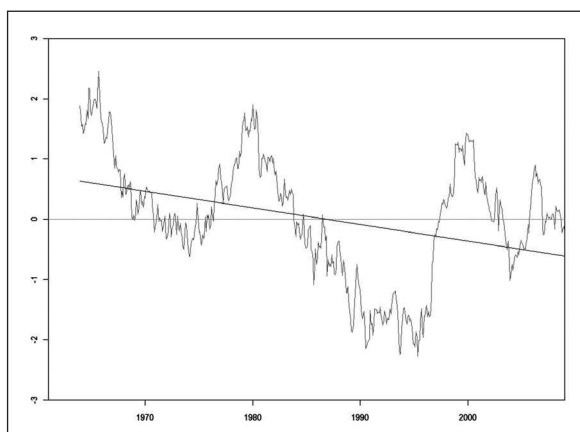
**Tab. 2** - Frequenza percentuale eventi siccitosi, media regionale. Periodo di calcolo 1961-2009.  
*Tab. 2 - Drought events frequency (%), regional average. Period 1961-2009.*

### FREQUENZA DEGLI EVENTI SICCIOSI

A livello regionale, la maggior frequenza di eventi siccitosi (valori di SPI < -1) ha cadenza semestrale, specie nel periodo invernale, dal mese di ottobre a quello di marzo (Tab. 2).

Gli eventi *estremamente siccitosi* mostrano una frequenza del 2-3% con un picco di 3,1% nel semestre estivo (SPI-6 da aprile a settembre).

Oscillazioni più ampie per gli eventi *severamente siccitosi*, tra 2,7%-6,1%. I più frequenti risultano



**Fig. 8** - Andamento mensile SPI-48. Anni 1961-2009.  
*Fig. 8 - Monthly SPI-48 trend. Period 1961-2009.*

	SPI-1 Luglio	SPI-3 estate	SPI-6 inverno	SPI-6 estate
Estr. siccitosi SPI<-2	49.0	36.8	49.0	32.7
Sev. siccitosi -2<=SPI<1.5	16.3	21.0	36.8	24.5
Mod. siccit osi -1.5<=SPI< -1	49.0	12.3	7.2	10.9
Siccitosi SPI<-1	9.8	6.4	5.3	6.1
Vicino al normale -1<=SPI<1	1.3	1.5	1.5	1.4
Umidi SPI>=1	7.0	5.9	6.5	7.4
Mod. umidi 1<=SPI<1.5	24.5	9.8	11.3	11.3
Sev. umidi 1.5<=SPI<2	12.3	24.5	32.7	36.8
Estr. umidi SPI>2	49.0	36.8	29.4	49.0

**Tab. 3** - Tempi di ritorno in anni, media regionale. Periodo di calcolo 1961-2009.

*Tab. 3 - Return period (year) regional, average. Period 1961-2009.*

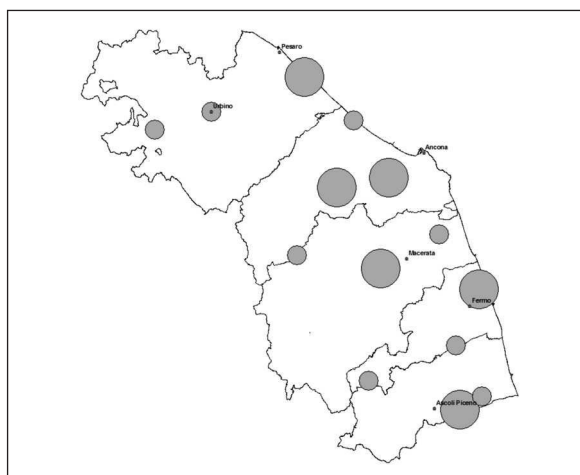
quelli alle scale temporali più brevi (SPI-1 di luglio e SPI-3 luglio-agosto-settembre).

Sempre per l'SPI-6 invernale (da ottobre a marzo) si verificano più spesso gli eventi siccitosi di moderata intensità (13,9%).

La frequenza degli eventi umidi varia, grosso modo, nell'intervallo 14-17%, con più elevate ricorrenze nel trimestre estivo (SPI-3 luglio-agosto-settembre).

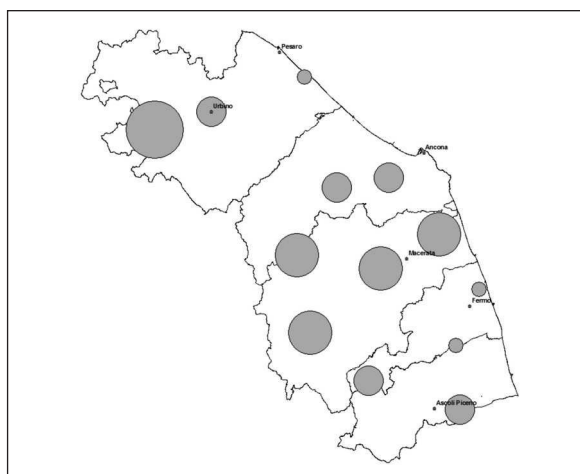
Anche gli eventi estremamente umidi si aggirano intorno al 2-3% con un massimo di 3,4% per l'SPI-6 invernale.

L'indagine territoriale mostra interessanti correlazioni fra l'indice e alcune variabili geografiche. Significativo ad esempio è risultato il coefficiente di correlazione ( $r$ ) fra la frequenza degli eventi siccitosi nel breve periodo e la distanza dal mare, pari a -0,52 per l'SPI-1 luglio e 0,64 per l'SPI-3 estate, il che evidenzia all'allontanarsi della costa un comportamento diametralmente opposto, con un decremento degli eventi siccitosi a luglio ed un incremento degli eventi stessi per il trimestre estivo, fenomeno quest'ultimo che coinvolge sia la zona costiera che il maceratese in genere (Fig. 9 e Fig. 10). Il conteggio degli eventi siccitosi semestrali dimostra una maggiore affinità con la latitudine (Fig. 11 e Fig. 12) ma anche in questo caso, con direzioni opposte. Infatti, mentre l'SPI-6 estivo cresce con la latitudine



**Fig. 9** - SPI-1 luglio. Frequenza eventi siccitosi. Anni 1961-2009. A cerchio più grande corrisponde frequenza maggiore.

*Fig. 9 - SPI-1 July. Drought events frequency. Period 1961-2009. Circle area is proportional to frequency.*

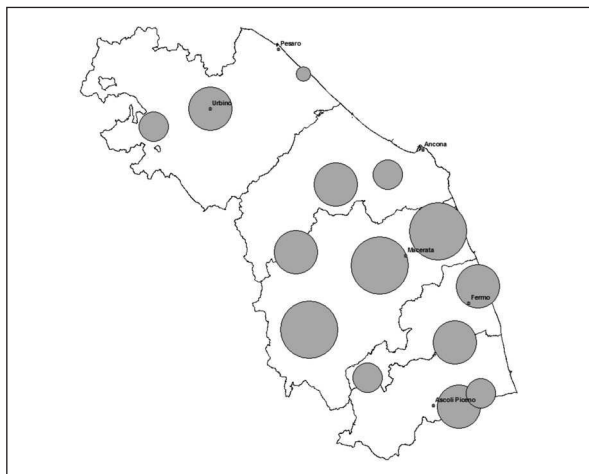


**Fig. 10** - SPI-3 estate. Frequenza eventi siccitosi. Anni 1961-2009. A cerchio più grande corrisponde frequenza maggiore.

*Fig. 10 - SPI-3 summer. Drought events frequency. Period 1961-2009. Circle area is proportional to frequency.*

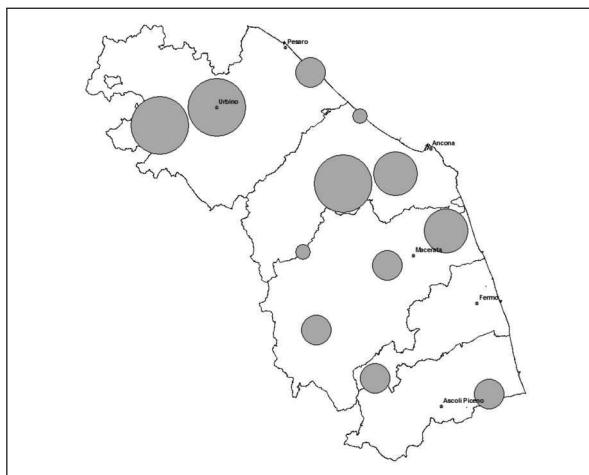
( $r=0,53$ ) quello invernale diminuisce anche se in maniera più disordinata e con una bassa correlazione ( $r=-0,38$ ).

Possiamo offrire una diversa lettura della Tab. 2 esprimendone i dati sotto forma di *tempo medio di ritorno*  $T = 1/frequenza\ rel.$  Segue che, sempre a livello regionale, con cadenza trimestrale e semestrale, il tempo medio di ritorno sia degli eventi siccitosi (SPI<-1) che di quelli umidi (SPI>1) si aggira intorno ai 6 anni. Naturalmente minore è invece la media degli eventi "normali", pari a 1,4 anni (Tab. 3).



**Fig. 11** - SPI-6 inverno. Frequenza eventi siccitosi. Anni 1961-2009. A cerchio più grande corrisponde frequenza maggiore.

*Fig. 11 - SPI-6 winter. Drought events frequency. Period 1961-2009. Circle area is proportional to frequency.*



**Fig. 12** - SPI-6 estate. Frequenza eventi siccitosi. Anni 1961-2009. A cerchio più grande corrisponde frequenza maggiore.

*Fig. 12 - SPI-6 summer. Drought events frequency. Period 1961-2009. Circle area is proportional to frequency.*

## CONCLUSIONI

Dalle elaborazioni è emerso un generale incremento dei fenomeni siccitosi nelle Marche con un accento maggiore per quelli a media e lunga durata. Si nota inoltre una più alta incidenza della siccità estiva tendenzialmente per le zone settentrionali e costiere, ed un carattere più diffuso e generalizzato per quella invernale, più marcato comunque per le province meridionali e in particolare per il maceratese.

Le incongruenze sugli andamenti degli indici riscontrate per le stazioni di Fano e Maiolati S. sug-

geriscono di approfondire la questione del raccordo fra i dati più recenti di fonte ASSAM e quelli dell'ex Servizio Idrografico riferiti al periodo anteriore al 1996.

## Bibliografia

- Bai J., 1994. Least Squares Estimation of a Shift in Linear Processes. *Journal of Time Series Analysis*, 15: 453-472.
- Bai J., 1997a. Estimating Multiple Breaks One at a Time. *Econometric Theory*, 13: 315-352.
- Bai J., 1997b. Estimation of a Change Point in Multiple Regression Models. *Review of Economics and Statistics*, 79: 551-563.
- Bai J., Perron P., 1998. Estimating and Testing Linear Models With Multiple Structural Changes. *Econometrica*, 66: 47-78.
- Cacciatori G., Chiaudani A., Tridello G., Borin M., Salvan F., 2005. Studio della siccità in Veneto negli anni 1961-2004: SPI (Standard Precipitation Index). "Rivista Italiana di Agrometeorologia", 1: 26-27.
- Edwards Daniel C., McKee Thomas B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climo Report 97-2*, Dept. of Atmos. Sci., CSU, Fort Collins, CO, May, Cap. 3.
- Maniero G., Borin M., Chiaudani A., Cacciatori G., 2009. SPI: Standard Precipitation Index - Analisi storica del deficit e surplus pluviometrico in Veneto nel periodo 1956-2004. "Rivista Italiana di agrometeorologia", 14 (2).
- Mariani L., 2006. Alcuni metodi per l'analisi delle serie storiche in agrometeorologia.
- Mariani L., 2005. Caratterizzazione agroclimatica del territorio delle Marche, progetto MARSIA ASSAM.
- McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Pre prints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, Texas, American Meteorological Society: 233-236.
- McKee T., Doesken N., Kleist J. 1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scales". 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22, 1993, Anaheim, California, Amer. Meteor. Soc.: 179-184.
- Panofsky H. A., Brier G. W., 1958. Some Application of Statistics to Meteorology. Earth and Mineral Sciences Continuing Education, College of Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, 224 pp.
- Thorn, H. C. S., 1966. Some Methods of Climatological Analysis. WMO Technical Note Number 81, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 53 pp.



# Adaptation to climate change and mitigation strategies in cultivated and natural environments. A review.

Efthymia Chatzidaki, Francesca Ventura<sup>\*1</sup>

**Abstract:** *This paper reviews recent scientific literature addressing climate change adaptation and mitigation measures developed by the scientific community. The review analyses more than one hundred papers regarding forests, agriculture and water resources. Its aim is to be used as a basis for supporting future research and long-term mitigation and adaptation planning. Mitigation possibilities are mainly focused on producing energy from renewable resources, reducing CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuels and using biomass specifically produced or different types of wastes. Other mitigation strategies are contrasting or governing land use changes or sequestering C into the soil. Adaptation to climate change will need anthropic intervention, to help the adapting capability of different environments. Most of the papers reviewed underline the need to act immediately to have the desired results, and to take into account, during the design of the strategy, the society and the local authorities, which may be able to help at identifying the vulnerabilities and the appropriate measures for each region.*

**Keywords:** *climate change, mitigation, adaptation, agriculture, natural environments, review.*

**Riassunto:** *L'articolo esamina la letteratura scientifica recente su cambiamento climatico e misure di adattamento e mitigazione. La rassegna analizza più di cento articoli riguardanti l'ambiente naturale, occupandosi principalmente di foreste, agricoltura e risorse idriche. Lo scopo è quello di essere base per la ricerca futura su mitigazione a lungo termine e pianificazione dell'adattamento. Le possibilità di mitigazione riguardano principalmente la produzione di energia da fonti rinnovabili, per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> da combustibili fossili, e usare biomasse specificamente prodotte o tipi differenti di residui o rifiuti. Altre strategie di mitigazione riguardano il contrasto o la gestione del cambiamento di uso del suolo o il sequestro di carbonio nel terreno. Per l'adattamento al cambiamento climatico di colture, foreste o vegetazione naturale c'è necessità di un intervento antropico, per aiutare le capacità di adattamento dei diversi ambienti. La maggior parte degli articoli analizzati sottolinea la necessità di agire presto per ottenere i risultati desiderati, e di prendere in considerazione, durante la progettazione delle strategie, società ed enti locali, che possono aiutare ad identificare le vulnerabilità e le misure appropriate per ogni regione.*

**Parole chiave:** *cambiamento climatico, mitigazione, adattamento, sistemi agricoli, sistemi naturali, review.*

## 1. INTRODUCTION

Increase in greenhouse gas (GHG) emissions through human activities has resulted in additional warming of the earth's surface, with several anticipated disastrous impacts (Nyong *et al.*, 2007). The impacts of changes in current climate have been analysed in depth and, according to several studies, nearly all European regions will be affected by future impacts of climate change, though not at the same magnitude (Parry *et al.*, 1989, Rotmans *et al.*, 1994, Beniston *et al.*, 1998, Parry, 2000, Kundzewicz *et al.*, 2001, EEA, 2006, Adger *et al.*, 2007, Alcamo *et al.*, 2007, EEA, 2008, CEC, 2009). The different spatial distribution of the impacts over European regions, will put additional pressures on the existing social-ecological structures and functions (Folke *et al.*, 2005, Eakin *et al.*, 2006, Folke, 2006).

Until recently and for a variety of reasons, the primary response to climate change has been mitigation through reduction of greenhouse gas emissions. Since the late 1980s, the European Union has played a prominent role in the international political scene to reduce greenhouse gas emissions, particularly through the promotion of research and the establishment of ambitious policy emission reduction targets of several EU countries (Schreurs and Tiberghien, 2007). Only with increasing evidence of climate impacts occurring (e.g. with Arctic sea ice and mountain glaciers melting, permafrost thawing, extreme heat waves, number of floods and storm damage increasing) has adaptation become part of the political agenda, aiming at assisting the management of the inevitable future impacts (EEA, 2008). Until the last couple of years, the European Union, focusing mainly on delivering the Kyoto targets and mechanisms, has played a rather limited role in adaptation (Biesbroek *et al.*, 2010).

<sup>\*</sup> Corresponding author e-mail: francesca.ventura@unibo.it

<sup>1</sup> DiSTA, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali, Università di Bologna

received 15-Jul-10 accepted 04-Nov-10

Today however, it is increasingly realized that mitigation and adaptation can yield better results if both strategies are seen as complements. This is justified in the recent calls to integrate adaptation and mitigation strategies into climate change policies (Nyong *et al.*, 2007).

Aim of this paper is to review some of the most recent mitigation and adaptation measures developed worldwide, accompanied, where possible, by studies of their efficiency and applicability. The study is focused mainly on mitigation and adaptation strategies applied in the field of agronomy, forestry and related natural resources.

## 2. MITIGATION

During the years following the Kyoto Protocol, intense research has been conducted in order to find ways to reduce the increasing concentration of greenhouse gases (mainly CO<sub>2</sub>) observed. Researches were mainly focused at the following sectors: reduction of the CO<sub>2</sub> emissions and reduction of CO<sub>2</sub> concentrations already present in the atmosphere, improvement of the energy efficiency, invention and promotion of new, low-carbon technologies and renewable energy sources. Other mitigation options are reducing or managing the land use changes, and maintain or increase the C stock in soil.

In this paper some results are presented regarding not only the new methodologies proposed for clean energy and reduction of GHG concentrations, but also problems that already existing technologies and methodologies are facing on their applications, and land use changes effects.

### 2.1. Afforestation and reforestation projects

The loss of C from biomass and soils due to the conversion of native ecosystems to agricultural land, mainly in the tropics, is the second largest (after fossil fuel) source of CO<sub>2</sub> input to the atmosphere. Most comes from the removal of the woody biomass C stocks (from burning and decay) that are lost, unless the land returns to forest cover.

The conversion of current land use to forest plantations that sequester carbon dioxide may help mitigate global warming (Sedjo *et al.*, 1989, Harmon *et al.*, 1990, Binkley *et al.*, 1994). Using forest plantations as carbon sinks can be one of the lowest cost options to reduce carbon dioxide emission in the atmosphere (Plantinga *et al.*, 1999, Van Kooten *et al.*, 2007). Following the Clean Development Mechanism (CDM) of the Kyoto Protocol, the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) set new rules in 2003 that allow developing countries to earn carbon credit revenues

from approved afforestation and reforestation projects. Temporary certified emission reductions (tCERs) and long-term certified emission reductions (lCERs) were introduced under the CDM as carbon credits from forest based programs (Galinato *et al.*, 2010).

In mid-2009 the number of registered CDM projects was 1665, of which however, only 4 were afforestation/reforestation projects, while two others await registration (Thomas *et al.*, 2009).

Thomas *et al.* (2009) and Galinato *et al.* (2010) investigate the efficiency of the afforestation or reforestation projects (A/R) and its temporary certified emission reductions system (tCERs), as well as the reasons of its so far limited application.

Galinato *et al.* (2010) identified three sources of inefficiencies from the current policy, that lead to the landowner's suboptimal choice of timber rotations. Firstly, at the frame of tCERs in forest projects, carbon revenues can be earned only during the first 60 years of the program; after that, no crediting system is applied. Secondly, within the tCERs mechanism, the landowner is allowed to harvest and replant trees during the project without affecting the validity of issued tCERs (Bird *et al.*, 2004). The absence of harvest taxes induces the landowner to choose short rotation intervals, re-releasing carbon in the atmosphere. Finally, the current crediting system "over-credits" the landowner for the amount of carbon sequestered because carbon counting at verification is based on accumulated carbon instead of marginally sequestered one. These have contrasting effects as the first two induce the landowner to choose shorter rotation intervals than the socially optimal ones, while the third one induces to longer ones.

Thomas *et al.* (2009), on the other hand focused their research on mainly two aspects of the A/R projects: (1) financial constraints, particularly from the landholders' perspective; and (2) constraints associated with proponents' lack of the technical knowledge and skills which are required to successfully manage the complex administrative and governance aspects of CDM project development. They found that much of the structure of the A/R projects is too complex or risky for the potential participants. For example land users would have to face potential impacts of disease, insects (Binkley *et al.*, 1997) and natural disasters such as drought, fire and floods (Boyd *et al.*, 2007, Mattsson *et al.*, 2009), and these potential threats can be powerful disincentives for involvement if they imply loss of income.

From the financial point of view, CDM A/R projects compete with other CDM projects (biomass,

hydropower, renewable energy) which offer earlier returns on investment, since newly planted forests take a number of years to yield net sequestration benefits, so amongst CDM financiers, finance for CDM A/R projects remains difficult to secure.

Another aspect of the difficulties one has to face when dealing with these projects is the fact that in developing countries, to which these projects are mostly addressed, there is often a general lack of the knowledge and technical capacity required to meet the demands of the CDM registration process (Yong *et al.*, 2007). CDM A/R projects must fulfil a range of prerequisites, including the establishment of baselines, selection of an appropriate methodology (for the project activity), leakage accounting and explication of monitoring and validation procedures. Therefore, in order to be able to take the maximum profit out of it, future corrections must be made accounting for the need of less bureaucracy and more financial security of the projects.

Summarizing, afforestation/reforestation projects, as suggested by UNFCCC in 2003, resulted in a not very successful tool for mitigation. This seems to be mainly due to bureaucratic/administrative problems and future corrections are needed to give the possibilities to developing country to start new A/R projects.

## 2.2. Land use change

Land use change is responsible for about one third of C emissions (Lal, 2003). A large proportion of soil organic carbon lost could be re-sequestered through converting to an appropriate land use and adopting recommended management practices. Land use change comprehends the conversion of native ecosystems to agricultural (mainly in the tropics), land abandonment due to soil erosion, salinization, acidification, organic matter and nutrient depletion, and the enhancement of human settlements, mainly in the plain and coastal areas. A way to mitigation is the restoration of degraded soil, improving soil fertility and applying appropriate management practices (Lal, 2003). This will augment carbon sequestration in agricultural soil, could enhance crop yields in good soil, while spare lands could be used for production of energy crops. While improving and sustaining biomass/agronomic productivity, soil C sequestration reduces the rate of enrichment of atmospheric concentration of CO<sub>2</sub>. Lal (2004), Golub *et al.* (2009) and Smith *et al.* (2000) calculated the mitigation effect of these practices globally, for various continents/climate/ecosystems and in particular for Europe. Gardi and Sconosciuto (2007) calculated the depletion of top soil organic carbon (SOC, in the first 1m) in the

North of Italy in the last 70 years (from 1935 to 1990). The estimated average reduction of SOC was about 40%, and was related more to the adoption of new agricultural practices, such as the reduction of manuring and deeper tillage operations (Reicosky, 2001), than to effective land use changes. The area has been cultivated for thousands of years, in the last century it experienced mainly a contraction of permanent grasslands and alfalfa, respectively from 13% to 10%, and from 40% to 30%. The reduction of SOC acted as a source of carbon to the atmosphere, and the adoption of appropriate agricultural practices can contribute in reversing this trend and transform agricultural soil from a source to a sink of carbon. A long term experiment (1966 – 2000), conducted in the same area in Northern Italy, showed that it is quite difficult to enhance SOC content, and that it is important to use manure together with mineral fertilization but also to apply an integrated agricultural management, including all the agronomical practices, such as tillage, water management, cover crops etc., to favour organic matter build up in soil (Triberti *et al.*, 2008).

Land use change occurs mainly for socio-economic reasons and, where it is related to human population growth, can have positive counterparts. Falcucci *et al.* (2007) estimated an increase of forest in Italy, from 18.7% in 1960 to 32.5% in 2000, together with an increase of artificial cover from 1.3% to 4.6% in the same period. This corresponds to a growth of Italian population, and to a decrease of agricultural land (from 58% to 52%). In this case social development and urbanization had a positive effect on land use change and consequently on C sequestration.

Summarizing, the mitigation options associated with land use change are mainly related to the reduction of land conversion in the tropics, where forest is transformed in cropland, and with the improvement of existing farmland, by means of restoration of degraded lands and the adoption of suitable management practices.

## 2.3. Forest for carbon sequestration and production of energy

One of the alternative uses that a landowner could think of instead of the reforestation project, is the use of short rotation forests for production of electrical energy and biofuels. Energy crops cultivation can have a double effect as mitigation practice, mitigation from fossil fuel substitution and mitigation from land recovery, when spare and abandoned lands are used.

Kaul *et al.* (2010) compared the ability of forests to

reduce the carbon from the atmosphere, either as carbon sequestrators or through the production of electricity from their biomass instead of coal-based energy, at both forest and non-forest land. Both these mitigation options are likely to enhance the competitive advantage of woody biomass energy over fossil fuels as they may store carbon, while at the same time replace emissions from fossil fuel use (Marland and Schlamadinger, 1997, Berndes *et al.*, 2003, Walker *et al.*, 2009).

Marland and Schlamadinger (1997) suggest that direct carbon sequestration is favoured under low growth and low conversion efficiency (slow growing, long-lived trees), while fossil fuel substitution is favoured under high growth and high conversion efficiency (high production, short-rotation plantations).

The results of the study show that if we consider the total carbon benefit from carbon sequestration and biomass, short rotation forests used for energy production had a better performance. Moreover, this energy plantation option will probably provide for developing countries income to the owner, employment in the rural area, an alternative fuel source for replacing coal and reducing carbon emissions. It also may take away pressure on remaining forests, as fuel wood may become available from the energy plantations and will not need to be collected from the existing forests.

However, clearing of old growth natural forests for plantation of short rotation crops for fossil fuel substitution is not advisable because the net effect is negative for a long period of time, as most of the carbon will be lost to the atmosphere and it may take a long period to compensate this loss through substitution of fossil fuel use.

Therefore the more advisable thing to do is to protect the already existing natural forest and at the same time plant short rotation forests at non-forest lands for energy production.

#### 2.4. Fuel production from biomass

Apart from the forests other non-food crops can be used as biomass in order to produce energy and fuels of second generation, such as residues from agriculture, forestry and industry and dedicated lignocellulosic crops. Thanks to technology development, environmental performances of second generation biofuels could benefit of the use of high quantities of lignocellulosic residues and waste which are already available, such as perennial grasses, and short-rotation forestry (Cherubini, 2010).

The technological process followed in biorefinery is depolymerising and deoxygenating the biomass

components, in order to produce fuels, as well as other products like adhesives, cleaning compounds, detergents, dielectric fluids, dyes, hydraulic fluids, inks, lubricants, packaging materials, paints and coatings, paper and box board, plastic fillers, polymers, solvents, and sorbents (Cherubini, 2010). The use of biorefining processes has several advantages among which the production of fuels and products from eco-friendly materials and the reduction of the consumption of oil-produced energy. The use of lignocellulosic crops has the additional advantage of reducing the competition of crops for fertile land, since they can be grown on land which is not suitable for agricultural crops (Cherubini, 2010). Moreover, in comparison with conventional crops that can contribute only with a small fraction of the above standing biomass, biorefineries based on lignocellulosic feedstocks can rely on larger biomass per hectare yields, since the whole crop is available as feedstock (Kamm *et al.*, 2006, Katzen *et al.*, 2006).

However, there are still things that should be meliorated in the future. Concerning, for example, the conversion plant, consumption of non-renewable energy resources during biorefinery processing should be minimized, along with related environmental impacts, while the complete and efficient biomass use should be maximized (Cherubini, 2010).

A carbon-free substitution of gasoline with more energy efficient ethanol-derived fuels for transportation is another possible solution suggested by Silveira and Khatiwada (2010). Ethanol fuels would derive from the sugarcane production substituting oil fuels and contributing this way to a reinforcement of the local economy and a reduction of the CO<sub>2</sub> emissions.

Rootzen *et al.* (2010) carried out a comparison between mitigation strategies, afforestation for carbon sequestration versus afforestation for energy production. The estimate, assessed using a simulation model, was carried out in a village in the south of India, using the same land for the two different purposed, results showed that, in the short term (30 years) the mitigation potential of the long rotation plantation is largest, followed by the short rotation plantation delivering wood for energy. The bioenergy option is however preferred if a long-term view is taken. If managed in a sustainable manner all of these strategies can contribute to the improvement of the social and environmental situation of the local community.

Lately, a large debate has taken shape which puts the production of biofuels and the production of food as diverging objectives and competitors for

land and water. This debate often ignores the established economic and productive realities found in various developing countries the potential to create synergies with existing industries, and the decentralized character of decision making. For poor countries, economic, social and environmental benefits at the national level provide the strongest motivation for change, and these benefits are offered in several forms from the substitution of gasoline by ethanol-derived fuels. For example, the use of ethanol in the transport sector will have a positive environmental effect while reducing CO<sub>2</sub> emissions and combating pollution (Silveira and Khatiwada, 2010).

An interesting study by Dalla Marta *et al.* (2010) estimated the possibility to produce two energy crops (sunflower for vegetable oil and maize for bioethanol) in the regional set-aside areas in Tuscany (Italy). The results, obtained by modelling, showed that this may be an interesting opportunity for biofuels, obtaining up to the 50% of the energy requirements in terms of biofuels for transportations. Moreover, the exploitation of abandoned farming areas offers the advantage of avoiding criticisms, such as competitiveness with food production.

Summarizing, using biomass to produce energy is becoming more efficient, helping to reduce CO<sub>2</sub> emission with this technique. Many kind of biomass can be used, from short rotation forestry to perennial grasses to residues of pruning to crops. In this last case, it is a successful alternative if cultivated on abandoned farming areas in developed countries or in some productive reality in developing countries.

### 2.5. Energy production from phytomass

Another suggestion for the usage of phytomass for producing energy comes from the study of Abbasi and Abbasi (2010). They present a new way of producing clean energy form anaerobic digestion of phytomass which overcomes the problems appeared in previous studies.

It is based on a three-stage process. In the first stage, volatile fatty acids (VFAs) are extracted from aquatic weeds using inexpensive contraptions such as plastic buckets with a tap at the bottom, and a plastic rod for occasional stirring. In the second stage the VFAs are used along with cow-dung in conventional biogas digesters. The third stage comprises of composting the 'spent' phytomass after VFAs have been extracted.

It is a technique with several advantages among which, it is easy to use and requires no extra energy since (a) it utilizes phytomass which has already been generated in nature, (b) the extraction of VFA is done at ambient temperatures; hence no fossil

fuel energy is needed for heating, in contrast to production of ethanol from biofuel crops which consumes fossil fuels in the distillation step and (c) there is no solid or liquid waste generated. It fully utilizes the weeds, partly in generating energy and partly in producing fertilisers, and releases only carbon, capturing methane which has several times higher global warming potential.

### 2.6. Energy production from biogas

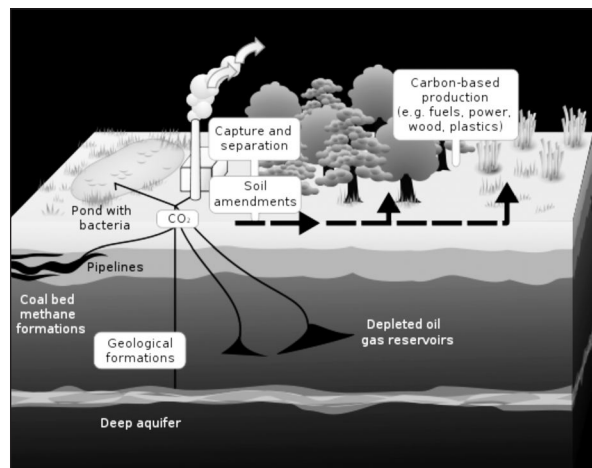
Being the methane such a harmful GHG, reducing or re-using it can be an efficient way to mitigate climate change. Methane, or biogas in general, can come from grass or crop residues, from livestock manure, slurry, organic wastes mixture and even from human waste. All this materials produce biogas, i.e. anaerobic digestion of organic matter produce methane that can be converted into electricity, heat, energy in general. The biogas yield depends on both the feedstock quality and the technology and process engineering. The economic efficiency and at the same time the mitigation efficiency are difficult to asses and achieve, being a quite complicated system. It is necessary to take into account the quality of the feedstock, the emission of GHG avoided, the emission of GHG produced while storing materials before their use, or if the biogas final waste is used as fertilizer in agriculture, balancing synthetic fertilizers use, the technology used for energy production. Wulf *et al.*, 2006, analysed the economic and environmental efficiency of using slurry and organic waste together for biogas production. They found this particular combination to be cost-effective and contribute positively to the production of regenerative energy, thus reducing GHG emission. The magnitude of the reduction depends on the management of fermentation residues. (Prochnow *et al.*, 2009), reviewed the different aspects of producing bioenergy from permanent grasslands. This comes from the fact that in some countries, such as Belgium and Sweden, grass is reported to be a relevant crop feedstock for anaerobic digestion (Gerin *et al.*, 2008; Gunnarsson *et al.*, 2008). This feedstock for the biogas digesters is advised in developed countries, where ruminant number has been declining continuously in the last decades, while grassland areas decrease at a smaller rate. This leads to a remarkable bioenergy potential, while in emerging and developing countries grassland use for animal feeds is prior to energy production. Mitigation effect on Carbon cycle and by means of renewable energy production strictly depends on grasslands management intensity and cutting frequency.

In many developing countries materials such as straw, stalk or wood are primary sources for cooking and domestic heating, due to the lack of other sources. However the direct combustion of this biomass causes serious environmental degradation problems, such as indoor air pollution, deforestation, emission of tons of GHG. Large quantities of biomass are wasted for the low efficiency through incomplete combustion in the stoves. To contrast these effects, and also for the lack of commercial energy supplies in rural areas, China government systematically popularised, starting from the 1970s, household scale biogas digesters for energy production. The study of Yu *et al.*, (2008) shows how energy substitution and manure and waste management, working in combination, reduced GHG emission efficiently. Hopefully other developing countries will follow the same politics, achieving the results of, at the same time, giving clean and cheap energy to farmers and mitigating climate change.

## 2.7. Carbon capturing techniques

Another method to reduce carbon in the atmosphere is to capture the already emitted CO<sub>2</sub> and sequester it. Two possible methods for capturing CO<sub>2</sub> already emitted, are through adsorption onto amine-grafted mesoporous silicas and through geological storage of its compressed form (Fig. 1), and they are analysed by Chang *et al.* (2009) and Streimikiene and Mikalauskiene, (2010) respectively.

One of these techniques proposed to capture CO<sub>2</sub>,



**Fig. 1** - Schematic showing both terrestrial and geological sequestration of carbon dioxide emissions from a coal-fired plant. Rendering by LeJean Hardin and Jamie Payne. ORNL Review 33(2), [www.ornl.org](http://www.ornl.org).

*Fig. 1 - Schema che mostra il sequestro, sia geologico che terrestre, del biossido di carbonio proveniente da un impianto di produzione. Rendering di LeJean Hardin e Jamie Payne. ORNL Review 33(2), [www.ornl.org](http://www.ornl.org).*

is physical adsorption with solid adsorbents. Although activated carbon and microporous zeolites have been used in the past in pressure swing adsorption to capture CO<sub>2</sub> (Harlick *et al.*, 2004, Chue *et al.*, 1995, Kasuriya, 2003), their low adsorption capacity and requirement of dehumidification as well as their need of compression of the treated gases bring some limitations. One of the remedies is grafting amines onto nanoporous silica gel and mesoporous silicas (Harlick *et al.*, 2007, Leal *et al.*, 1995, Knowles *et al.*, 2005, Huang *et al.*, 2003, Kim *et al.*, 2005, Hiyoshi *et al.*, 2004, Hiyoshi *et al.*, 2005, Franchi *et al.*, 2005, Khatri *et al.*, 2005, Chang *et al.*, 2003). Template removed mesoporous silicas, with nanometer porous size and high surface area, were demonstrated to exhibit high amine loading and potential to be the substrate for surface amines used in CO<sub>2</sub> adsorption through silylation. The products of this methodology are ammonium carbamates in salt or zwitterion form.

The second method regards carbon capture and consecutive geological storage of it. This is a technique for trapping carbon dioxide as it is emitted from large point sources such as power plants, compressing it, and transporting it to a suitable storage site where it is injected into the ground. Possible sites where it could be injected could be geological formations including oil and gas reservoirs, unmineable coal seams, and deep saline reservoirs. The security of sequestration however, depends on the site characteristics and management.

This is a technique with significant potential for mitigation of climate change, both within Europe and internationally, particularly in those countries with large reserves of fossil fuels and a fast-increasing energy demand (Streimikiene and Mikalauskiene, 2010).

Another quite new way to reduce carbon in the atmosphere is specifically linked to agronomical practices. It involves biochar, the product of pyrolysis that can be obtained by any kind of biomass. Carbon is stabilized during pyrolysis, which converts it in a form that is not easily mineralised. The pyrolysis itself produces a certain amount of energy, biochar is a by-product, together with syngas that can further used to obtain energy. After production, biochar can be applied to agricultural soils yielding the many benefits that have been attributed to it (Sohi *et al.*, 2010); Laird, 2008). In soil, biochar has been experimentally shown to increase grain yields, enhancing fertility (Baronti *et al.*, 2010, Chan and Zhihong, 2009). This aspect improved the cost-effectiveness of biochar compared to other mitigation techniques. Pratt and

Moran (2010) evaluated it and concluded that all the projects they considered in developing regions and some in developed regions offer considerable C abatement potential, and are cost-effective. It stands out as a cheap, low-tech method which can reach rural areas in developing countries, because offers together low price energy (pyrolysis) and agronomic benefits. In developed country it could be used in spare lands, in particular for the production of biomass in a kind of closed production chain. Otherwise it can be used for carbon sequestration in the same ways indicated at the beginning of the paragraph (unmineable seams, landfill, etc.)

### 3. ADAPTATION

In the last few years, climate change has started to show its impacts on our everyday lives by the presence of more extreme events, warmer summers etc. This started to raise the awareness of people and governments and rendered the need for adaptation strategies more urgent.

At the end of 2008, at least seven national adaptation strategies from Europe had either formally been adopted or were under development (Biesbroek *et al.*, 2010).

The main sectors of an adaptation strategy regard economy protection from extreme events, protection of the natural resources and environment, healthcare reform and new organisation structures to be able to cope with the new situations and emergencies. Here the attention will be focused on agriculture, forest and the natural environment in general.

#### 3.1. Adaptation in agriculture

In this paper we focus mainly on adaptation strategies that prevent farm production from decreasing under future climate. Therefore measures regarding crop insurance, market rules and other mostly economic strategies will not be dealt here.

The basic threats for agriculture, imposed by climate change, are increases in temperature, water scarcity, higher frequency of extreme events as well as other problems deriving from these, such as increased erosion due to the higher precipitation intensity (FAO, 2007, Howden *et al.*, 2007, SEI, 2008, Reid *et al.*, 2007).

Several strategies have been developed to help farmers adapt to these future agricultural challenges. These strategies could be classified into three main categories: farm scale responses, scientific suggestions and products and policy measures.

#### **Farm scale responses**

The most common technique suggested in literature, for almost every part of the earth, is changing crops and/ or sowing dates to fit the new climatic conditions (Nyong *et al.*, 2007, Byjesh *et al.*, 2010, Thornton *et al.*, 2009, Reilly *et al.*, 1999, Alexandrov *et al.*, 2002, Butt *et al.*, 2005, Mukheibir, 2008, Karing *et al.*, 1999). For example, earlier sowing dates or use of crops that are resistant to warmer climates is an option for regions that have projected to increase their temperatures in the future. The effect that these techniques will have on the yield, however, may vary with location and season (Byjesh *et al.*, 2010).

Very important for the adaptation in agriculture are also the cultivating techniques adopted by farmers. Studies have found that grain drying and double-cropping could have beneficial effects on the yield production (FAO, 2007, Reilly *et al.*, 2003). Other methods, such as conservation tilling, furrowing, row spacing and planting density would also have a positive effect by improving the water efficiency of the fields (FAO, 2007, Mukheibir, 2008, Reid *et al.*, 2007). In order to enhance the water use efficiency, since the future projections suggest little water availability, irrigation systems should be maintained or constructed at fields that can no longer be rain-fed. Moreover, efficient drainage systems should be implemented through drainage tiles or ditches to avoid negative impacts excessive rainfall (FAO, 2007, Reid *et al.*, 2007).

Land topography could have positive results both on yields, through elevation and orientation of the slopes (Karing *et al.*, 1999), as well as on erosion prevention. Intense rainfall has been projected to increase in the future, increasing the potential of water erosion. New structures such as building of terraces, contouring and planting vegetation as wind-breaks or berms around the fields could prevent eventual soil loss and assist in retaining moisture by reducing evaporation and increase infiltration (FAO, 2007, Reid *et al.*, 2007, Abraha *et al.*, 2006, DEAT, 2004).

#### **Scientific suggestions and products**

Many studies suggest that the anthropogenic influence on crop production should increase too, through the introduction of new breeding varieties of crops with better characteristics regarding drought tolerance or resistance to pests (Byjesh *et al.*, 2010, Thornton *et al.*, 2009, Bänziger *et al.*, 2006, Butt *et al.*, 2005, Kallis *et al.*, 1974, Zheng *et al.*, 2009, Reid *et al.*, 2007). Gene banks already exist at some places of the world (Nyong *et al.*, 2007) and with the assistance of the cultivators' knowledge,

new varieties could be developed. There is some evidence, however, that this genetic material is not exploited as much as it could be (Mann, 1994) and especially with the progress in biotechnology there is space for much improvement at this sector (Tanksley *et al.*, 1997).

The climatic conditions projected for the future seem to be accompanied by an expansion of pests and diseases that take advantage of the high temperature and droughts. An integrated approach is needed to face this problem, not only through the development of pest resistant crops, but also by maintaining or improving the quarantine capabilities of the farms and reinforcing their monitoring programs (Howden *et al.*, 2007).

The results of a rational use of fertilisers is also suggested in many studies (Adamtey *et al.*, 2010, FAO 2007, Howden *et al.*, 2007, Karing *et al.*, 1999, Tubiello *et al.*, 2002, Travasso *et al.*, 2006). However, their use should be limited to the appropriate quantity since, according to Karing *et al.* (1999), higher quantities than the ones required by the plants will have negative effects on yields and the environment. An appropriate use of fertilization also acts on water use efficiency of plants. Adamtey *et al.* (2010) showed that different rates of N-enriched municipal waste co-compost and its derivatives had positive effects on transpiration efficiency (TE), water-use efficiency (WUE) and yield of maize in a Sub-Saharan region in Africa, in comparison to inorganic fertilisers.

Summarizing, a higher need of chemicals (fertilizers, pesticides) seems to be coming as a consequence of climate change, a responsible use of them, stimulated by the scientific community, will be necessary.

### **Policy measures**

As mentioned above, measures regarding for example helping local products enter the market are not the scope of this paper. There are several measures though, that could aid farmers to better implement the strategies presented, in order to increase their production.

One of them is the education and information dissemination. Reid *et al.* (2007) found that forty-two percent of the farmers they interviewed were entirely unconcerned with climate change. Awareness that climate is changing and information about its effects and scale should arrive to the farmers in order to better protect themselves (Bryant *et al.*, 2000, Reilly *et al.*, 2000, Reid *et al.*, 2007).

Another aspect where public policies could help is through economic aid for research and development of better techniques to address the climate change

issue, like for example the research on new cultivars mentioned above, tax relieves for farmers adopting strategies that will decrease their vulnerability and contribution to the construction or maintenance of irrigation and drainage systems and other infrastructures (Bryant *et al.*, 2000, Reid *et al.*, 2007). Finally, the importance of climate and weather forecasting, with results made available to farmers, has been very emphasised at many of the papers studied (Howden *et al.*, 2007, Bryant *et al.*, 2000, Mukheibir, 2008, Reid *et al.*, 2007).

No matter the wide variety of available options though, certain socio-economical and practical barriers appear when trying to make the appropriate choice. Some examples are unawareness of the situation, technology barriers such as costly and too complex machinery, limited financial resources, existing regulations, inexperience on dealing with new technologies and climatic conditions, competition from large farms and limited access to information (Reid *et al.*, 2007). Table I gives an analytical overview of things that prevented Perth County farmers in Ontario, Canada from implementing several adaptation strategies in the past.

The different socio-economical and other conditions affecting each farmer's decisions will lead to different responses to the same climatic conditions. As a consequence, we have the effect observed by Bharwani *et al.* (2005) for Lesotho, Africa, that poor farmers adapted better to climate variability than richer farmers who respond mainly to market signals.

Finally, when choosing an adaptation strategy, site-specific characteristics should also be taken into account since, according to Reidsma *et al.* (2009a), actual impacts of climate change and variability are largely dependent on farm characteristics too (e.g. intensity, size, land use) (Fig. 2).

### **3.2. Adaptation of forests**

Not only agriculture but also forests will be under pressure in the future because of the changes in climate. Although tropical forests and forests in general have adapted to probably even more drastic climatic change over the last several thousands of years (Colinvaux *et al.*, 1996, Colinvaux *et al.*, 2000, Morley, 2000), the pace of current changes in the global climate as well as the concurrent imposition of anthropogenic stressors (recently reviewed in Laurance *et al.*, 2006) may be beyond their natural adaptive capacity.

Finding ways of protecting them is important for many reasons, since they absorb the carbon released



**Tab. 1** - Perth County (Ontario, Canada) farmers' adaptive capacity to climate change and risks (Reid *et al.* 2007).  
*Tab. 1 - Capacità di adattamento al cambiamento climatico e ai rischi degli agricoltori della contea di Perth (Ontario, Canada, Reid et al. 2007).*

Determinants of adaptive capacity	Benefits to incorporating adaptive practices	Barriers to incorporating adaptive practices
<b>Awareness</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Farmers refer to weather as a very important condition influencing any year</li> <li>• Type of farm seems to influence perception (i.e. Cash crop farmers are more concerned about climate change than farmers with mixed farms, or livestock only)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Farmers are unaware/unconcerned about climate change</li> <li>• Farmers have more immediate concerns</li> <li>• Farmers are confident with their own adaptive abilities</li> <li>• Farmers are generally accepting of their own limitations in the face of extreme weather conditions</li> <li>• Perth County farmers are confident in the local conditions</li> </ul>
<b>Technology</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larger machinery increases efficiency &amp; allows farmers to optimize good weather</li> <li>• New seed varieties more resilient to weather, pests</li> <li>• No-till improves soil conditioning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informed decisions require extensive research</li> <li>• New cropping and livestock machinery is often complicated, means a steep learning curve once it is acquired</li> <li>• High cost of new technology</li> <li>• Other factors to consider in the adoption of biotechnology</li> <li>• Sometimes technological response is not available to address climate conditions</li> </ul>
<b>Resources</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Farmers who are growing their operations can incorporate new technology</li> <li>• Sustained low interest rates permit growth</li> <li>• Access to capital available</li> <li>• Owning equipment allows farmer to optimize timing of field work</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontario net farm income declining</li> <li>• Farmers retiring soon not likely to invest in changes</li> <li>• Small farms have less access to capital for new technology</li> <li>• Volatile commodity prices increase financial risk, cause producers to cut costs (e.g. input costs)</li> <li>• Farmers who rely on custom operators have less control of timing of field work</li> </ul>
<b>Institutions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Some regulations indirectly encourage adaptation</li> <li>• Provide safety nets to manage climate-related crop losses and income variability</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Governments do not yet perceive climate change as a risk to producers</li> <li>• Lack of communication from government regarding climate change impacts and adaptation</li> <li>• Some regulations indirectly restrict adaptation</li> <li>• Changes in safety net programs can negatively affect producers</li> <li>• Canadian subsidies not equal to US and EU subsidies, puts Canadian farmers at a disadvantage</li> </ul>

*it follows*

Determinants of adaptive capacity	Benefits to incorporating adaptive practices	Barriers to incorporating adaptive practices
<b>Human capital</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perth County farming community is skilled, innovative, experienced and knowledgeable</li> <li>• Farmers who are early innovators are motivated to stay current with new practices and technologies</li> <li>• Farmer's children joining operation brings growth and new vision</li> <li>• Repeated experience with risks allows farmers to improve risk management ability</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Some farmers are late innovators, and wait until technology is proven before incorporating it</li> <li>• Inexperience dealing with new risks (e.g. pests) limits response</li> <li>• Knowledge, experience, and ability to learn influences the use of technologies</li> <li>• If farmer's children do not join farm business growth is often restricted, which can restrict incorporating new practices</li> <li>• Some farmers choose to stay small, restricts incorporating new technologies</li> </ul>
<b>Social capital</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perth County has an established agricultural industry</li> <li>• Established social network, including several agricultural organizations</li> <li>• Established agricultural infrastructure and supply system</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Farms are increasing in size: competition from large farms threatens smaller operations</li> <li>• Young people are not becoming farmers</li> </ul>
<b>Risk spreading</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• History of government safety net programs</li> <li>• Some farmers have diversified operations</li> <li>• Livestock farmers can feed poor crops</li> <li>• Some farmers have off-farm income</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Safety net programs are being revised, and are uncertain at present (not necessarily a barrier)</li> <li>• Modernization of agriculture has encouraged specialization, some farmers are reluctant to diversify</li> <li>• Agriculture is vulnerable to failure in food safety systems</li> </ul>
<b>Information management</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perth County farmers have many well-established adaptation options to climatic variability</li> <li>• Internet improves farmers' access to information</li> <li>• Seed companies inform farmers about weather-tolerant varieties</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limited extension services to communicate climate change impacts and adaptation</li> <li>• New weather-related problems catch farmers without a response (i.e. aphids)</li> </ul>

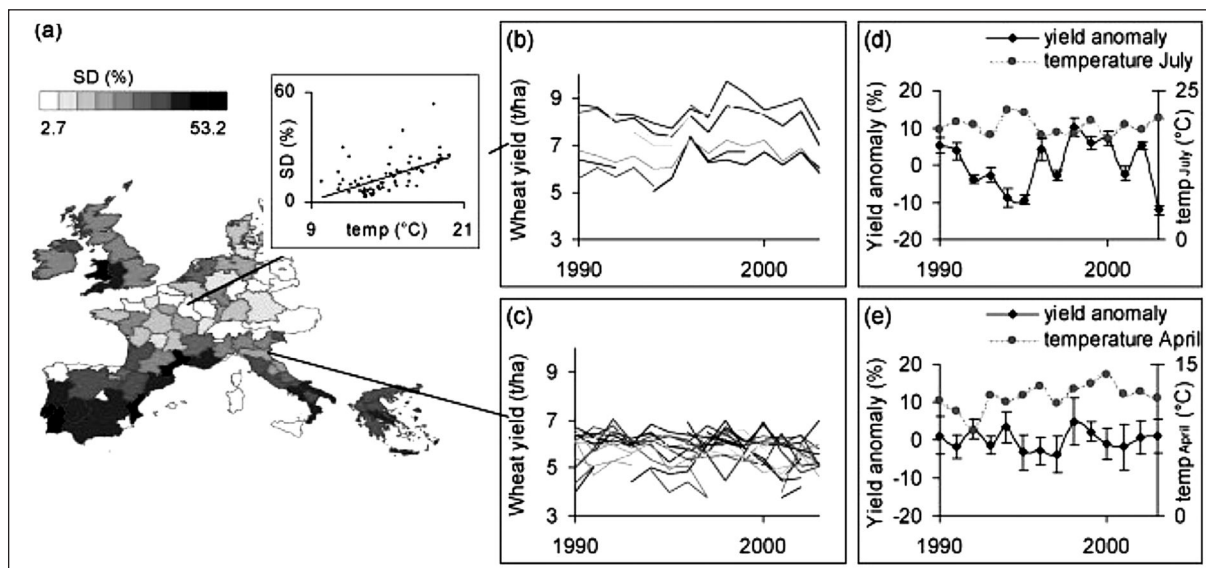
in the atmosphere and emit oxygen, playing a key role in the maintenance of life on Earth, offering house and food to many animals and protecting in this way the biodiversity.

Several methods for enhancing their autonomous adaptive capabilities as well as human interventions on commercial species can be found in literature. Here we present some of them.

At this paper we deal only with adaptation techniques for commercial trees. Non commercial tree species and natural forests should migrate without intentional

intervention (Spittlehouse *et al.*, 2003). However, protection measures from future high intensity natural disasters should be taken for them as well.

High mortality can play a substantial role on increasing the adaptation capability of forests (Kuparinen *et al.*, 2010), by decreasing the competition for nutrients, water and light (Smith *et al.*, 1997, Papadopol, 2000), lower the susceptibility of pest attacks (Wargo *et al.*, 1991, Gottschalk, 1995) and speed up natural regeneration (Kramer *et al.* 2008). It can be achieved either naturally or artificially, although there are



**Fig. 2.** - (a) Spatial distribution of the diversity in farm type yield variability (SD, %), and relationships to average temperature (temp, °C) from 1990 to 2003. Wheat yield variability is similar for different farm types in (b) Champagne-Ardenne, while in (c) Emilia-Romagna the diversity in wheat yield variability is larger. In (d) Champagne-Ardenne standard deviations in the relative wheat yield anomaly for individual years are small (SD = 3.7) and regional yield anomalies (from the trend) are significantly different from zero and correlated to temperature ( $r = -0.66$  with temp<sub>July</sub>,  $r = -0.44$  with temp). However, in (e) Emilia-Romagna the standard deviations are large (SD = 8.3) and regional yield anomalies are not significantly different from zero and are not significantly correlated to temperature ( $r = -0.13$  with temp<sub>April</sub>,  $r = 0.33$  with temp). Note, temperatures shown in (d) and (e) refer to the months with the largest negative correlation (Source: Reidsma and Ewert, 2009).  
*Fig. 2 - (a) Distribuzione spaziale della variabilità della diversità (SD, %) nei tipi di azienda agricola, e relazione con la temperatura media (temp, °C) dal 1990 al 2003. La variabilità nella produzione di frumento è simile per tipi diversi di azienda nello (b) Champagne-Ardenne, mentre in (c) Emilia-Romagna la diversità nella variazione di rese del frumento è più ampia. La deviazione standard dell'anomalia delle rese dei singoli anni in (d) Champagne-Ardenne è limitata (SD = 3.7), le anomalie regionali sono significativamente diverse da zero e correlate alla temperatura ( $r = -0.66$  con temp<sub>July</sub>,  $r = -0.44$  con temp). In Emilia-Romagna invece la deviazione standard è grande (SD = 8.3) e le anomalie regionali non sono significativamente diverse da zero, né correlate alla temperatura ( $r = -0.13$  con temp<sub>April</sub>,  $r = 0.33$  con temp). Da notare che le temperature mostrate in (d) ed (e) sono quelle che hanno la maggior correlazione negativa. (Fonte: Reidsma and Ewert, 2009).*

serious concerns on whether it should become part of forest management, since it may impact negatively species that depend on old trees (Kuparinen *et al.*, 2010).

Some artificial ways of increasing mortality are by controlled burning to enhance seeding establishment (Wolffsohn, 1984), thinning, aimed at stimulating crown development and eventual fruiting of seed trees (Kellomäki *et al.*, 2000, Guariguata *et al.*, 2002, Kramer *et al.*, 2008) and removing of suppressed, damaged, poor quality trees (Smith *et al.*, 1997, Papadopol, 2000).

Although most of the time artificial mortality increase has only desirable effects, natural disasters have often unpredictable consequences. The natural mortality is likely to increase in the future, since projected frequency and intensity of extreme events and temperatures is incrementing. For example, the frequency and intensity of forest disturbances, such as fires (Kellomäki *et al.*, 2000, Flannigan *et al.*, 2000, Stocks *et al.*, 1998, Wheaton

2001) or pests (Sieben *et al.*, 1997, Kellomäki *et al.*, 2000, Volney *et al.*, 2000, Logan *et al.*, 2007) is expected to rise under future climate scenarios. In order to limit their negative effects, measures should be taken to prevent them from happening. One of these measures, regarding fire protection, has to do with the forest structure. Changes in tree spacing and density, removal of standing dead trees or coarse woody debris on the forest floor, are all techniques that would decrease the spreading of a fire once it has begun (Dale *et al.*, 2001). The trees thinning mentioned above can have positive impact on protection from fire too, through a reduction of the size of both felling gaps (usually the most fire susceptible areas) and fuel loads (Holdsworth *et al.*, 1997, Blate, 2005). Also, the plantation of fire-resistant species between flammable ones, such as conifers, can have a significant impact at reducing the fire extend (Spittlehouse *et al.*, 2003).

Regarding protection from pests and diseases, cutting the infected trees would be one of the

measures suggested (Smith *et al.*, 1997). Also, by shortening the rotation length, a decrease of the period of stand vulnerability to insects and diseases can be achieved (Gottschalk, 1995), while at the same time we have an acceleration of the adaptation procedure and a chance to switch to more suitable species (Lindner *et al.*, 2000, Kellomäki *et al.*, 2000). These species can either be found directly in nature, by studying the responses of current species to new climatic threats (Spittlehouse *et al.*, 2003), or be the result of pest and drought resistant plant breeding (Namkoong, 1984, Wang *et al.*, 1995, Kellomäki *et al.*, 2000). However, after 50 years of tree breeding attempts to face existing pests and diseases, the results are still not very promising.

Apart from the increase in the frequency of extreme events, climate change will pose stress to trees due to the projected different temperature and moisture conditions too. In order to foster trees' autonomous response to the changed conditions other strategies should be implemented, such as some vegetation management to control the expansion of undesirable, competitive species (Parker *et al.*, 2000), the maximization of the number of seed trees to be retained and harmonization of the timing of tree harvesting to follow seed dispersal (Grogan *et al.*, 2006). For dioecious species, retaining similar numbers of adult male and female trees to ensure reproduction and maintain genetically effective population sizes (Yeh, 2000, Guariguata *et al.*, 2007) is also important.

Finally, the transplantation of genotypes from lower to higher latitude forests could aid the establishment of better adapted genotypes (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2008, Marris, 2009).

Part of the strategies mentioned above is presented on table II, where they are classified with regard to the climatic threats they are build to face and to whether they are short or long term ones.

### 3.3. Protection of the natural environment

Regarding the natural environment, Hannah (2009) underlines the importance of its conservation and the protection of wild species.

The paleoecological record shows that range shifts have been a predominant biological response to climate change, with each species tracking its preferred climatic conditions, often over long distances (Coope, 2004, Graham *et al.*, 1990, Huntley, 1996). Multiple examples are studied of species moving out of protected areas due to climate change (Araùjo *et al.*, 2004, Williams *et al.*, 2003) and of the need to add protection to balance these losses, as diverse as plants in South Africa and

mammals in Mexico (Hannah *et al.*, 2007) or to add new habitat in areas that will become climatically suitable (Hannah *et al.*, 2008).

Additional protection needs, therefore, fall into at least four categories: compensatory, restorative, spatially or temporally variable, and places of refuge from diseases and pests. Compensatory protection will make up for loss of protection of individual species due to range shifts or losses in abundance. Restoration will provide future habitat or connectivity pathways for one or more species and will allow species or ecosystems to recover from climate induced large-scale changes, such as wildfires or storm damage. Spatially or temporally variable protection will move in space or change over time to track changes in range, abundance, or phenology. Finally, disease and pest refuge protection will protect areas that are naturally sheltered from large-scale pest and disease outbreaks and so provide a source of natural regeneration and recovery after episodes of mass mortality.

Practical suggestions that should get in the adaptation agendas are, for example, that the areas saved from deforestation need to be reconnected to facilitate future species range shifts in response to climate change, particularly movements along major riverine corridors and within areas of high genetic richness (Wilme *et al.*, 2006, Hannah, 2008, Reilly *et al.*, 2000, Peters, 1990, Noss, 2001). Because so little forest connectivity remains, and since there is evidence that suitable habitats for many species are likely to shift faster with climate change than the rate at which trees can migrate (Kirschbaum *et al.*, 1996, Kuparinen *et al.*, 2010), some species may require assisted migration (Reilly *et al.*, 2000, Parker *et al.*, 2000) or need to be bred in captivity until suitable habitat has been restored.

Managing processes such as range shifts and large-scale disease outbreaks is essential as climate changes. For most species, this implies cross-border, multinational management, which will require new administrative structures, new political agreements, jointly implemented research agendas, technology transfer, and training. Therefore, an international conservation system for climate change is needed because the dynamics of climate change transcend national boundaries, extend to international waters, and often entail investment beyond the means of the countries in which the adaptation burden is greatest (Hannah, 2009).

Apart from the organizational point of view, a change in people's mentality should also take place through the raising of public awareness and the proposal of new ways of living, more sustainable and environmental-friendly.

**Tab. 2** - Three examples of applying the framework for adaptation in forestry (Spittlehouse *et al.* 2003).  
*Tab. 2 - Tre esempi di applicazione di uno schema di adattamento in selvicoltura (Spittlehouse et al. 2003).*

<b>Step 1 Issue</b>	<b>Effects of warmer annual and drier summer conditions on tree growth in southern British Columbia</b>	<b>Effects of climate change on managing parks and wilderness areas</b>	<b>Effects of warmer winters and increased winter precipitation on managing forest operations</b>
<b>Step 2 Vulnerability</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduced growth rates</li> <li>• Increased disturbance through fire and insects</li> <li>• Changes in wood quality and quantity</li> <li>• Reduced regeneration success</li> <li>• Increased competition from exotics (vegetation, insects, and diseases)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changed climate means that protected values no longer exist in the area</li> <li>• Changes in wildlife habitat and suitability for non-timber forest products</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduced access for winter logging</li> <li>• Increased erosion from roads and landslides</li> <li>• Changes in timing and size of peak flows in streams</li> </ul>
<b>Step 3 Adaptation: Current actions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identify more suitable genotypes through provenance trials</li> <li>• Develop technology to use altered wood quality and size</li> <li>• Include climate variables in growth and yield models</li> <li>• Develop "fire-smart" landscapes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Engage public in a dialogue on values and management under a changing climate</li> <li>• Conserve biodiversity</li> <li>• Maintain connectivity in a varied, dynamic landscape</li> <li>• Monitor to determine when and what changes are occurring</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Develop alternate harvesting systems</li> <li>• Include climate change considerations when planning maintenance and replacement of infrastructure</li> </ul>
<b>Step 4 Adaptation: Future actions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modify seed transfer zones</li> <li>• Plant alternate genotype or new species</li> <li>• Sanitation thinning</li> <li>• Increase amount of salvage logging</li> <li>• Change rotation length</li> <li>• Plan landscapes to minimize spread of insects and diseases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actively manage to adjust to species suitable to the new climate</li> <li>• Accept whatever change brings</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implement alternate harvesting practices</li> <li>• Upgrade infrastructure as part of the replacement cycle</li> <li>• Maintain and rehabilitate roads to reduce sedimentation</li> </ul>

However, change of habits and lifestyle in general could face at its application barriers of social-cultural nature. For example, when the lifestyle to be adapted comes in contrast to the traditions of a nation, consequences such as the erosion of traditional land skills among younger generations, substance abuse, and the cultural value of hunting and consuming certain country foods throughout the year (Condon *et al.*, 1995, Berkes *et al.*, 2002, Pearce *et al.*, 2010a, b), as well as conflicts between contrasting interests could appear.

Clark *et al.* (2008) identify a number of policy options to reduce conflict over wildlife management in the context of multiple stresses and competing uses, and which are relevant in a climate change context. In the short term they recommend focusing on sharing traditional and scientific knowledge in management decisions, appraisal and use of best practice from other contexts, and the co-production of knowledge on the health and status of wildlife populations. In the long term they advocate emphasis on local and decentralized decision

making to increase the adaptive capacity of regional and local scale management institutors.

### 3.4. Adaptation options for the water resources

Conflicts can also derive from reasons regarding water deficit. The rise of the temperature in conjunction with the other predicted effects of climate change (more intense precipitation, more frequent droughts etc.) has already started to render uncomfortable the life in places like Australia and Africa and it will become more intense in the future, affecting more places on the planet. Conserving the resources already available and finding ways to reduce the demand and increase the supply of freshwater, becomes more and more urgent.

Here some adaptation measures are presented that have already been applied in several places on Earth, regarding mostly the agricultural sector and the natural environment in general, and not so much measures about water saving in houses or industries.

### **Measures to increase the supply**

The first measure that could be implemented to increase the water supply under current and future conditions is to create water reservoirs to storage the already available water either at the form of dams or tanks (Huntjent *et al.*, 2010, Bates *et al.*, 2008) or by impounding rivers to form instream reservoirs (Bates *et al.*, 2008). Water deriving from snow could as well be stored at reservoirs at regions where there is plenty (Bates *et al.*, 2008).

Rainwater harvesting, through for example soil embankments (DWAf, 2004), is also a very popular adaptation measure (Mukheibir, 2008, Bates *et al.*, 2008), with the water harvested either being used for example for secondary residential uses (for irrigation of gardens, filling of swimming pools etc.) or being injected into the ground to recharge the groundwater aquifers (Mukheibir, 2008).

Ground water aquifers could also be recharged by transferring high quality surface water into the ground at the form of rainfall runoff, a technique that would also prevent water erosion on the fields, treated wastewater or urban storm runoff (Mukheibir, 2008, Bates *et al.*, 2008). However, whenever water is going to be injected into the ground, its high quality must have been certified (Mukheibir, 2008, Bates *et al.*, 2008, Murray, 2004). This technique, applied already at both small and large scale schemes at several South African municipalities, would provide water for eventual drought periods and could aid at improving the quality of the groundwater, specifically the salinity, by replenishing the aquifer when river runoff is available (Mukheibir, 2008). It might, however, be costly since a basic maintenance of the infrastructure is needed to ensure that the injection rate is optimised (Mukheibir, 2008).

Some other techniques that could provide access to more water in the future are extraction of groundwater (Bates *et al.*, 2008), use of solar distillation (Bates *et al.* 2008) and desalinate sea water (Huntjent *et al.*, 2010, Bates *et al.*, 2008, Mukheibir, 2008) or dilute it with fresh water until it reaches acceptable concentrations (Mukheibir, 2008). Desalination is a costly technique and this is the reason why it is not currently applied at many places. However, if water becomes less available, under future climate projections, and people have to dig deeper to extract groundwater, the cost for extracting it could become comparable to the cost of desalination.

### **Measures to decrease the demand**

There is a general belief that agriculture consumes much of the water that could be used for residential

or other uses. To contribute in reducing the competition with other sectors, some relatively simple measures can be implemented.

First of all, several techniques have been suggested in literature to aid at enhancing water infiltration and holding the soil moisture on the fields. These techniques include for example the use of soil organic matter, since there is evidence that it improves the water absorption capacity of the soil (FAO, 2007) and also most of the adaptation methods suggested above for agriculture, that would have a positive effect on water management on the fields. For example, row spacing and planting density (Mukheibir, 2008) as well as conservation tilling, furrowing, terracing, contouring and planting vegetation, assist in retaining moisture and increase infiltration in the soil (Mukheibir, 2008, Bates *et al.*, 2008). FAO 2007 suggested also the permanent soil coverage by vegetation, as a measure to reduce direct evaporation from the soil.

Another way to keep more moisture on the soil is by reducing its absorption by plants through mixing crops (Huntjent *et al.*, 2010, Bates *et al.*, 2008) and changing crop types and planting dates (Mukheibir, 2008).

Irrigation plays an important role in determining the water demand of the agricultural sector. Efficient irrigation (Huntjent *et al.*, 2010, Bates *et al.*, 2008) with the aid of weather forecasts and irrigation models is one of the methods suggested. Irrigation infrastructures should be maintained to avoid leakage (Huntjent *et al.*, 2010, Bates *et al.*, 2008, Mukheibir, 2008) and where possible pipelines should substitute open irrigation channels to avoid losses through evaporation (Bates *et al.*, 2008).

Finally, installation of pressure management systems that reduce pressure when there is low usage is another method to avoid wasting water (Mukheibir, 2008).

To lessen the decrease in stream flows, the most common suggestion is the removal of invasive, water-thirsty riparian vegetation which, according to Mukheibir, 2008, is responsible for a 7% reduction in annual flow for the streams of South Africa (Huntjent *et al.*, 2010, Bates *et al.*, 2008, Mukheibir, 2008).

There are some measures also for diminishing the water demand from urban and domestic uses too, like for example maintenance of the transporting and storage infrastructures, recycling of water (Huntjent *et al.*, 2010, Bates *et al.*, 2008, Mukheibir, 2008), different water quality use for different purposes (Mukheibir, 2008), as well as some policy measures, such as restrictions in water use (Mukheibir, 2008)

and rearrangement of prices to discourage an eventual waste of water (Huntjent *et al.*, 2010, Bates *et al.*, 2008). However it's not in the intentions of the authors to make an in depth analysis on these sectors.

Finally, a common observation, valid for every sector that needs to adapt, is once more, the necessity of communicating to people the need for saving water and inform them on possible techniques to do so (Mukheibir, 2008).

### 3.5. Information dissemination

Many studies give a significant importance to raising public awareness on the subject of climate change, diffusing relative information and involving people, as individuals or communities, to the planning and implementation of the adaptation strategies (Biesbroek *et al.*, 2010, Nyong *et al.*, 2007, Ford *et al.*, 2010).

Unless they are organised at the national level, local and regional representatives are most often neglected even though there are considerable benefits in including stakeholders in the development of a National Adaptation Strategy, for example by: (1) identifying the most appropriate (and desirable) forms of adaptation and their viability; (2) mobilising tacit knowledge and experiences of stakeholders on local vulnerabilities and impacts; (3) analysing the capacity of stakeholders to cope with the impacts of climate change; (4) building shared understanding of the impacts, vulnerabilities and options of adaptation and (5) enhancing the ability to identify priority areas (Biesbroek *et al.*, 2010).

For the involvement of the citizens on the other hand, suggestions in the strategies include educational programmes, campaigns, stakeholder platforms and events as interactive communication modes which enrich the process of double loop learning in society. As computer literacy in Europe is generally high, information can be cheaply and easily stored and updated, and the internet is globally accessible (Biesbroek *et al.*, 2010).

Although some are perhaps more effective than others, all communication modes play a considerable role in climate adaptation by increasing general understanding of the climate problem, enhancing response capacity and motivating people to actively participate in adaptation practices (Moser, 2010).

## 4. CONCLUSIONS

This paper presents the results of a literature research on mitigation and adaptation strategies developed recently or already in use, worldwide. It

is focused on the natural environment and therefore deals mainly with subjects related to forests, agriculture and water resources.

The mitigation options found were mainly focused on sequestering CO<sub>2</sub> through natural (plants) or technical ways (chemical adsorption or storage in the ground) and producing energy and fuels from biomass. Afforestation or reforestation projects resulted not very effective, mainly due to bureaucratic/administrative problems. Future corrections are needed to give the possibilities to developing country to start new projects. An effective mitigation option is the contrast of land use change, reducing land conversion in the tropics, and improving existing farmland, by means of restoration of degraded lands and the adoption of suitable management practices. Adaptation measures were mainly focused on ways to enhance the adaptive capability of plants rendering them more temperature and water-stress resistant, and ways to protect environments and species that are too weak to deal with the changes by themselves, in forests and in natural environment. Agricultural management practices, water resources protection and efficiency of use enhancing will be unavoidable in a climate change perspective. Several suggestion are here presented.

There is a variety of different strategies proposed for both mitigation and adaptation. However, what is common in most of the papers reviewed is the need to act immediately in order to have the desired results, and to include at the procedure of implementation of the measures, or even during the design of the strategy, the society and the local authorities, which may be able to help at identifying the vulnerabilities and the appropriate measures for each region.

## References

- Abbasi T., Abbasi S. A., 2010. Production of clean energy by anaerobic digestion of phytomass-new prospects for a global warming amelioration technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(6): 1653-1659.
- Abraha M.G., Savage M.J., 2006. Potential impact of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115 (1-4): 150-160
- Adamtey N., Cofie O., Ofosu-Budu K. G., Ofosu-Anim J., Laryea K. B., Forster D., 2010. Effect of N-enriched co-compost on transpiration efficiency and water-use efficiency of maize (*zea mays* L.) under controlled irrigation. *Agricultural Water Management*, 97(7): 995-1005.
- Adger W.N., Agrawala S., MirzaM.M.Q., Conde C.,

O'Brien K., Pulhin J., Pulwarty R., Smit B., Takahashi K., 2007. Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. *Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK: 717-743.

Alcamo J., Moreno J.M., Nováky B., Bindi M., Corobov R., Devoy R.J.N., Giannakopoulos C., Martin E., Olesen J.E., Shvidenko A., 2007. Europe. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J. and Hanson C.E., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK: 541-580.

Alexandrov V., Eitzinger J., Cajic V., Oberforster M., 2002. Potential impact of climate change on selected agricultural crops in north-eastern Austria. *Global Change Biology* 8 (4): 372-389

Araújo M. B., Cabeza M., Thuiller W., Hannah L., Williams P. H., 2004. Would climate change drive species out of reserves? an assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biology*, 10(9): 1618-1626.

Bänziger M., Setimela P. S., Hodson D., Vivek B., 2006. Breeding for improved abiotic stress tolerance in maize adapted to southern africa. *Agricultural Water Management*, 80(1-3 SPEC. ISS.): 212-224.

Baronti S., Alberti G., Delle Vedove G., Di Gennaro F., Fellet G., Genesio L., Miglietta F., Peressotti A., Vaccari FP., 2010. The Biochar Option to Improve Plant Yields: First Results From Some Field and Pot Experiments in Italy. *Ital. J. Agron.* 5: 3-11

Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008. *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.

Beniston M., Tol R.S.J., Delcolle R., Hörmann G., Iglesias A., Innes J., McMichael A.J., Martens A.J.M., Nemesova I., Nicholls R.J. and Toth F.L., 1998. Europe. In: *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. Special Report of IPCC Working Group II*, R. T. Watson, M. C. Zinyowera, and R. H. Moss, Eds., Cambridge University Press: 149-185.

Berkes F., Jolly D., 2002. Adapting to climate change: Social-ecological resilience in a canadian western arctic community. *Conservation Ecology*, 5(2): U514-U532.

Berndes G., Hoogwijk M., Van Den Broek R., 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: A review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25(1): 1-28.

Bharwani S., Bithell M., Downing T. E., New M., Washington R., Ziervogel G., 2005. Multi-agent modelling of climate outlooks and food security on a community garden scheme in limpopo, South Africa. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463): 2183-2194.

Biesbroek G. R., Swart R. J., Carter T. R., Cowan C., Henrichs T., Mela H., Morecroft M.D. and Rey D., 2010. Europe adapts to climate change: Comparing national adaptation strategies. *Global Environmental Change*, 20(3): 440-450.

Binkley C. S., Apps M. J., Dixon R. K., Kauppi P. E., Nilsson L., 1997. Sequestering carbon in natural forests. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 27(SPEC. ISS.): S23-S45.

Binkley C. S., Van Kooten G. C., 1994. Integrating climatic change and forests: Economic and ecologic assessments. *Climatic Change*, 28(1-2): 91-110.

Bird D.N., Dutschke M., Pedroni L., Schlamadinger B., Vallejo A., 2004. 'Should one trade tCERs or lCERs?', Policy Brief from the Environment and Community based framework for designing afforestation, reforestation and revegetation projects in the CDM: methodology development and case studies (ENCOFOR).

Blate G. M., 2005. Modest trade-offs between timber management and fire susceptibility of a bolivian semi-deciduous forest. *Ecological Applications*, 15(5): 1649-1663.

Boyd E., Gutierrez M., Chang M., 2007. Small-scale forest carbon projects: Adapting CDM to low-income communities. *Global Environmental Change*, 17(2): 250-259.

Bryant C.R., Smit B., Brklacich M., Johnston T.R., Smithers J., Chiotti Q., Singh B., 2000. Adaptation in Canadian agriculture to climatic variability and change. *Climatic Change* 45 (1): 181-201.

Butt T.A., McCarl B.A., Angerer J., Dyke P.T., Stuth J.W., 2005. The economic and food security implications of climate change in Mali. *Climatic Change* 68 (3): 355-378.

Byjesh K., Kumar S. N., Aggarwal P. K., 2010. Simulating impacts, potential adaptation and vulnerability of maize to climate change in India.



- Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change: 1-19.
- CEC European Commission, 2009. Impact Assessment, Commission Staff Working Document accompanying the White Paper on Adapting to Climate Change: Towards a European Framework for Action (COM(2009, 147 final), SEC(2009) 387/2, Brussels.
- Chan K.Y., Zhihong X., 2009. Biochar: nutrient properties and their environment. In: Lehmann J., Joseph S, editors. Biochar for environmental management. Stirling, VA, USA: Earthscan; 2009: 67-84.
- Chang F., Chao K., Cheng H., Tan C., 2009. Adsorption of CO<sub>2</sub> onto amine-grafted mesoporous silicas. *Separation and Purification Technology*, 70(1): 87-95.
- Chang A.C.C., Chuang S.S.C., Gray M., Soong Y., 2003. In-situ infrared study of CO<sub>2</sub> adsorption on SBA-15 grafted with  $\gamma$ -(aminopropyl) triethoxysilane. *Energy and Fuels*, 17(2): 468-473.
- Cherubini F., 2010. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51(7): 1412-1421.
- Chue K.T., Kim J.N., Yoo Y.J., Cho S.H., Yang R.T., 1995. Comparison of activated carbon and zeolite 13X for CO<sub>2</sub> recovery from flue gas by pressure swing adsorption. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 34(2): 591-598.
- Clark D.A., Lee D.S., Freeman M.M.R., Clark S.G., 2008. Polar bear conservation in Canada: Defining the policy problems. *Arctic*, 61(4): 347-360.
- Colinvaux P.A., De Oliveira P.E., Bush M.B., 2000. Amazonian and neotropical plant communities on glacial time-scales: The failure of the aridity and refuge hypotheses. *Quaternary Science Reviews*, 19(1-5): 141-169.
- Colinvaux P.A., De Oliveira P.E., Moreno J.E., Miller M.C., Bush M.B., 1996. A long pollen record from lowland Amazonia: Forest and cooling in glacial times. *Science*, 274(5284): 85-88.
- Condon R.G., Collings P., Wenzel G., 1995. The best part of life: Subsistence hunting, ethnicity, and economic adaptation among young adult inuit males. *Arctic*, 48(1): 31-46.
- Coope G.R., 2004. Several million years of stability among insect species because of, or in spite of, ice age climatic instability? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359(1442): 209-214.
- Dale V.H., Joyce L.A., McNulty S., Neilson R.P., Ayres M.P., Flannigan M.D., Hansons P.J., Irland L.C. Lugo A.E., Peterson C.J., Simberloff D., Swanson F.J., Stocks B.J., Wotton B.M., 2001. Climate change and forest disturbances. *BioScience*, 51: 723-734.
- Dalla Marta A., Mancini M., Ferrise R., Bindi M., Orlandini S., 2010. Energy crops for biofuel production: analysis of the potential in Tuscany. *Biomass and bioenergy*, 34: 1041-1052.
- DEAT (Department of Environment and Tourism) (2004) A national climate change response strategy for South Africa. Pretoria
- DWAF (Department of Water Affairs and Forestry, South Africa), 2004a National Water Resource Strategy. First Edition.
- Eakin H., Luers A.L., 2006. Assessing the vulnerability of social-environmental systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 31: 365-94.
- EEA, 2006. Vulnerability and adaptation to climate change in Europe. Technical report No 7/2005. European Environmental Agency, 84 pp.
- EEA, 2008. Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. Report No. 4/2008. European Environmental Agency: 19
- Faluccci A., Maiorano L., Boitani L., 2007. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape Ecol.*, 22: 617-631.
- FAO, 2007. "Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, Framework and Properties". Rome.
- Flannigan M.D., Stocks B.J., Wotton B.M., 2000. Climate change and forest fires. *The science of the total environment*, 262: 221-229.
- Folke C., 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3): 253-267.
- Folke C., Hahn T., Olsson P., Norberg J., 2005. Adaptive governance of social-ecological systems, 30: 441-473.
- Ford J.D., Pearce T., Duerden F., Furgal C., Smit B., 2010. Climate change policy responses for Canada's inuit population: The importance of and opportunities for adaptation. *Global Environmental Change*, 20(1): 177-191.
- Franchi R.S., Harlick P.J. E., Sayari A., 2005. Applications of pore-expanded mesoporous silica. 2. development of a high-capacity, water-tolerant adsorbent for CO<sub>2</sub>. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44(21): 8007-8013.
- Galinato G.I., Uchida S., 2010. Evaluating temporary certified emission reductions in

reforestation and afforestation programs. *Environmental and Resource Economics*, 46(1): 111-133.

- Gardi C., Sconosciuto F., 2007. Evaluation of carbon stock variation in Northern Italian soils over the last 70 years. *Sustain Sci.*, 2: 237-243.
- Gerin P.A., Vliegen F., Jossart J.M., 2008. Energy and CO<sub>2</sub> balance of maize and grass as energy crops for anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 99: 2620-2627.
- Golub A., Hertel T., Lee H.L., Rose S., Sohngen B., 2009. The opportunity cost of land use and the global potential for greenhouse gas mitigation in agriculture and forestry. *Resource and Energy Economics*, 31: 299-319.
- Gottschalk K.W. 1995. Using silviculture to improve health in northeastern conifer and eastern hardwood forests. Forest health through silviculture. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Fort Collins, Colo. General Technical Report RM-267: 219-226.
- Graham R.W., Grimm E.C., 1990. Effects of global climate change on the patterns of terrestrial biological communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 5(9): 289-292.
- Grogan J., Galvão J., 2006. Factors limiting post-logging seedling regeneration by big-leaf mahogany (*swietenia macrophylla*) in southeastern amazonia, brazil, and implications for sustainable management. *Biotropica*, 38(2): 219-228.
- Guariguata M.R., Cornelius J.P., Locatelli B., Forner C., Sánchez-Azofeifa G.A., 2007. Mitigation needs adaptation: Tropical forestry and climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13(8): 793-808.
- Guariguata M.R., Sáenz G.P., 2002. Post-logging acorn production and oak regeneration in a tropical montane forest, Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 167(1-3): 285-293.
- Gunnarsson C., Vagström L., Hansson P.A., 2008. Logistics for forage harvest to biogas production – timeliness, capacities and costs in a Swedish case study. *Biomass and Bioenergy*, 32: 1263-1273.
- Hannah L., 2009. A global conservation system for climate-change adaptation: Special section. *Conservation Biology*, 24(1): 70-77.
- Hannah L., Dave R., Lowry II P. P., Andelman S., Andrianarisata M., Andriamaro L., 2008. Climate change adaptation for conservation in madagascar. *Biology Letters*, 4(5): 590-594.
- Hannah L., Midgley G., Andelman S., Araújo M., Hughes G., Martinez-Meyer E., 2007. Protected area needs in a changing climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(3): 131-138.
- Harlick P.J. E., Sayari A., 2007. Applications of pore-expanded mesoporous silica. 5. triamine grafted material with exceptional CO<sub>2</sub> dynamic and equilibrium adsorption performance. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(2): 446-458.
- Harlick P.J.E., Tezel F.H., 2004. An experimental adsorbent screening study for CO<sub>2</sub> removal from N<sub>2</sub>. *Microporous and Mesoporous Materials*, 76(1-3): 71-79.
- Harmon M.E., Ferrell W.K., Franklin J.F., 1990. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. *Science*, 247(4943): 699-702.
- Hiyoshi N., Yogo K., Yashima T., 2004. Adsorption of carbon dioxide on amine modified SBA-15 in the presence of water vapor. *Chemistry Letters*, 33(5): 510-511.
- Hiyoshi N., Yogo K., Yashima T., 2005. Adsorption characteristics of carbon dioxide on organically functionalized SBA-15. *Microporous and Mesoporous Materials*, 84(1-3): 357-365.
- Hoegh-Guldberg O., Hughes L., McIntyre S., Lindenmayer D. B., Parmesan C., Possingham H. P., 2008. Ecology: Assisted colonization and rapid climate change. *Science*, 321(5887): 345-346.
- Holdsworth A. R., Uhl C., 1997. Fire in amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications*, 7(2): 713-725.
- Howden S.M., Soussana J.F., Tubiello F.N., Chetri N., Dunlop M., Meinke H., 2007. Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (50): 19691-19696.
- Huang H.Y., Yang R.T., Chinn D., Munson C.L., 2003. Amine-grafted MCM-48 and silica xerogel as superior sorbents for acidic gas removal from natural gas. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42(12): 2427-2433.
- Huntjens P., Pahl-Wostl C., Grin J., 2010. Climate change adaptation in european river basins. *Regional Environmental Change*, DOI 10.1007/s10113-009-0108-6.
- Huntley B., 1996. Quaternary paleoecology and ecology. *Quaternary Science Reviews*, 15(5-6): 591-606.
- Kallis A., Tooming H., 1974. Estimation of the influence of leaf photosynthetic parameters, specific leaf weight and growth functions on yield. *Photosynthetica* 8: 91-108.
- Kamm B., Kamm M., Gruber P., Kromus S., 2006. Biorefinery systems - an overview. In: *Biorefineries*

- Industrial processes and products. Status quo and future directions. Kamm, B., Gruber, P. and Kamm, M., Eds., Wiley-VCH Verlag GmbH Co., Weinheim, Vol. 1: 3-40.
- Karing P., Kallis A., Tooming H., 1999. Adaptation principles of agriculture to climate change, *Climate Research* 12 (2-3 SPEC. ISS. 6): 175-183.
- Kasuriya S., Namuangruk S., Treesukol P., Tirtowidjojo M., Limtrakul J., 2003. Adsorption of ethylene, benzene, and ethylbenzene over faujasite zeolites investigated by the ONIOM method. *Journal of Catalysis*, 219(2): 320-328.
- Katzen R., Schell D.J., 2006. Lignocellulosic feedstock biorefinery: history and plant development for biomass hydrolysis. In: *Biorefineries: Industrial Processes and Products Vol 2*. Eds. Kamm B, Gruber PR, Kamm M. Wiley-VCH Weinheim, Germany: 129-138.
- Kaul M., Mohren G.M.J., Dadhwal V.K., 2010. Carbon storage versus fossil fuel substitution: A climate change mitigation option for two different land use categories based on short and long rotation forestry in India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, DOI:10.1007/s11027-010-9226-1.
- Kellomäki S., Karjalainen T., Mohren F., Lapveteläinen T. (editors), 2000. *Expert Assessments on the Likely Impacts of Climate Change on Forests and Forestry in Europe*, Proceedings 34, 120 pp.
- Khatri R.A., Chuang S.S.C., Soong Y., Gray M., 2005. Carbon dioxide capture by diamine-grafted SBA-15: A combined fourier transform infrared and mass spectrometry study. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44 (10): 3702-3708.
- Kim S., Ida J., Guliants V.V., Lin J.Y.S., 2005. Tailoring pore properties of MCM-48 silica for selective adsorption of CO<sub>2</sub>. *Journal of Physical Chemistry B*, 109(13): 6287-6293.
- Kirschbaum M.U.F., Bullock P., Evans J.R., Goulding K., Jarvis P.G., Noble I.R., Rounsevell M., Sharkey T.D., Austin M.P., Brookes P., Brown S., Bugmann H.K.M., Cramer W.P., Diaz S., Gitay H., Hamburg S.P., Harris J., 1996. Ecophysiological, ecological, and soil processes in terrestrial ecosystems: a primer on general concepts and relationships, *Climate change 1995; impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses*. Cambridge (UK), Cambridge Univ. Press, 1996: 55-74.
- Knowles G.P., Graham J.V., Delaney S.W., Chaffee A.L., 2005. Aminopropyl-functionalized mesoporous silicas as CO<sub>2</sub> adsorbents. *Fuel Processing Technology*, 86(14-15): 1435-1448.
- Kramer K., Buiteveld J., Forstreuter M., Geburek T., Leonardi S., Menozzi P., 2008. Bridging the gap between ecophysiological and genetic knowledge to assess the adaptive potential of european beech. *Ecological Modelling*, 216(3-4): 333-353.
- Kundzewicz Z.W., Parry M., Cramer W., Holten J.I., Kaczmarek Z., Martens P., Nicholls R.J., Oquist M., Rounsevell M.D.A., Szolgay J., 2001. *Europe. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge: 641-692.
- Kuparinen A., Savolainen O., Schurr F.M., 2009. Increased mortality can promote evolutionary adaptation of forest trees to climate change. *Forest Ecology and Management*, 259(5): 1003-1008.
- Laird A.D., 2008. *The Charcoal Vision: A Win-Win-Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality*. *Agron. J.*, 100: 178-181. doi:10.2134/agronj2007.0161
- Lal R., 2003. Offsetting Global CO<sub>2</sub> Emissions By Restoration Of Degraded Soils And Intensification Of World Agriculture And Forestry. *Land Degrad. Develop.*, 14: 309-322.
- Lal R., 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304: 1623-1627. DOI: 10.1126/science.1097396.
- Laurance W.F., Peres C.A., eds., 2006 *Emerging Threats to Tropical Forests*. University of Chicago Press, Chicago.
- Leal O., Bolívar C., Ovalles C., García J.J., Espidel Y., 1995. Reversible adsorption of carbon dioxide on amine surface-bonded silica gel. *Inorganica Chimica Acta*, 240(1-2): 183-189.
- Lindner M., Lasch P., Erhard M., 2000. Alternative forest management strategies under climate change: prospects for gap model applications in risk analyses. *Silva Fennica* 34: 101-111.
- Logan J.A., Powell J.A., 2007. Ecological consequences of climate change altered forest insect disturbance regimes, *Climate change in western North America: evidence and environmental effects*. University of Utah Press.
- Mann C., 1994. Cashing in on seed banks, *Novel Genes, Science*, 277: 1042

- Marland G., Schlamadinger B., 1997. Forests for carbon sequestration or fossil fuel substitution? A sensitivity analysis. *Biomass and Bioenergy*, 13(6): 389-397.
- Marris E. 2009. Forestry: Planting the forest of the future. *Nature*, 459(7249): 906-908.
- Mattsson E., Ostwald M., Nissanka S.P., Holmer B., Palm M., 2009. Recovery and protection of coastal ecosystems after tsunami event and potential for participatory forestry CDM - examples from Sri Lanka. *Ocean and Coastal Management*, 52(1): 1-9.
- Morley R.J., 2000. *Origin and Evolution of Tropical Rain Forests* (John Wiley and Sons, Chichester, UK), 362 pp.
- Moser S.C., 2010. "Communicating climate change: history, challenges, process and future directions." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 1(1): 31-53.
- Mukheibir P., 2008. Water Resources Management Strategies for Adaptation to Climate-Induced Impacts in South Africa. *Water Resources Management* 22 (9): 1259-1276.
- Murray E.C., 2004. Wise water management for towns and cities – Artificial groundwater recharge. Report No TT219/03, Water Research Commission, Pretoria.
- Namkoong G., 1984. Strategies for gene conservation. Plant gene resources: a conservation imperative. American Association for the Advancement of Science, Selected Symposium 87, Boulder, Col.: 79-89 pp.
- Noss R.F., 2001. Beyond Kyoto: forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology* 15: 578-590.
- Nyong A., Adesina F., Osman Elasha B., 2007. The value of indigenous knowledge in climate change mitigation and adaptation strategies in the african sahel. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(5): 787-797.
- Papadopol C.S. 2000. Impacts of climate warming on forests in Ontario: options for adaptation and mitigation. *Forestry Chronicle*, 76: 139-149.
- Parker W.C., Colombo S.J., Cherry M.L., Flannigan M.D., Greifenhagen S., McAlpine R.S., Papadopol C., Scarr T., 2000. Third millennium forestry: what climate change might mean to forests and forest management in Ontario. *Forestry Chronicle*, 76: 445-463.
- Parry M.L. (Ed.), 2000. *Assessment of the Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project*. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK, 320 pp.
- Parry M.L., Carter T.R., 1989. An assessment of the effects of climatic change on agriculture. *Climatic Change*, 15(1-2): 95-116.
- Pearce T., Ford J.D., Duerden F., Smith B., Andrachuk M., Berrang-Ford L., 2010a. Advancing adaptation planning for climate change in the inuvialuit settlement region (ISR): A review and critique. *Regional Environmental Change*, DOI: 10.1007/s10113-010-0126-4.
- Pearce T., Smith B., Duerden F., Ford J.D., Goose A., Kataoyak F., 2010b. Inuit vulnerability and adaptive capacity to climate change in Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada. *Polar Record*, 46: 157-177.
- Peters R.L., 1990. Effects of global warming on forests. *Forest Ecology and Management*, 35: 13-33.
- Plantinga A.J., Mauldin T., Miller D.J., 1999. An econometric analysis of the costs of sequestering carbon in forests. *American Journal of Agricultural Economics*, 81(4): 812-824.
- Pratt K., Moran D., 2010. Evaluating the cost-effectiveness of global biochar mitigation potential. *Biomass and bioenergy*, 34: 1149-1158.
- Prochnow A., Heiermann M., Plöchl M., Linke B., Idler C., Amon T., Hobbs P.J., 2009. Bioenergy from permanent grassland – A review: I. Biogas. *Bioresource Technology*, 100: 4931-4944.
- Reicosky D.C., 2001. Effects of conservation tillage on soil organic carbon dynamics: field experiments in the U.S. corn belt. In: Stott DE, Mohtar RH, Steinhardt GC (eds) *Sustaining the global farm*. Purdue University, West Lafayette: 481-485.
- Reid S., Smit B., Caldwell W., Belliveau S., 2007. Vulnerability and Adaptation to Climate Risks in Ontario Agriculture, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12 (4): 609-637
- Reidsma P, Ewert F., 2009. Regional farm diversity can reduce vulnerability of food production to climate change. *Ecol. Soc.*, 13 (1): pp. 38.
- Reidsma P, Ewert F., Lansink A.O., Leemans R., 2009a. Adaptation to climate change and climate variability in european agriculture: The importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy*, 32(1): 91-102.
- Reilly J.M., Schimmelpfenning D., 1999. Agricultural impact assessment, vulnerability, and the scope for adaptation. *Climatic Change* 43: 745-788.
- Reilly J.M., Schimmelpfenning D., 2000. Irreversibility, uncertainty and learning: Portraits of adaptation to long-term climate change, *Climatic Change*, 45 (1): 253-278.
- Reilly J., Tubiello F., McCarl B., Abler D., Darwin R., Fuglie K., Hollinger S., Izaurrealde C., Jagtap

- S., Jones J., Mearns L., Ojima D., Paul E., Paustian K., Riha S., Rosenberg N., Rosenzweig C., 2003. U.S. agriculture and climate change: New results, *Climatic Change*, 57 (1-2): 43-69.
- Rotmans J., Hulme M., Downing T. E., 1994. Climate change implications for Europe. an application of the ESCAPE model. *Global Environmental Change*, 4(2): 97-124.
- Schreurs M.A., Tiberghien Y., 2007. Multi-level reinforcement: Explaining European Union leadership in climate change mitigation. *Global Environmental Politics*, 7(4): 19-46+v.
- Sedjo R.A., Solomon A.M., 1989. Climate and forests. In: *Greenhouse Warming: Abatement and Adaptation*, N.J. Rosenberg, W.E. Easterling III, P.R. Crosson and J. Darmstadter (eds). Resources for the Future, Washington, DC: 105-119.
- SEI (Stockholm Environment Institute), 2008. *Climate Change and Adaptation in African Agriculture*, 54 pp.
- Sieben B., Spittlehouse D.L., McLean J.A., Benton R.A., 1997. White pine weevil hazard under GISS climate change scenarios in the Mackenzie Basin using radiosonde derived lapse rates. In *Mackenzie Basin Impact Study: Final Report*. S.J. Cohen (editor). Atmospheric Environment Service, Environment Canada, Downsview, Ont.: 166-175.
- Silveira S., Khatiwada D., 2010. Ethanol production and fuel substitution in Nepal-opportunity to promote sustainable development and climate change mitigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(6): 1644-1652.
- Smith D.M., Larson B.C., Kelty M.J., Ashton P.M.S., 1997. *The practice of silviculture: applied forest ecology*. 9th edition. John Wiley and Sons, New York, N.Y.
- Smith P., Powlson D.S., Smith J.U., Falloon P., Coleman K., 2000. Meeting Europe's climate change commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture. *Glob. Ch. Biology*, 6: 525-539.
- Sohi S.P., Krull E., Lopez-Capel E., Bol R., 2010. A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil. *Advances in Agronomy*, 105: 47-82. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)05002-9.
- Spittlehouse D.L., Stewart R.B., 2003. Adaptation to climate change in forest management. *BC Journal of Ecosystems and Management*, 4(1).
- Stocks B.J., Fosberg M.A., Lynham T.J., Mearns L., Wotton B.M., Yang Q., Jin J.Z., Lawrence K., Hartley G.R., Mason J.A., McKenney D.W., 1998. Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forests. *Climatic Change*, 38: 1-13.
- Streimikiene D., Mikalauskiene A., 2010. Analysis of possible geological storage of CO<sub>2</sub> and nuclear waste in Lithuania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(6): 1600-1607.
- Tanksley S.D., McCouch S.R., 1997. Seed banks and molecular maps: Unlocking genetic potential from the wild. *Science*, 277 (5329): 1063-1066.
- Thomas S., Dargusch P., Harrison S., Herbohn J., 2009. Why are there so few afforestation and reforestation clean development mechanism projects? *Land use Policy*, 27(3): 880-887.
- Thornton P.K., Jones P.G., Alagaraswamy G., Andresen J., Herrero M., 2009. Adapting to climate change: Agricultural system and household impacts in East Africa. *Agricultural Systems*, 103(2): 73-82.
- Travasso M.I., Magrin G.O., Baethgen W.E., Castaño J.P., Rodriguez G.R., Pires J.L., Gimenez A., Cunha G., Fernandes M., 2006. Working Paper no 28, Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change.
- Triberti L., Nastri A., Giordani G., Comellini F., Baldoni G., Toderi G., 2008. Can mineral and organic fertilization help sequester carbon dioxide in cropland? *Europ. J. Agronomy*, 29: 13-20.
- Tubiello F.N., Rosenzweig C., Goldberg R.A., Jagtap S., Jones J.W., 2002. Effects of climate change on U.S. crop production: Simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, potato, maize and citrus. *Climate Research*, 20 (3): 259-270.
- Van Kooten G.C., Sohngen B., 2007. Economics of forest ecosystem carbon sinks: A review. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 1(3): 237-269.
- Volney W.J.A., Fleming R.A., 2000. Climate change and impacts of boreal forest insects. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 82: 283-294.
- Walker N., Bazilian M., Buckley P., 2009. Possibilities of reducing CO<sub>2</sub> emissions from energy-intensive industries by the increased use of forest-derived fuels in Ireland. *Biomass and Bioenergy*, 33(9): 1229-1238.
- Wang Z.M., Lechowicz M.J., Potvin C., 1995. Responses of black spruce seedlings to simulated present versus future seedbed environments. *Canadian Journal of Forest Research*, 25: 545-554.
- Wargo P.A., Harrington T.C., 1991. Host stress and susceptibility. In *Armillaria root disease*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D.C. *Agriculture Handbook* No. 691.
- Wheaton E., 2001. Changing fire risk in a changing

- climate: a literature review and assessment. Saskatchewan Research Council, Saskatoon, Sask. Publ. No. 11341-2E01.
- Williams S.E., Bolitho E.E., Fox S., 2003. Climate change in Australian tropical rainforests: An impending environmental catastrophe. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(1527): 1887-1892.
- Wilmé L., Goodman S.M. Ganzhorn J.U., 2006. Biogeographic evolution of Madagascar's microendemic biota. *Science*, 312(5776): 1063-1065.
- Wolffsohn A., 1984. Estudios silviculturales de *Pinus oocarpa* Schiede en la Republica de Honduras In: *Publicacion Miscelanea - Escuela Nacional de Ciencias Forestales (Honduras)*, no. 4 / Corporacion Hondurena de Desarrollo Forestal, Tegucigalpa (Honduras), 55 pp.
- Wulf S., Jäger P., Döhler H., 2006. Balancing of greenhouse gas emissions and economic efficiency for biogas-production through anaerobic co-fermentation of slurry with organic waste. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112: 178-185.
- Yeh F.C., 2000. Population genetics. In: Young A., Boshier D., Boyle T. (eds). *Forest conservation genetics*. CSIRO Publishing, CABI Publishing, Collingwood, Wallingford: 21-37 pp.
- Yong Shin M., Danesh Miah M., Lee K.H., 2007. Potential contribution of the forestry sector in Bangladesh to carbon sequestration. *Journal of Environmental Management*, 82(2): 260-276.
- Yu L., Yaoqiu K., Ningsheng H., Zhifeng W., Lianzhon X., 2008. Popularizing household-scale biogas digesters for rural sustainable energy development and greenhouse gas mitigation. *Renewable Energy*, 33: 2027-2035.
- Zheng H., Chen L., Han X., 2009. Response of Soybean Yield to Daytime Temperature Change during Seed Filling: A Long-Term Field Study in Northeast China, *Plant Production Science*, 12 (4): 526-532.

# Numerical Weather Prediction Models' Temperature Post-Processing in Heat Wave Early Warning in Umbria: a Case Study and Preliminary Results

Renato Zauri<sup>1\*</sup>, Roberto Schiaroli<sup>2</sup>, Federico Governatori Leonardi<sup>1</sup>, Nicola Berni<sup>1</sup>

**Riassunto:** Questo lavoro si propone di fornire stime attendibili delle temperature in aree ben definite della Regione Umbria al fine di ottimizzare l'emissione di allerte in caso di ondate di calore. Il Centro Funzionale Decentrato (CFD) della Regione, come soggetto di supporto alle decisioni per il Sistema di Protezione Civile, dal 2007 fornisce tabelle sintetiche contenenti valori estrapolati dall'output del modello di previsione COSMO/LAMI. Per la campagna 2010 si è deciso di sviluppare un sistema automatico di calcolo sia delle temperature che di alcuni indici bioclimatici. I valori delle temperature massime e minime, per ognuna delle aree di allertamento (collegate ai distretti sanitari), vengono calcolati a partire dai dati del modello di previsione numerica COSMO-ME, tramite una procedura automatica che individua all'interno di ogni area il punto più caldo (quello, in pratica, più svantaggiato per gli effetti dell'ondata di calore). Inoltre, dal confronto tra i dati misurati in tempo reale dalla rete di monitoraggio idro-meteorologico dell'Idrografico Regionale e quelli previsti, è stato possibile definire dei correttori statistici per rendere più vicini alla realtà quelli calcolati dal modello meteorologico. Tali correttori sono stati ottimizzati per quelle condizioni sinottiche che possono favorire le ondate di calore.

**Parole chiave:** biometeorologia, previsione temperature, ondate di calore, indice di Thom, allertamento.

**Abstract:** This work aims to give a reliable temperature estimation in well defined areas of Umbria Region (Central Italy) to optimize heat wave early warning messages. The Functional Center (CFD) of Umbria, as decision making support to Regional Civil Protection System, provides, since 2007, numerical tables containing temperature values estimated from numerical model COSMO/LAMI. During summer 2010 we developed an automatic system to calculate temperature and some bio-climatic indexes. For each warning area (public health districts), minimum and maximum temperatures were calculated from raw output of COSMO-ME model, using an automated procedure that searches and finds the hottest point (the most disadvantaged for heat waves' effects). Moreover, comparing estimated data to those measured by real-time observing network of Hydrographic Service, it has been possible to define a statistical bias to improve the model's raw temperature output. Biases have been optimized for such synoptic situations favourable to heat wave development.

**Key words:** biometeorology, temperature forecast, heat waves, Discomfort Index, early warning.

## 1. INTRODUZIONE

Con il termine ondate di calore (*Heat Waves*) si intendono condizioni meteorologiche estreme che si verificano durante la stagione estiva, caratterizzate da temperature elevate ed alti tassi di umidità, al di sopra dei valori usuali, che possono durare giorni o settimane. L'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) non ha formulato una definizione standard di ondata di calore e, in diversi Paesi, la definizione si basa sul superamento di valori soglia di temperatura, definiti attraverso l'identificazione dei valori massimi osservati nella serie storica dei dati registrati in una specifica area. Oltre che dai valori di temperatura e di umidità relativa, le ondate di calore sono identificate dalla loro durata.

Nelle aree maggiormente urbanizzate, l'effetto delle ondate di calore è aggravato dalla cosiddetta isola di calore urbana (Urban Heat Island, UHI), fenomeno dovuto al maggior assorbimento di energia solare da parte delle superfici asfaltate e dal cemento. Inoltre poiché il suolo urbano presenta una scarsa capacità di trattenere acqua, ne consegue una minore evaporazione e quindi un minor raffreddamento in prossimità del terreno. Quello dell'isola di calore urbana rappresenta il fattore principale di malessere delle categorie esposte, rispetto alla popolazione che risiede in aree rurali (Unger, 1999; Mariani and Sovrano Pangallo, 2005) e, per una sua valutazione quantitativa, ci si può riferire al lavoro di Landsberg (1981), il quale ha trovato la seguente relazione empirica che stima la differenza di temperatura tra aree urbane ed aree rurali circostanti:

$$\Delta t \approx 0.1d$$

in cui  $d$  è il diametro della città in km.

\* Corresponding author: Renato Zauri rzauri@yahoo.it

<sup>1</sup> Regione Umbria Centro Funzionale Decentrato, Foligno

<sup>2</sup> Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale dell'Umbria, Perugia

received 30-Oct-10 accepted 30-Nov-10.

L'esperienza del 2003 (Conti *et al.*, 2005), di un'ondata di calore particolarmente intensa e prolungata verificatasi nell'Europa centrale e meridionale, ha mostrato come tali fenomeni, se non adeguatamente previsti, siano in grado di dar luogo a vere e proprie situazioni di emergenza per i sistemi di sanità pubblica. In presenza di previsioni accurate, è invece possibile adottare misure di prevenzione degli effetti negativi delle ondate di calore. In tal senso il riferirsi a scenari previsionali predefiniti (scenari di rischio) permette di mirare gli interventi preventivi in maniera ottimale verso le persone a rischio più elevato (modelli d'intervento).

## 2. IL CONTESTO OPERATIVO DELLA REGIONE UMBRIA IN RELAZIONE ALLE ONDATE DI CALORE

L'entità del rischio sanitario apportato dalle ondate di calore ha evidenziato da tempo l'importanza di allestire sistemi di allerta e di prevenzione bioclimatica. In quest'ottica, la Regione Umbria con opportune D.G.R. approva annualmente, dal 2004, le "linee di azione e direttive per l'emergenza calore", redatte d'intesa con le Prefetture di Perugia e di Terni, per la prevenzione degli effetti sulla salute di eventuali ondate di calore. Con tali atti si cerca di stabilire misure di sorveglianza e di risposta da attuare in periodi stagionali caratterizzati dall'innalzamento delle temperature al di sopra di una soglia critica posta pari a +33 °C.

A tal fine il Servizio Protezione Civile della Regione Umbria provvede a trasmettere al Servizio Programmazione Socio-sanitaria dell'Assistenza di Base e Ospedaliera e Osservatorio Epidemiologico, a tutti i Comuni e le Province dell'Umbria, alle ASL, ai Distretti Sanitari di Base ed alle Prefetture un bollettino di livello di attivazione emergenza calore inerente il territorio regionale, elaborato sulla base del bollettino meteo diramato dal Dipartimento della Protezione Civile, integrato con i prodotti previsionali dell'Aeronautica Militare.

In funzione dei livelli di attivazione e delle conseguenti attività operative è importante conoscere con anticipo la variazione a livello locale delle condizioni meteo-climatiche; pertanto il Centro Funzionale ha approntato, in via sperimentale, una tabella con le previsioni di temperature minime e massime su 9 aree di allerta coincidenti con la ripartizione territoriale dei Distretti Sanitari (figura 1).

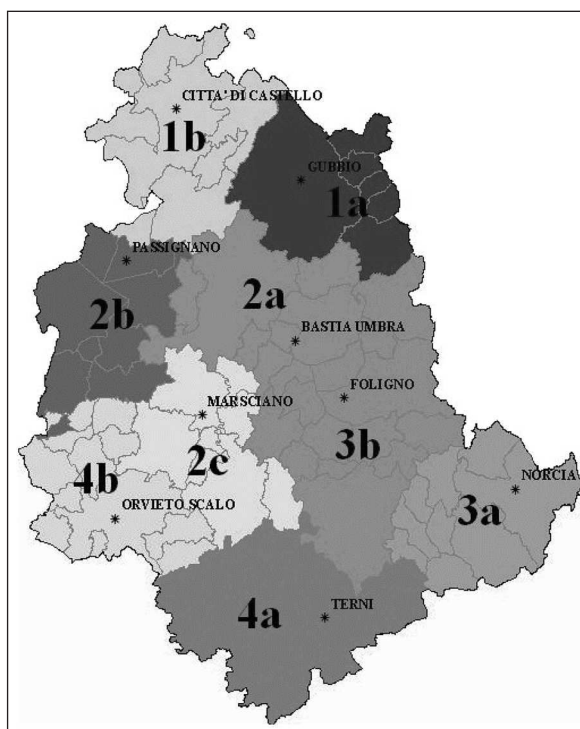
Il bollettino viene emesso tutti i giorni della settimana eccetto la domenica, con i dati previsti nelle successive 72 ore e con la relativa indicazione del livello di attivazione.

Dallo scorso anno la città di Perugia è entrata a far parte del programma nazionale che prevede l'attivazione, nelle principali città italiane, di sistemi di previsione e di allerta sugli effetti delle ondate di calore sulla salute. Tali sistemi, denominati *Heat Health Watch Warning*

*Systems* (HHWWS) (Michelozzi *et al.*, 2010), consentono di individuare, per ogni specifica area urbana, le condizioni meteo-climatiche che possono avere un impatto significativo sulla salute dei soggetti vulnerabili. Sulla base di questi modelli vengono elaborati, da parte del Dipartimento di Epidemiologia della ASL RM/E (individuato, come Centro di Competenza Nazionale ai sensi della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 Febbraio 2004), bollettini giornalieri in cui sono comunicati i possibili effetti sulla salute derivanti dalle condizioni meteorologiche previste a 24, 48 e 72 ore.

Per la città di Perugia la competente struttura individuata per la gestione dell'Emergenza Calore dovrà attenersi esclusivamente a quanto previsto dal bollettino elaborato dal Centro di Competenza Nazionale, e dovrà attivarsi direttamente tramite le proprie strutture secondo procedure appositamente stabilite a livello locale. Sul resto del territorio regionale si mantiene invece valido il bollettino di livello di attivazione emergenza calore emesso dalla Regione Umbria.

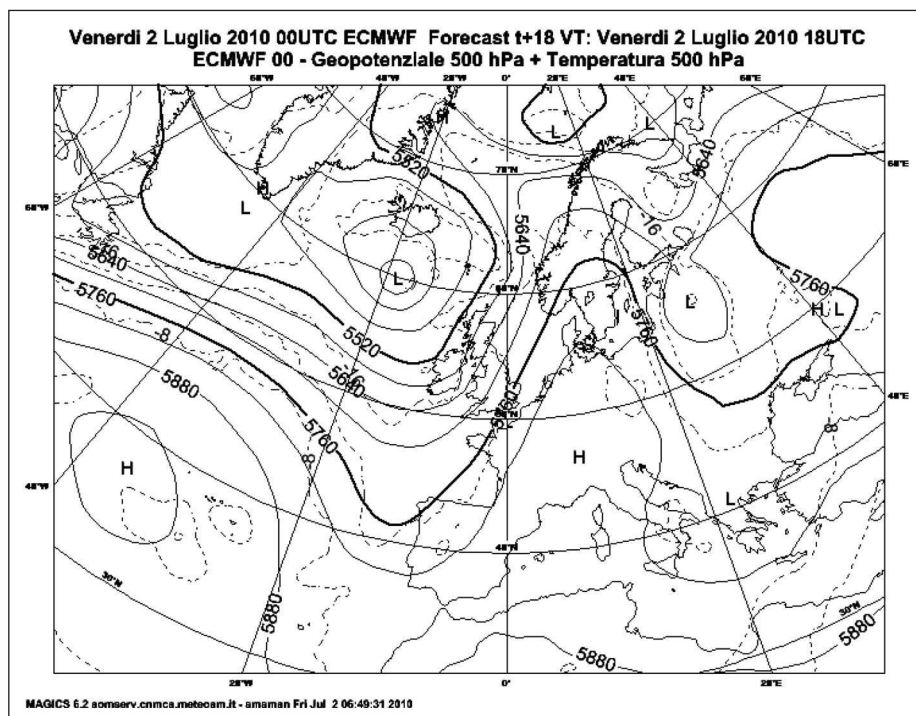
Il Centro Funzionale dell'Umbria partecipa al sistema di allertamento per l'emergenza calore fornendo un supporto tecnico scientifico alle decisioni, limitatamente alle forzanti meteorologiche del fenomeno dell'ondata di calore, dando la possibilità, tramite il proprio sito Internet, di monitorare le temperature in tempo reale su tutto il territorio regionale, e fornendo



**Fig. 1** - Suddivisione in aree di allertamento per l'emergenza calore della Regione Umbria.

*Fig. 1 - Heat wave warning areas in Umbria Region.*





**Fig. 2** - Situazione sinottica favorevole ad un'ondata di calore sull'Italia (Fonte: Aeronautica Militare).  
*Fig. 2 - Heat wave favourable synoptic situation in Italy (source: Italian Air Force).*

previsioni di temperature ed indici bioclimatici, basate su modelli meteorologici numerici di previsione (NWP).

Inoltre l'area meteo del CFD provvede ad avvisare chi di competenza sull'arrivo di un'ondata di calore, qualora il fenomeno sia ben deducibile da condizioni sinottiche correttamente simulate dai modelli previsionali a larga scala.

Con riferimento a tale contesto, il presente lavoro si propone lo studio del comportamento delle previsioni numeriche di temperatura e la stima, con una semplice tecnica MOS (Model Output Statistics), di un eventuale bias tra dato misurato e dato previsto, da utilizzare come correttivo al valore grezzo del modello, per fornire un supporto alle decisioni più vicino alla realtà. Inoltre verrà studiato anche il comportamento di un indice bioclimatico per valutarne le *performance* previsionali rispetto a quelle del metodo a soglia per le temperature massime. Non rientra nello scopo di questo lavoro, la validazione della soglia assunta per l'allarme da ondate di calore, trattandosi di un problema di epidemiologia e statistica medica.

### 3. CONDIZIONI SINOTTICHE FAVOREVOLI ALLE ONDATE DI CALORE

La principale causa, a livello sinottico, delle ondate di calore sull'Italia è l'Anticiclone Subtropicale Africano (ASA), un'area di alta pressione, di natura continentale, che interessa in modo pressoché permanente tutta l'area dell'Africa settentrionale.

Come ogni area di alta pressione, anche l'ASA possiede

i suoi meccanismi dinamici, in particolar modo quando lo scenario sinottico presenta un'ampia area di bassa pressione tra le isole Canarie, il Marocco e la Penisola Iberica (figura 2).

In questo caso si innesca un'espansione dell'alta pressione verso Nord che raggiunge così il bacino del Mediterraneo e l'Europa meridionale dando luogo alla formazione di un promontorio.

Questo scenario determina stabilità atmosferica con valori di temperatura molto gradevoli nella stagione invernale, mentre più critiche sono le conseguenze quando questa configurazione si presenta nella stagione estiva. Infatti le correnti calde provenienti dal Sahara, oltre a portare un sensibile aumento delle temperature (generalmente oltre la norma e con valori elevati nelle pianure e nelle valli interne), attraversando il Mediterraneo si caricano di umidità, con conseguenti condizioni di caldo afoso e sensibile disagio fisico, specie per i soggetti particolarmente vulnerabili.

Durante la stagione estiva, la presenza stabilizzante dell'ASA, che è sempre accompagnata da elevati valori dell'altezza di geopotenziale, è riconoscibile dalla pressoché totale assenza di attività cumuliforme nelle zone interne.

Questa situazione circolatoria è la principale responsabile delle ondate di calore di lunga durata. Uno studio di Conte *et al.* (1994) svolto utilizzando come base statistica 28 episodi individuati nel periodo 1950-1992 evidenzia una durata che va da un minimo di 9 ad un massimo di 21 giorni. In tale studio si è inoltre evidenziata la presenza di ondate di breve durata (3-5 giorni) asso-

Sabato 19 Giugno 2010 00UTC ECMWF Forecast t+42 VT: Domenica 20 Giugno 2010 18UTC  
 ECMWF 00 - Geopotenziale 500 hPa + Temperatura 500 hPa

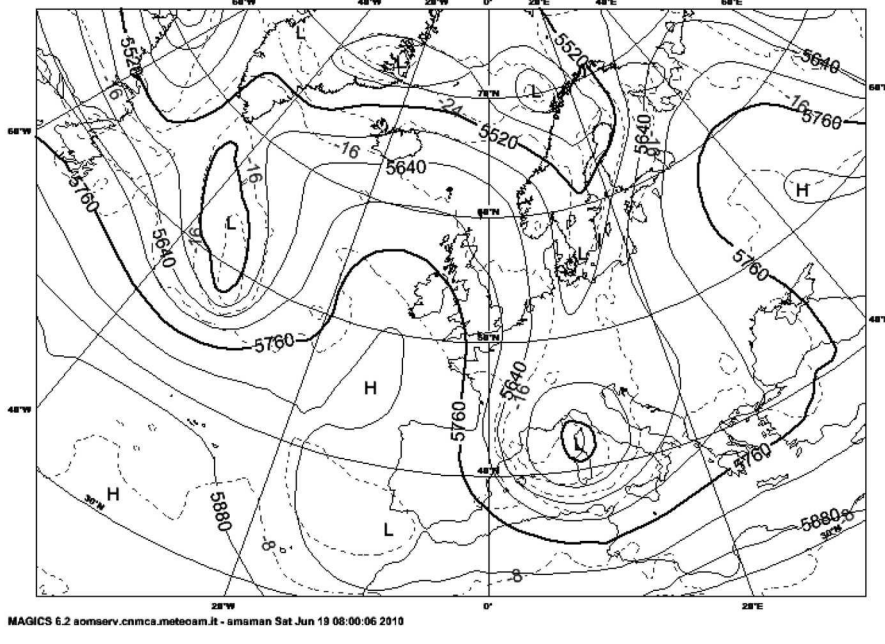


Fig. 3 - Situazione sinottica tipica di un'intrusione d'aria fredda atlantica (Fonte: Aeronautica Militare).  
 Fig. 3 - Atlantic cold air intrusion synoptic situation (source: Italian Air Force).

ciate all'anomala presenza del getto sub tropicale che si sposta verso Nord rispetto alla propria sede naturale fino ad interessare l'area mediterranea.

In assenza di tali importanti strutture le perturbazioni atlantiche o russo-balcaniche possono entrare nel Mediterraneo con conseguente instabilità diffusa che, qualora si abbiano immediatamente dopo un periodo di forte caldo, possono dar luogo a temporali, anche molto intensi, a causa del surriscaldamento dei bassi strati e la conseguente superadiabaticità della colonna troposferica, il tutto seguito da un generalizzato e repentino calo delle temperature (figura 3).

#### 4. BREVE DESCRIZIONE DEL MODELLO COSMO-ME

COSMO-ME è il modello ad alta risoluzione del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, della famiglia COSMO (Schattler e Montani, 2005), che fornisce previsioni fino a 72h su gran parte dell'Europa e sul bacino del Mediterraneo, con una risoluzione orizzontale di circa 7 km e 40 livelli verticali. Esso viene utilizzato con un'analisi di tipo 3D-VAR del CNMCA, mentre le condizioni al contorno sono date dall'output del modello globale ECMWF.

La caratteristica principale dei modelli della famiglia COSMO è la non-idrostaticità che dovrebbe tradursi nella capacità di simulare in maniera migliore, rispetto ad un approccio idrostatico, i moti verticali dell'atmosfera ed in particolare i fenomeni termoconvettivi, il forcing orografico e le strutture frontali.

La miglior performance per simulare fenomeni a pic-

cola scala comporta, ovviamente, una procedura di calcolo più complessa e maggiori risorse.

#### 5. L'INDICE DI THOM ED IL THI

L'indice di Thom è uno degli indici bioclimatici storici (Thom e Bosen, 1959) e largamente utilizzato (Pirretti *et al.*, 2007) per la stima del disagio fisico in condizioni di elevate temperature ed umidità:

$$DI = 0.4(T_a + T_w) + 4.8$$

dove  $T_a$  è la temperatura dell'aria e  $T_w$  è la temperatura di bulbo bagnato, misurate in gradi Celsius. Quest'ultima grandezza non viene fornita dal modello che dà, invece, la temperatura di *deu-point*  $T_d$ . Occorre quindi ricorrere a delle formule empiriche per ottenere  $T_w$ . In questo lavoro è stata utilizzata una forma semplificata dell'indice di Thom (Unger, 1999) che fa riferimento alla temperatura dell'aria ed all'umidità relativa  $RH$ :

$$THI = T_a - 0.55(1 - 0.01 RH)(T_a - 14.5)$$

Questo indice è comunemente chiamato Indice Termometro (Kyle, 1994).

L'umidità relativa  $RH$  si ricava, tramite l'equazione di Clausius-Clapeyron, noti  $T_a$  e  $T_d$  (Lawrence, 2005):

$$RH = 100 \cdot \exp\left(5243.8 \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_d}\right)\right)$$

L'indice di Thom è stato usato, originariamente, per dare una stima del disagio fisico dovuto allo stress da

Classificazione	THI range (°C)
Nessun disagio	THI < 21
Meno del 50% della popolazione prova disagio	21 ≤ THI < 24
Più del 50% della popolazione prova disagio	24 ≤ THI < 27
Gran parte della popolazione prova disagio	27 ≤ THI < 29
Tutti provano disagio	29 ≤ THI < 32
Stato di emergenza medica	THI > 32

**Tab. 1** - Classificazione degli effetti termici in estate secondo il *THI* (Matzarakis e Mayer, 1991).

*Tab. 1 - Summer thermal effects classification according to THI (Matzarakis e Mayer, 1991).*

calore. Il *THI* è stato testato, successivamente, su un vasto intervallo di situazioni, dal grande caldo al freddo. Il *THI* consente, quindi, anche di caratterizzare climaticamente una certa zona, ma per gli scopi del presente lavoro si è interessati, di fatto, alla capacità del *THI* di dare un'indicazione degli effetti delle alte temperature sullo stato fisico delle persone. La letteratura consultata (Matzarakis and Mayer, 1991) fornisce lo schema interpretativo dei valori di *THI* riportata in tabella 1.

## 6. METODOLOGIA PER LA STIMA DELLE TEMPERATURE

Per la stima delle temperature massime in ogni zona di allertamento si è deciso di adottare il criterio già impiegato negli anni precedenti e che consiste, con riferimento alle previste dell'NWP fino a tre giorni compreso quello corrente (previsioni fino a 72h ad iniziare dalle 00UTC), nell'individuare all'interno di ogni zona l'area con la temperatura più elevata nelle ore centrali della giornata.

Negli anni passati tale procedimento veniva eseguito da un operatore, opportunamente addestrato, che analizzava le mappe di temperatura a 2m fornite dal modello a scala locale LAMI, fornito dal DPC tramite la rete dei Centri Funzionali. Il procedimento, oltre ad essere oneroso come impegno, aveva il difetto di "dipendere" dalla soggettività dei vari operatori nell'interpretare le mappe.

Per ovviare a ciò, nella campagna di prevenzione 2010 degli effetti delle ondate di calore sulla salute, si è deciso di sviluppare un sistema automatico che riproducesse il procedimento usuale senza le incertezze interpretative che un operatore può introdurre.

I dati di base, forniti dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, sono le simulazioni del NWP COSMO-ME, sostanzialmente identico al LAMI, ma inizializzato in maniera leggermente diversa e su un'area un po' più ampia.

I dati vengono processati tramite un software di mappatura dei dati meteorologici che interpolando i campi sulle varie zone di allertamento ricava per ogni *step*

temporale (3h) ed all'interno di ciascuna zona, il valore massimo delle temperature massime e minime triorarie e degli indici bioclimatici individuando il punto di massimo svantaggio termico. Le sequenze di valori vengono graficate per un eventuale controllo di congruità (figura 4).

Successivamente, per ogni giorno di previsione, viene calcolato il valore massimo della sequenza delle massime ed il valore minimo della sequenza delle minime, nonché il valore massimo giornaliero degli indici.

L'identificazione, quindi, delle temperature massime e minime giornaliere

$$T_{max}^d(X) \text{ e } T_{min}^d(X)$$

per ogni zona *X*, nell'arco delle 24h, avviene secondo il seguente schema:

$$T_{max}^d(X) = \max(\max(T_{max}^{3h}(X, 24h)))$$

$$T_{min}^d(X) = \min(\max(T_{min}^{3h}(X, 24h)))$$

Le stime delle temperature minime servono a valutare la componente del disagio durante le ore notturne; in tal senso non si va a considerare la minima assoluta della giornata, che potrebbe essere più bassa, ma il valore massimo delle minime notturne.

I risultati vengono riassunti in tabelle, rese disponibili sul sito internet del CFD ([www.cfumbria.it](http://www.cfumbria.it)) in un'apposita pagina con accesso riservato.

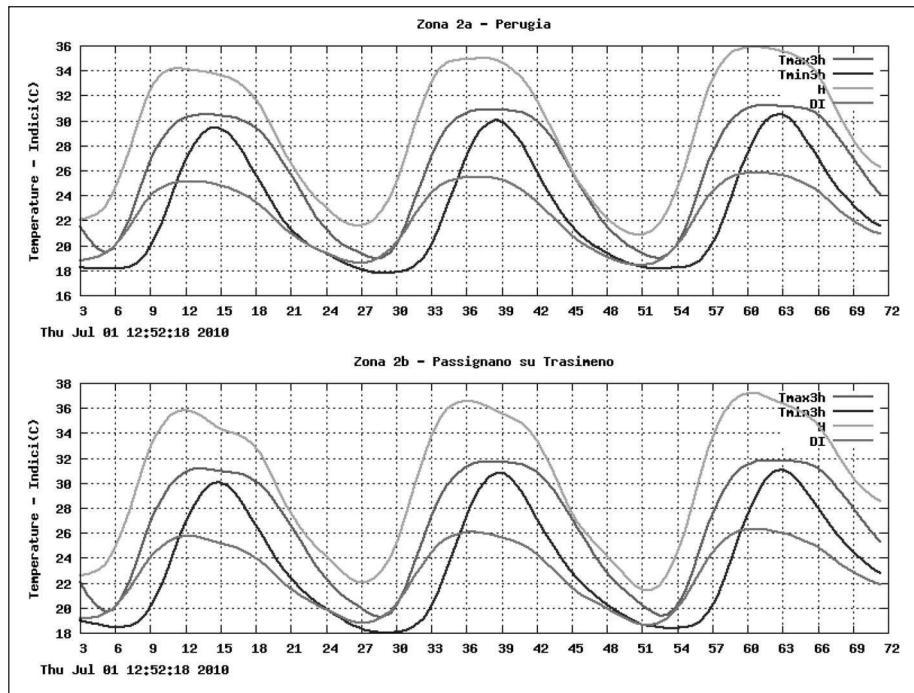
## 7. ANALISI STATISTICA DEI DATI

Per stimare l'errore commesso dal modello di previsione (errore che nel nostro caso è ovviamente comprensivo dell'errore insito nella metodologia di individuazione delle punte estreme di temperatura negli aerali di riferimento) è stata utilizzata una semplice tecnica MOS (Eccel *et al.*, 2008) confrontando quanto misurato dalle stazioni meteorologiche della rete regionale in tempo reale (che fa capo all'Idrografico) ed il valore previsto dal modello nelle prime 24h (in futuro si conta di estendere l'analisi anche alle successive 48 e 72h di previsione).

I valori misurati di temperatura massima e di *THI* massimo, per ogni area, sono stati ottenuti con lo stesso procedimento con cui sono stati calcolati i valori massimi di temperatura e *THI* previsti, cioè considerando tutte le stazioni ricadenti in ogni zona di allerta e prendendo il valore massimo tra tutti quelli misurati (il valore più elevato anche nel caso delle minime), nell'ipotesi che, data la fitta distribuzione delle stazioni sul territorio, possa essere individuata la località termicamente più svantaggiata.

A seguire è stata condotta un'analisi statistica degli scarti tra grandezze misurate e previste, al fine di trovare degli stimatori che possano, eventualmente, apportare una correzione di quelle temperature che si discostano troppo dalla realtà.

Per prima cosa sono stati calcolati gli indici statistici di



**Fig. 4** - Esempi degli andamenti delle temperature e degli indici bioclimatici nelle 72h di previsione del modello: Tmax3h, Tmin3h: Temperatura massima e minima nello step temporale (3h) del modello NWP; H: Indice HUMIDEX (Masterson e Richardson, 1979), DI: Indice di Thom.  
*Fig. 4 - Example plot of temperatures and bioclimatic indexes from NWP 72h forecast. Tmax3h, Tmin3h: highest and lowest temperature ; H: HUMIDEX index (Masterson e Richardson, 1979), DI: Discomfort index .*

variabilità e tendenza centrale di un campione di dati: media, mediana, deviazione standard, coefficienti di variazione e quartili.

Il coefficiente di variazione (CV) o deviazione standard relativa è un indice di dispersione definito come il rapporto tra la deviazione standard ( $\sigma$ ) ed il valore assoluto della media aritmetica del campione:

$$CV = \frac{\sigma}{|\mu|}$$

ha senso solo se il valor medio è diverso da zero. Esso è utile nella individuazione di un'eventuale sistematicità nella stima dell'errore del modello rispetto al misurato, qualora la media degli scarti si discosti sensibilmente da zero. In caso di errore sistematico i CV saranno relativamente piccoli.

Un errore di tipo sistematico è molto più facile da gestire che non un errore affetto da fluttuazioni stocastiche che ampliano la dispersione della distribuzione dei dati (cosa assai più complessa da trattare, se non facendo ricorso a reti neurali artificiali o foreste stocastiche come in Eccel *et al.*, 2008). È utile, allora, analizzare i CV per ottenere un'indicazione della sistematicità dell'errore del modello di previsione.

Successivamente, sono stati prodotti dei *boxplot* per avere informazioni sulla distribuzione degli scarti e mettere in risalto quei valori che si discostano troppo dalla distribuzione stessa, utilizzando l'apposita funzione del software di statistica R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)) che stima gli *outliers* secondo il modello descritto da Chambers *et al.* (1983) e modificato da McGill *et al.* (1978), basato sulla normalità asintotica della mediana che risulta, pertanto,

abbastanza indipendente dalla reale distribuzione dei campioni.

Definiamo gli estremi della distribuzione (ignota) nell'intervallo:

$$\left[ 1stQ - \frac{1.58 \cdot IQR}{\sqrt{n}}, 3rdQ + \frac{1.58 \cdot IQR}{\sqrt{n}} \right]$$

dove  $n$  è la dimensione del campione e  $IQR$  è la distanza interquartile, cioè la differenza tra il terzo ed il primo quartile. Tutti i valori che stanno al di fuori vengono considerati come *outliers*. Essi verranno eliminati quando si tratterà di stimare la correzione da applicare alle temperature previste dal modello.

L'analisi degli *outliers* si rivela molto importante per identificare quei casi in cui il comportamento del modello mostrava evidenti anomalie rispetto al misurato (scarti troppo grandi o troppo piccoli) che, come si vedrà, saranno riconducibili, per la maggior parte, a determinate situazioni sinottiche.

Il correttore da applicare è stato identificato nella mediana degli scarti, stimatore molto più robusto, e sostanzialmente indipendente dalla funzione di distribuzione reale del campione, che non il valor medio il quale, invece, risulta assai dipendente dalla forma della distribuzione e dalla dimensione del campione.

Con analoga procedura sono stati analizzati gli scarti per l'indice *THI* massimo misurato e previsto.

## 8. RISULTATI PRELIMINARI

### 8.1 Temperature massime

I dati esaminati comprendono il periodo dal 23/05/2010 al 31/07/2010, pari a 70 giorni di dati. Le statistiche degli

scarti di temperatura tra previsto e misurato sono riassunti nella tabella 2.

Si nota immediatamente come vi sia una sostanziale sottostima delle temperature massime da parte del modello COSMO-ME, ad eccezione della zona 1a (Gubbio) in cui la media degli scarti è la più bassa (-0.27) con una mediana pari a zero.

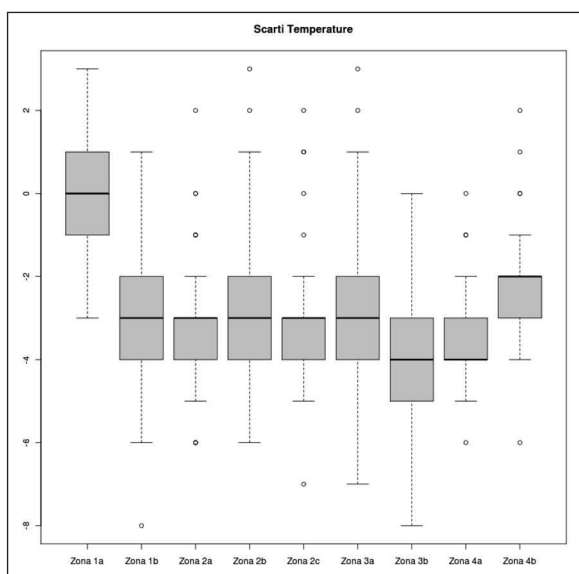
Utilizzando il modello *boxplot* è stato ottenuto il grafico di figura 5.

Lo studio degli *outliers* è stato utilizzato come elemento

	Zona 1a	Zona 1b	Zona 2a
Min	-3.0	-8.0	-6.0
1stQ	1.0	-4.0	-4.0
Mediana	0.0	-3.0	-3.0
Media	-0.27	-3.37	-3.02
3rdQ	1.0	-2.25	-3.0
Max	3.0	1.0	2.0
Dev.St.	1.48	1.66	1.30
CV	5.46	0.49	0.43
	Zona 2b	Zona 2c	Zona 3a
Min	-6.0	-7.0	-7.0
1stQ	-4.0	-4.0	-4.0
Mediana	-3.0	-3.0	-3.0
Media	-2.80	-3.1	-2.88
3rdQ	-2.25	-3.0	-2.0
Max	3.0	2.0	3.0
Dev.St.	1.42	1.40	1.69
CV	0.50	0.45	0.58
	Zona 3b	Zona 4a	Zona 4b
Min	-8.0	-6.0	-6.0
1stQ	-5.0	-4.0	-3.0
Mediana	-4.0	-4.0	-2.0
Media	-4.07	-3.55	-2.4
3rdQ	-3.0	-3.0	-2.0
Max	0.0	0.0	2.0
Dev.St.	1.60	0.98	1.18
CV	0.39	0.27	0.49

**Tab. 2** - Statistiche principali del set di dati analizzato (scarti tra le temperature massime previste ed osservate in °C): valore minimo (min), primo quartile (1stQ), Mediana, Media, terzo quartile (3rdQ), valore massimo (Max) deviazione standard (Dev.St) e coefficiente di variazione (CV).

*Tab. 2 - Statistical summary of maximum temperature differences (predicted vs measured) (in °C) data set analyzed: minimum value (min), first quartile (1stQ), Median, Mean, third quartile (3rdQ), maximum value (max), standard deviation (Dev.St) and variation coefficient (CV).*



**Fig. 5** - Boxplot del set di dati analizzato per ognuna delle zone di allertamento. In ordinata sono riportati gli scarti tra la temperatura massima giornaliera prevista e quella misurata, in °C.

*Fig. 5 - Data set boxplot analysis in each warning zone. Differences in highest daily temperature predicted and measured, in °C on vertical axis.*

di supporto all'identificare i casi per i quali il comportamento del modello era da considerare "anomalo". In particolare sono stati considerati a "comportamento del modello anomalo" e dunque esclusi dall'analisi statistica successiva sia i casi in cui si verificavano *outliers* sia i casi in cui il modello ha mostrato comportamenti critici in situazioni sinottiche "non ASA". Questi ultimi casi (riassunti in tabella 3) sono riconducibili in particolare alle seguenti tipologie di situazioni sinottiche:

- *Irruzioni d'aria fredda (sia atlantiche che balcaniche)*: il modello meteo simula bene le temperature nei valori, quindi con scarti piccoli o positivi. Ciò mostra che in condizioni di alta pressione nei periodi estivi il modello tende, in qualche modo, a tenere bassi valori estremi di temperatura ed a funzionare meglio quando l'escursione termica e le condizioni sinottiche sono quelle tipiche delle stagioni di transizione;
- *Variazioni rapide delle temperature*: se il grosso della variazione ha luogo su archi di tempo dell'ordine di 1 giorno il modello non riesce a simularla correttamente o non "vedendola" affatto oppure simulandola in ritardo (il giorno successivo). Questo tipo di problema è dovuto, tipicamente, all'inizializzazione del modello stesso.

Eliminando dunque i casi a "comportamento del modello anomalo" dal dataset di calibrazione si è giunti ad un dataset finale da cui sono state ricavate le statistiche riepilogative riportate in tabella 4.

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
Giorni	12-giu	2-giu	28-mag	28-mag	28-mag	19-giu	28-mag	28-mag	28-mag
	13-giu	3-giu	2-giu	3-giu	3-giu	20-giu	29-mag	12-giu	29-mag
	15-giu	13-giu	3-giu	13-giu	13-giu	21-giu	3-giu	15-giu	3-giu
	19-giu	15-giu	13-giu	15-giu	15-giu	22-giu	4-giu	16-giu	15-giu
	20-giu	20-giu	15-giu	20-giu	21-giu	23-giu	5-giu	6-lug	26-giu
	6-lug	22-giu	16-giu	24-giu	26-giu	6-lug	19-giu	7-lug	6-lug
	16-lug	23-giu	23-giu	6-lug	6-lug	8-lug	20-giu	9-lug	18-lug
	17-lug	6-lug	6-lug	19-lug	17-lug	11-lug	21-giu		19-lug
	18-lug	9-lug	20-lug	20-lug	22-lug	19-lug	23-giu		30-lug
	20-lug	18-lug	22-lug	30-lug	25-lug	20-lug	26-giu		
	29-lug	20-lug	30-lug		30-lug	23-lug	27-giu		
	30-lug	29-lug				24-lug	6-lug		
		30-lug				25-lug	7-lug		
		31-lug				29-lug	11-lug		
							20-lug		
							22-lug		
							23-lug		
							25-lug		
							29-lug		
							30-lug		
						31-lug			

**Tab. 3** - Giornate escluse dalle statistiche per le temperature massime in base ai criteri illustrati nel testo.

*Tab. 3 - Maximum temperature outliers' dates, not used in statistics (see text).*

La mediana dimostra la sua robustezza come stimatore del comportamento medio degli scarti. Com'era da prevedersi, i CV si riducono drasticamente indicando un comportamento ben definito del modello meteorologico nei casi di alte pressioni estive.

Le buone prestazioni della mediana sono confermate anche dall'analisi delle distribuzioni degli scarti (figura 6), che non mostra accentuate asimmetrie rispetto alla mediana stessa.

In base a ciò sono stati individuati i correttori, uno per ogni zona, da applicare alle temperature previste (tabella 5). Tali correttori sono applicabili anche, per le temperature previste per i giorni successivi al primo, in base al fatto che l'errore in temperatura dei modelli della famiglia COSMO è abbastanza costante nei tre giorni di previsione, nel senso che il ciclo giornaliero si ripete più o meno identico senza evidenti peggioramenti all'aumentare dell'intervallo temporale dall'istante di inizializzazione (Tesini and Cacciamani, 2008; Tesini, 2010, comunicazione privata).

## 8.2 Indice di Thom-THI

I record esaminati comprendono il medesimo periodo dal 23/05/2010 al 31/07/2010, pari a 70 giorni di dati.

Le statistiche degli scarti di *THI* tra previsto e misurato sono riassunti nella tabella 6.

La prima cosa che si evidenzia è che gli scarti tra previsto ed osservato hanno, in assoluto, valori decisamente inferiori agli scarti delle temperature massime, il che attesta la bontà del metodo di ricerca del punto più svantaggiato; inoltre si nota che combinando tempera-

tura ed umidità previste dal modello si ottiene una grandezza il cui valore è molto più vicino alla realtà che non la semplice temperatura massima. Da ciò deriva l'ipotesi preliminare secondo cui la previsione del *THI* manifesta una maggiore accuratezza rispetto alla previsione della temperatura massima.

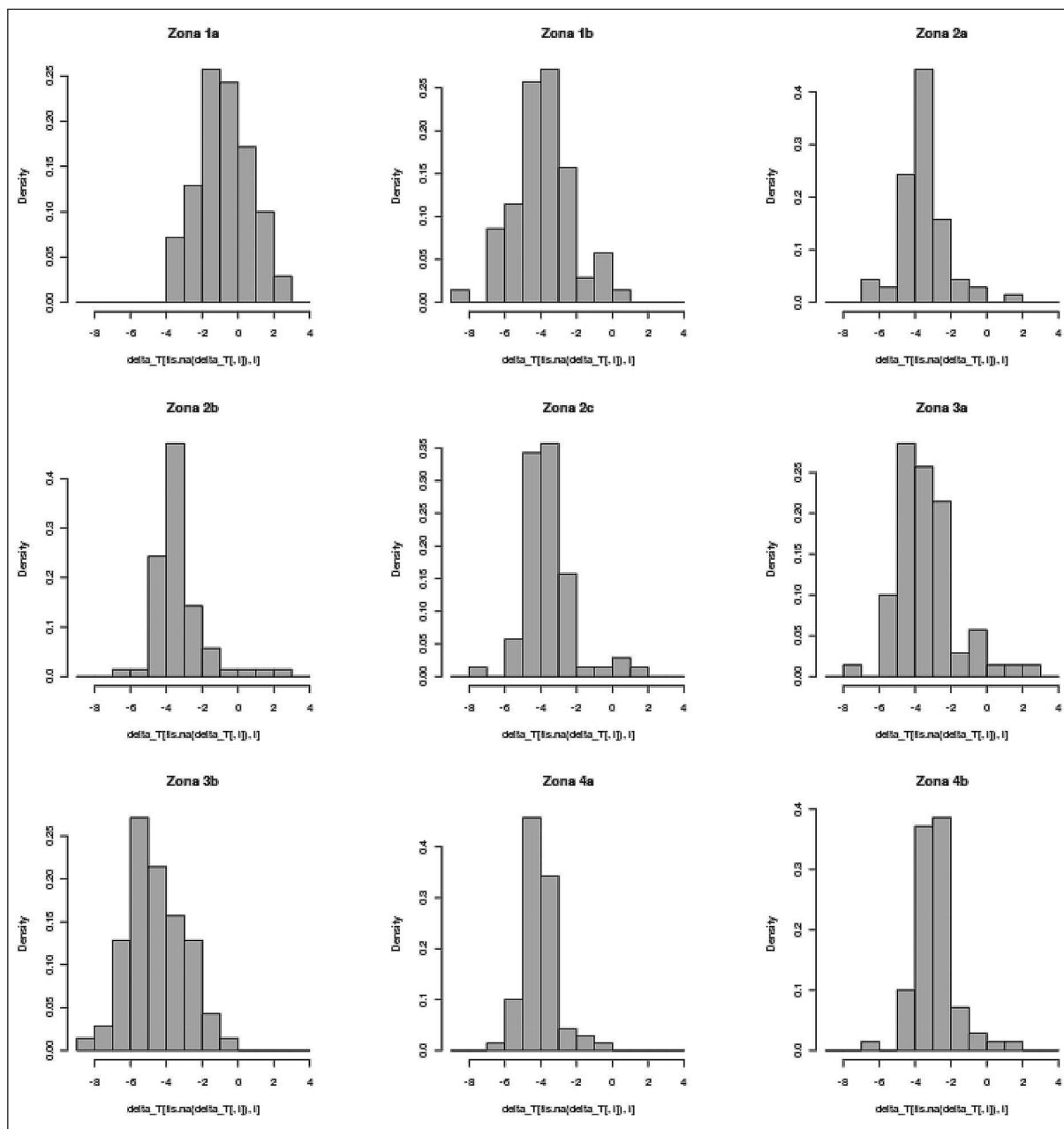
Analogamente a quanto fatto per le temperature, utilizzando il modello *boxplot* (figura 7) sono state identificate quelle date in cui il comportamento del modello è stato definito "anomalo".

Considerando anche come viene costruito l'indice termogrometrico, non tutte le date "critiche" esaminate per le temperature massime corrispondono con quelle individuate per il *THI* (tabella 7). Eliminando queste date dalle statistiche otteniamo i parametri riassunti in tabella 8.

La mediana non mostra nelle zone 1a, 2b e 3a la stessa "robustezza" del caso delle temperature, anche se le distribuzioni degli scarti risultano molto strette ed abbastanza simmetriche (figura 8).

Si tratta, però, di differenze minime rispetto al set di dati completo riportato in tabella 9. Questo è imputabile, principalmente, al fatto che stiamo trattando differenze piccole (dell'ordine del decimo di grado), rispetto a quelle delle temperature, e con valori più ravvicinati.

Il valor medio ha, comunque, una minore stabilità, rispetto alla mediana, nel passaggio tra set completo e set selezionato; pertanto per i *THI* previsti è stata ugualmente utilizzata la mediana per individuare i correttori statistici che sono riassunti in tabella 10.



**Fig. 6** - Istogrammi degli scarti tra temperature massime previste e misurate: in ascissa scarti di temperature in °C, in ordinata le frequenze relative.

*Fig. 6 - Histograms of highest daily temperature differences (in °C) between predicted and measured values.*

Come precedentemente visto per le temperature, anche nel caso dei *THI* le correzioni stimate per le prime 24h di previsione sono state applicate anche ai valori previsti per gli *step* temporali successivi.

A tal proposito occorre chiarire alcuni punti. Come riportato nella tabella 8 i CV delle zone 2c e 4b sono molto elevati; rispettivamente 0.74 e 0.39. Ciò è da imputare al fatto che, a causa della dotazione strumentale della rete, in tali zone si hanno soltanto due stazioni equipaggiate con il sensore igrometrico (una per zona)

e quindi solo in due punti è stato possibile avere una misura del *THI*.

Per dare un significato anche a questi dati si è confrontato il comportamento del *THI* nelle zone in questione con quello nelle zone limitrofe, alla ricerca di eventuali correlazioni.

Le figure 9 e 10 mostrano una significativa correlazione dei valori di *THI* misurati e previsti tra le zone 2c, 4b e quelle a loro adiacenti.

Si ha, quindi, una prima evidenza di come il modello di

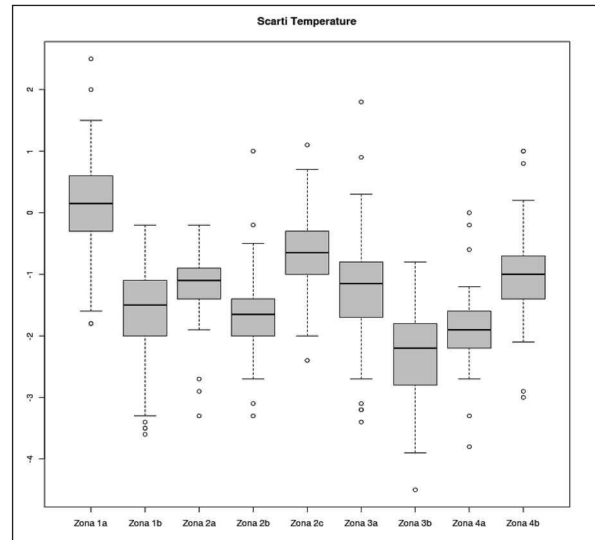
	Zona 1a	Zona 1b	Zona 2a
Min	-3,0	-5,0	-4,0
1stQ	-1,0	-4,0	-4,0
Mediana	0,0	-3,0	-3,0
Media	-0,43	-3,21	-3,06
3rdQ	0,0	-2,5	-3,0
Max	2,0	-1	-2,0
Dev.St.	1,11	0,97	0,72
CV	2,53	0,30	0,23
	Zona 2b	Zona 2c	Zona 3a
Min	-4,0	-4,0	-4,0
1stQ	-3,0	-4,0	-4,0
Mediana	-3,0	-3,0	-3,0
Media	-3,0	-3,16	-3,04
3rdQ	-3,0	-3,0	-2,0
Max	-2,0	-2,0	-1,0
Dev.St.	0,64	0,71	0,91
CV	0,21	0,22	0,30
	Zona 3b	Zona 4a	Zona 4b
Min	-5,0	-5,0	-4,0
1stQ	-5,0	-4,0	-3,0
Mediana	-4,0	-4,0	-2,0
Media	-3,97	-3,56	-2,46
3rdQ	-3,0	-3,0	-2,0
Max	-2,0	-2,0	-1,0
Dev.St.	0,98	0,70	0,73
CV	0,24	0,19	0,30

**Tab. 4** - Statistiche principali del set di dati (scarti tra le temperature massime previste ed osservate in °C) dopo l'eliminazione dei dati "anomali": valore minimo (min), primo quartile (1stQ), Mediana, Media, terzo quartile (3rdQ) valore massimo (Max) Deviazione standard (Dev.St) e Coefficiente di variazione (CV).

Tab. 4 - Statistical summary of maximum temperature differences (predicted vs. measured, in °C) data set after outliers elimination: minimum value (min), first quartile (1stQ), Median, Mean, third quartile (3rdQ), maximum value (max), standard deviation (Dev.St) and variation coefficient (CV).

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
vcorr	0	+3	+3	+3	+3	+3	+4	+4	+2

**Tab. 5** - Correttori (°C) adottati per migliorare la stima delle temperature massime previste per ogni singola zona.  
Tab. 5 - Corrections (°C) values used to improve predicted maximum temperatures in each zone.



**Fig. 7** - Boxplot degli scarti tra THI massimo giornaliero previsto e misurato (in °C) del set di dati analizzato per ognuna delle zone di allertamento.

Fig. 7 - Highest daily THI predicted and THI measured differences (in °C) for each warning zone.

previsione abbia un comportamento assai simile a quello reale, anche se ad uno sguardo più attento (figura 10) le zone 2a, 2b, 2c e 4b hanno una correlazione tra loro più forte di quella osservata (figura 9), mentre la 3b mostra una correlazione un po' più debole rispetto al misurato.

L'aspetto da evidenziare, però, è che sia le misure di stazione sia i valori previsti dal modello hanno un comportamento assai simile, per cui si ritiene sensato applicare lo stesso criterio di correzione anche nelle zone 2c e 4b, utilizzando la mediana degli scarti.

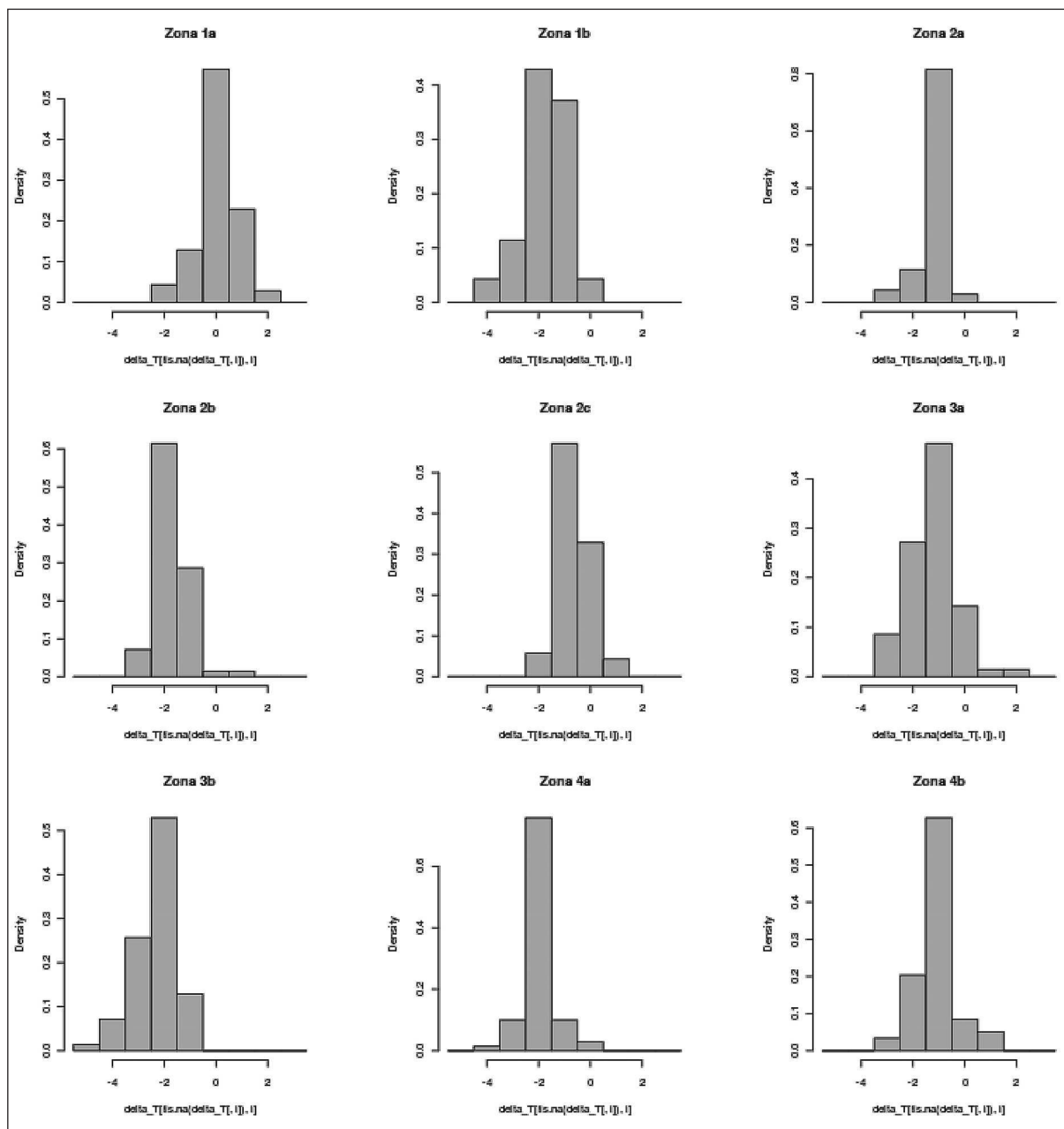
## 9. VERIFICA DEL METODO

Per valutare la bontà del metodo (ricerca punto termicamente svantaggiato + correzione del dato + superamento o meno delle soglie) si è fatto ricorso alle tabelle di contingenza (Wilks, 2006).

La tabella utilizzata ha la struttura illustrata in figura 11. I casi di tipo A sono quelli per cui l'evento previsto si è poi effettivamente osservato, nel caso B l'evento previsto non è stato osservato (*falso allarme*), di tipo C sono i casi di *mancato allarme* (evento non previsto, ma osservato) ed infine gli eventi non attesi e che non si sono verificati vanno a far parte del gruppo D.

Una volta classificati gli eventi è possibile costruire, dalle risultanze delle tabelle di contingenza, degli indi-





**Fig. 8** - Istogrammi degli scarti (in °C) tra il THI massimo giornaliero previsto e quello misurato.  
*Fig. 8 - Highest daily THI predicted and measured differences (in °C) histograms.*

catori che rendono conto della bontà e della capacità previsionale, del metodo di ricerca e stima delle temperature e dei THI massimi.

Gli indicatori utilizzati sono:

*Probability of detection (POD)*

$$POD = \frac{A}{A+C}$$

tale indicatore stima la frazione degli eventi osservati che sono stati correttamente previsti. Ignora i falsi allarmi ed è un buono stimatore per eventi rari.

*False Alarm Ratio (FAR)*

$$FAR = \frac{B}{A+B}$$

tale indicatore stima i falsi allarmi, ignora i mancati allarmi. Deve essere utilizzato insieme al *POD* per ottenere deduzioni complessive.

*Miss Alarm Rate (MAR)*

$$MAR = \frac{C}{A+C}$$

	Zona 1a	Zona 1b	Zona 2a
Min	-1,8	-3,6	-3,3
1stQ	-0,3	-2,0	-1,4
Mediana	0,15	-1,5	-1,1
Media	0,14	-1,65	-1,18
3rdQ	0,67	-1,1	-0,9
Max	2,5	-0,2	-0,2
Dev.St.	0,82	0,79	0,51
CV	5,8	0,47	0,43
	Zona 2b	Zona 2c	Zona 3a
Min	-3,3	-2,4	-3,4
1stQ	-2,0	-1,0	-1,67
Mediana	-1,65	-0,65	-1,15
Media	-1,65	-0,59	-1,21
3rdQ	-1,4	-0,3	-0,8
Max	1,0	1,1	1,8
Dev.St.	0,61	0,61	0,93
CV	0,37	1,03	0,77
	Zona 3b	Zona 4a	Zona 4b
Min	-4,5	-3,8	-3,0
1stQ	-2,8	-2,2	-1,4
Mediana	-2,2	-1,9	-1,0
Media	-2,3	-1,9	-1,01
3rdQ	-1,82	-1,6	-0,7
Max	-0,8	0,0	1,0
Dev.St.	0,77	0,56	0,75
CV	0,33	0,30	0,74

**Tab. 6** - Statistiche principali del set di dati analizzato (scarti del *THI* previsto meno osservato in °C): valore minimo (min), primo quartile (1stQ), Mediana, Media, terzo quartile (3rdQ) valore massimo (Max) Deviazione standard (Dev.St) e Coefficiente di variazione (CV).

*Tab. 6 - Statistical summary of THI differences (predicted vs. observed in °C) data set: minimum value (min), first quartile (1stQ), Median, Mean, third quartile (3rdQ), maximum value (max), standard deviation (Dev.St) and variation coefficient (CV).*

tale indicatore stima la percentuale di mancati allarmi, ignora i falsi allarmi. Usato insieme a *POD* e *FAR* consente di dare una valutazione più completa delle previsioni.

*Bias (BIAS)*

$$BIAS = \frac{A+B}{A+C}$$

tale indicatore da un lato stima il rapporto della frequenza con cui viene previsto l'evento, rispetto alla

frequenza con cui viene osservato e dall'altro indica se il sistema previsionale tende a prevedere poco (*BIAS* < 1) o troppo (*BIAS* > 1) l'evento. Il *BIAS* stima solo le frequenze relative, non la bontà della previsione rispetto all'osservato ed è indice di un possibile comportamento sistematico dei modelli.

Nel caso specifico è stato definito "evento" il superamento delle soglie  $T \geq 33^{\circ}\text{C}$  e  $THI \geq 27^{\circ}\text{C}$  e in base a ciò sono state compilate le tabelle di contingenza sia per i dati grezzi ottenuti dal modello meteorologico sia per i dati modificati applicando il correttore statistico calcolato precedentemente.

Lo scopo era quello di valutare le capacità previsionali del modello, corretto e non, e le performance, in caso di allertamento, del metodo a soglia termica e di *THI*.

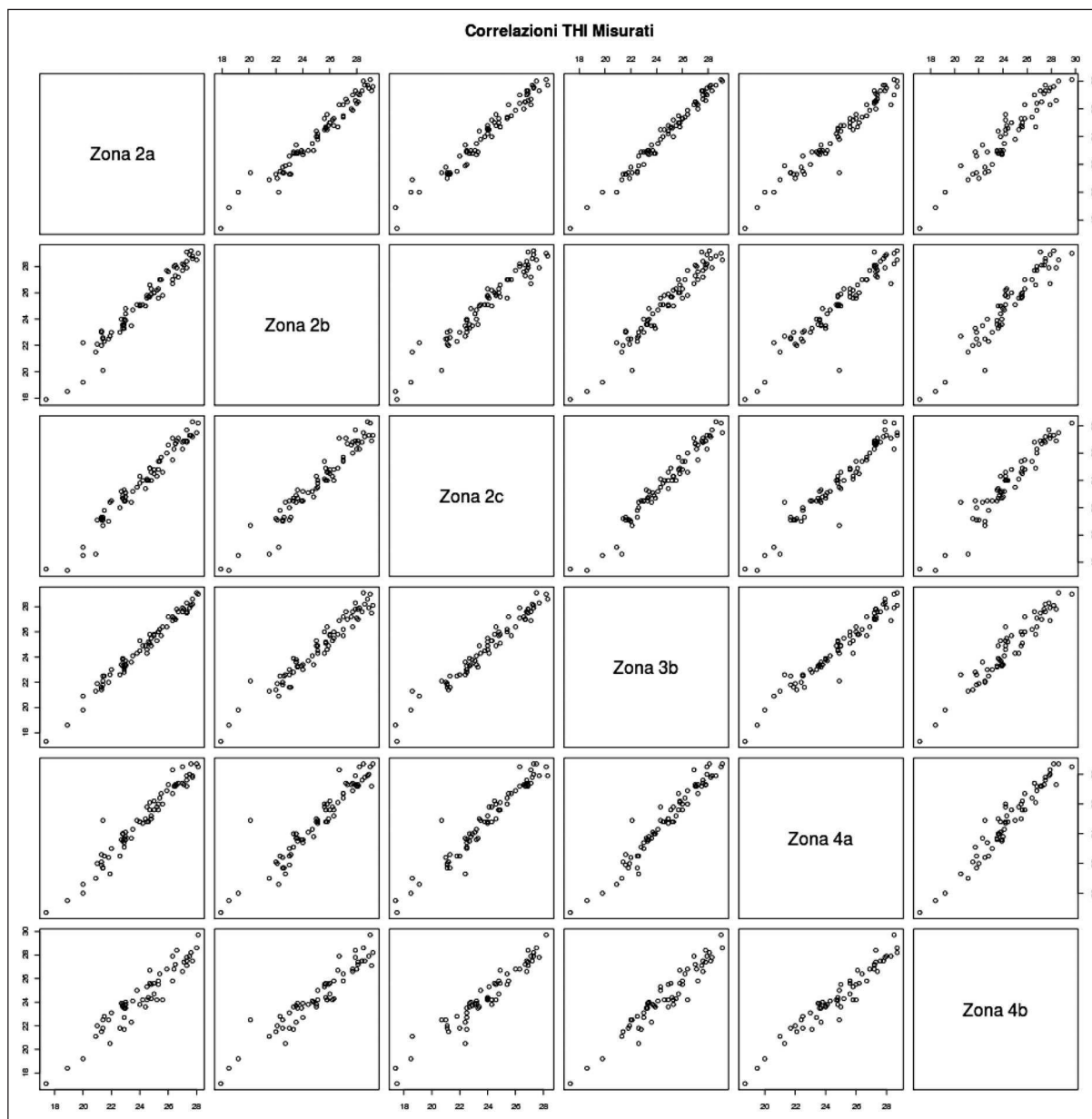
### 9.1 Temperature massime

A parte la zona di Gubbio (1a), la capacità di individuazione dell'evento risulta assai scadente per le previsioni non corrette. Applicando il semplice correttore statistico si è in grado di ottenere notevoli miglioramenti delle *performance* previsionali con la capacità di individuare ben il 95% degli eventi nella zona 2a (Perugia) (tabella 11).

Come già evidenziato in precedenza il modello meteorologico ha una tendenza sistematica a sottostimare le temperature in condizioni ASA. Questo fatto si ripercuote sulla possibilità di falsi allarmi, inesistenti nelle previsioni non corrette. Il comparire dei falsi allarmi (dell'ordine del 10% sul totale) è imputabile, in parte, alla sovrastima delle temperature in caso di irruzioni fredde, quando la simulazione tende a dare una temperatura più vicina alla realtà (tabella 12).

La stima dei mancati allarmi è un indice, si ritiene, più critico del falso allarme: mentre un falso allarme può infatti dar luogo ad una parziale lievitazione dei costi del sistema di allertamento ed emergenza, il mancato allarme può provocare danni assai più elevati all'intera comunità. La performance del modello *tout-court*, in tal senso, è disastrosa, mancando circa il 60-70% degli eventi di superamento soglia. La situazione migliora in modo assai rilevante se applichiamo la correzione (tabella 13).

Il *BIAS* conferma quanto già in sostanza dedotto dagli indici fin qui esaminati: la forte sottostima degli eventi nell'output del modello ed una *performance* molto buona nel modello corretto, con *BIAS* prossimo ad 1 su tutte le zone, anche se si evidenzia, ancora, una debole sottostima. Ciò, si ritiene, sia da attribuire a quelle fluttuazioni intrinseche nella grandezza temperatura, che il semplice correttore utilizzato non riesce pienamente a compensare (tabella 14).



**Fig. 9** - Grafici di correlazione del *THI* misurato nelle zone 2c e 4c con le zone limitrofe.  
*Fig. 9* - Correlation plots for measured *THI* in zones 2c and 4c to nearest zones.

## 9.2 Indice *THI*

Il *POD* riflette il comportamento già evidenziato precedentemente (tabella 15). Da notare lo 0,09 della zona 4a (Terni) che, con il correttore, diventa 1,00. In base a questo indice le capacità previsionali del *THI* sono sostanzialmente confrontabili col metodo delle temperature massime, ma nelle zone 3b e 4a il miglioramento risulta sensibilmente più elevato.

Per il *FAR* valgono le stesse considerazioni fatte in precedenza. Il tasso di falsi allarmi corretto risulta un po' più elevato rispetto all'altro metodo, eccetto la zona 3a

per cui si passa dal 29% col primo metodo al 18% con il *THI* (tabella 16).

I mancati allarmi sono diminuiti eccetto in 3 zone in cui sono leggermente più alti (di circa il 5%). Potrebbe essere un fatto negativo, ma in questa sede si può evidenziare che nel caso del *THI* si tratta di oscillazioni dell'ordine del decimo di grado che potrebbero essere agevolmente corrette in fase decisionale (tabella 17).

Il *BIAS* è su valori molto prossimi ad 1 con una leggera sovrastima solo nelle zone 2b e 4a, ma con valori decisamente migliori rispetto al metodo delle temperature (tabella 18).

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
Giorni	31-mag	31-mag	31-mag	31-mag	31-mag	3-giu	31-mag	28-mag	27-mag
	7-giu	2-giu	11-giu	3-giu	2-giu	16-giu	2-giu	31-mag	28-mag
	8-giu	13-giu	16-giu	11-giu	11-giu	20-giu	11-giu	12-giu	31-mag
	12-giu	21-giu	20-giu	12-giu	15-giu	21-giu	6-lug	24-giu	11-giu
	13-giu	22-giu	6-lug	22-giu	16-giu	22-giu	7-lug	6-lug	12-giu
	19-giu	23-giu	31-lug	23-giu	6-lug	6-lug	11-lug	7-lug	15-giu
	20-giu	28-giu		24-giu	30-lug	7-lug	23-lug	11-lug	6-lug
	7-lug	6-lug		6-lug	31-lug	8-lug	25-lug	19-lug	8-lug
	8-lug	7-lug		30-lug		19-lug	31-lug	30-lug	19-lug
	11-lug	17-lug				26-lug			
	28-lug	19-lug				29-lug			
	31-lug	25-lug				30-lug			
		30-lug				31-lug			
		31-lug							

**Tab. 7** - Giornate escluse dalle statistiche del THI.

*Tab. 7 - THI outliers' dates, not used in statistics.*

	Zona 1a	Zona 1b	Zona 2a
Min	-1,1	-2,2	-1,7
1stQ	-0,2	-1,7	-1,4
Mediana	0,05	-1,5	-1,1
Media	0,11	-1,43	-1,1
3rdQ	0,5	-1,1	-0,9
Max	1,1	-0,5	-0,2
Dev.St.	0,54	0,42	0,31
CV	4,63	0,30	0,28
	Zona 2b	Zona 2c	Zona 3a
Min	-2,5	-1,4	-2,2
1stQ	-2,0	-0,9	-1,5
Mediana	-1,6	-0,65	-1,1
Media	-1,66	-0,59	-1,14
3rdQ	-1,4	-0,32	-0,9
Max	-0,7	0,7	0,1
Dev.St.	0,37	0,43	0,54
CV	0,22	0,74	0,47
	Zona 3b	Zona 4a	Zona 4b
Min	-3,2	-2,6	-1,8
1stQ	-2,6	-2,1	-1,3
Mediana	-2,2	-1,9	-1,0
Media	-2,17	-1,88	-1,05
3rdQ	-1,8	-1,6	-0,72
Max	-0,8	-1,2	-0,3
Dev.St.	0,58	0,32	0,42
CV	0,26	0,17	0,39

## 10. CONCLUSIONI

Questo lavoro si è posto l'obiettivo di fornire stime attendibili delle temperature in aree ben definite della Regione Umbria al fine di ottimizzare l'emissione di allerte in caso di ondate di calore.

Il Centro Funzionale Decentrato (CFD) della Regione, come soggetto di supporto alle decisioni per il Sistema di Protezione Civile, dal 2007 fornisce tabelle sintetiche contenenti valori estrapolati dall'output del modello di previsione COSMO/LAMI.

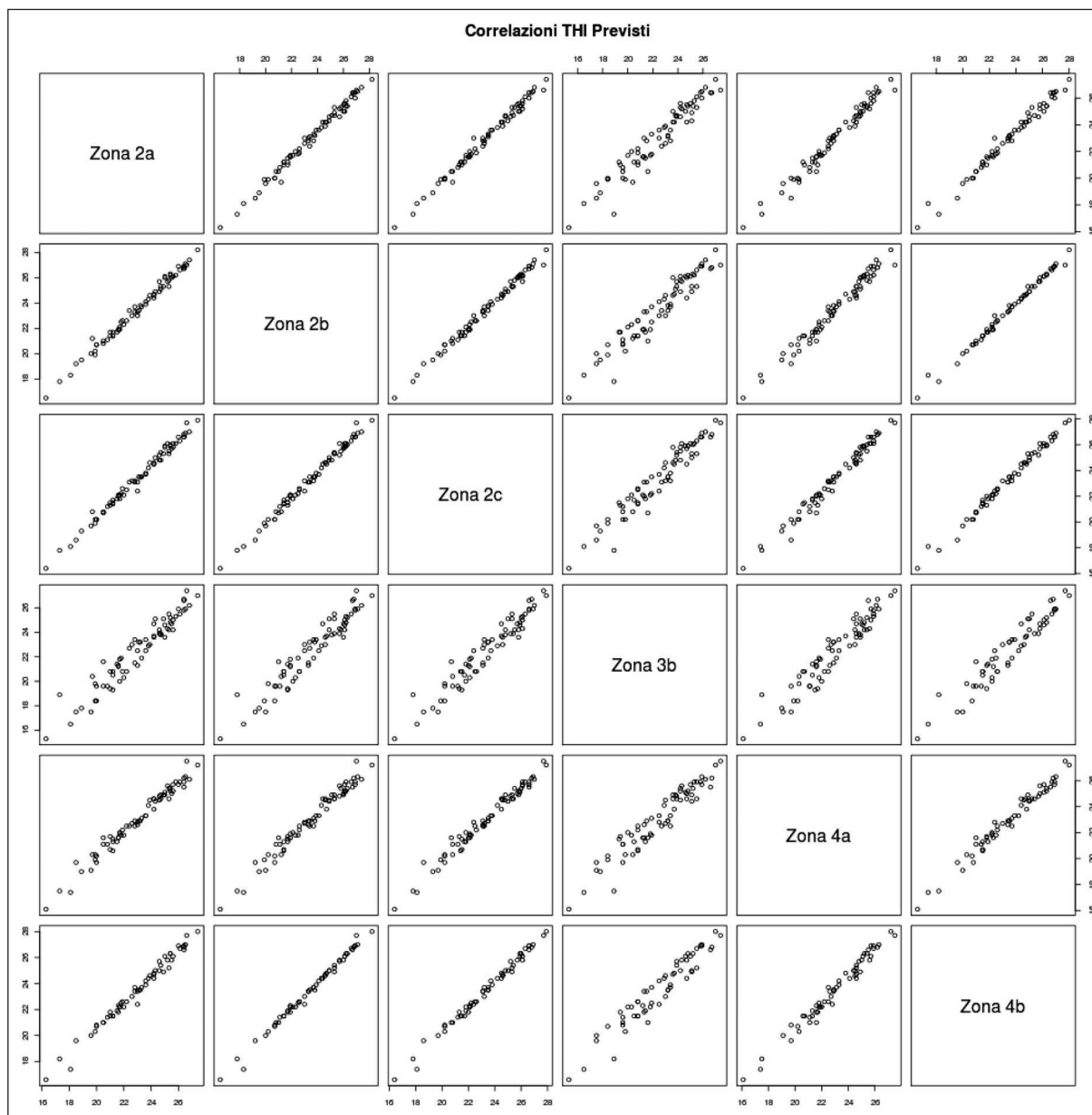
L'obiettivo principale non è quello della verifica del metodo a soglia, essendo questo un problema di epidemiologia e statistica medica (discipline deputate a studiare le correlazioni tra forzanti ambientali e risposta fisiologica). La soglia di 33 °C per le temperature massime è stata, ad oggi, adottata come riferimento procedurale della Regione Umbria e la soglia di 27 per il THI massimo è stata ricavata dalla letteratura corrente (Matzarakis and Mayer, 1991).

Ci si è prefissi, principalmente, lo studio del modello COSMO-ME in condizioni ASA, valutandone le capacità previsionali del fenomeno in sé e l'accuratezza nella determinazione della temperatura massima del THI massimo in ognuna delle zone di allerta sanitaria.

L'originalità del metodo consiste, sostanzialmente, nella ricerca del punto termicamente più svantaggiato all'interno di ciascuna zona di allertamento della Regione Umbria.

**Tab. 8** - Statistiche principali del set di dati degli scarti del THI previsto meno osservato (in °C) dopo l'eliminazione degli outliers: valore minimo (min), primo quartile (1stQ), Mediana, Media, terzo quartile (3rdQ) valore massimo (Max) Deviazione standard (Dev.St) e Coefficiente di variazione (CV).

*Tab. 8 - Statistical summary of THI differences (predicted vs. observed, in °C) dataset after outliers elimination: minimum value (min), first quartile (1stQ), Median, Mean, third quartile (3rdQ), maximum value (max), standard deviation (Dev.St) and variation coefficient (CV).*



**Fig. 10** - Grafici di correlazione del THI previsto nelle zone 2c e 4c con le zone limitrofe.  
*Fig. 10 - Correlation plots for predicted THI in zones 2c and 4c to nearest zones.*

In base alle analisi statistiche effettuate si è evidenziata una certa sistematicità del modello COSMO nel sotto-stimare le temperature massime in condizioni ASA, mentre l'errore risultava più contenuto in situazioni con temperature più basse o con dinamica più vivace. Per ottenere una stima corretta del comportamento in condizioni ASA, in fase di calibrazione del metodo, sono stati considerati solo i giorni in cui era presente un'ondata di calore.

Per le temperature massime, eccetto la zona di Gubbio, sono stati riscontrati scarti rispetto al misurato dell'ordine di 3-4 °C con dei CV di circa 0.2-0.3. Nella zona

di Gubbio (1a) i CV perdono di significato a causa del basso valor medio degli scarti (-0.43).

Un CV relativamente piccolo, unitamente allo studio delle distribuzioni degli scarti (che sono risultate abba-

Zona	1a	2b	3a
Differenza	-0.10	0.05	0.05

**Tab 9** - Differenze tra le mediane degli scarti del THI con e senza outliers.  
*Tab 9 - Gaps between THI difference medians, with and without outliers.*

		OSSERVATO	
		SI	NO
PREVISTO	SI	A	B
	NO	C	D

**Fig. 11** - Tabella di contingenza per eventi previsti vs. osservati.

*Fig. 11 - Contingency table for predicted events vs observed.*

stanza simmetriche rispetto alla mediana) hanno confermato una sostanziale sistematicità dell'errore del modello, consentendo, così, di applicare un semplice correttore additivo alle previsioni.

Alla media degli scarti è stata preferita la mediana, stimatore statistico più robusto e sostanzialmente indipendente dalla forma della distribuzione degli scarti previsto-misurato.

Un procedimento analogo è stato applicato alle previsioni del *THI* ottenendo risultati simili.

Per valutare la bontà del metodo, consistente nella catena operativa che va dalla ricerca del valore massimo di temperatura o di *THI* all'interno di ogni zona all'applicazione dei correttori e l'allertamento per il superamento della soglia, si è fatto ricorso a tabelle di contingenza ed indicatori di *score*.

Risultato comune ad entrambi i metodi è il netto aumento delle capacità previsionali (*POD*) e la diminuzione, anche di un ordine di grandezza, dei mancati allarmi (*MAR*).

**Tab. 10** - Correttori adottati per migliorare la stima dei *THI* previsti per ogni singola zona.

*Tab. 10 - Corrections values used to improve predicted THI in each zone.*

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
vcorr	0.0	1.5	1.1	1.6	0.7	1.1	2.2	1.9	1.0

**Tab. 11** - *POD* e *POD* con correttore (*PODc*) per le temperature massime.

*Tab. 11 - Maximum temperatures *POD* and corrected *POD* (*PODc*).*

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
+B7	0,73	0,29	0,27	0,44	0,32	0,19	0,23	0,19	0,38
+B7	0,73	0,81	0,95	0,92	0,93	0,62	0,77	0,89	0,88

**Tab. 12** - *FAR* e *FAR* con correttore (*FARc*) per le temperature massime.

*Tab. 12 - Maximum temperatures *FAR* and corrected *FAR* (*FARc*).*

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
CDE	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CDE	0,11	0,06	0,09	0,12	0,04	0,29	0,13	0,11	0,00

**Tab. 13** - *MAR* e *MAR* con correttore (*MARc*) per le temperature massime.

*Tab. 13 - Maximum temperatures *MAR* and corrected *MAR* (*MARc*).*

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
MAR	0,27	0,71	0,73	0,56	0,68	0,81	0,77	0,81	0,62
MARc	0,27	0,19	0,05	0,08	0,07	0,38	0,23	0,11	0,12

**Tab. 14** - *BIAS* e *BIAS* con correttore (*BIASc*) per le temperature massime.

*Tab. 14 - Maximum temperatures *BIAS* and corrected *BIAS* (*BIASc*).*

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
BIAS	0,82	0,29	0,27	0,44	0,32	0,19	0,23	0,19	0,38
BIASc	0,82	0,86	1,05	1,04	0,96	0,88	0,88	1,00	0,88

**Tab. 15** - POD e POD con correttore (PODc) per il *THI*.Tab. 15 - *THI POD and corrected POD (PODc)*.

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
+B7	0,89	0,28	0,25	0,38	0,47	0,23	0,20	0,09	0,50
+B7	0,89	0,78	0,88	0,96	0,88	0,69	0,80	1,00	0,88

**Tab. 16** - FAR e FAR con correttore (FARc) per il *THI*.Tab. 16 - *THI FAR and corrected FAR (FARc)*.

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
CDE	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CDE	0,11	0,18	0,07	0,12	0,12	0,18	0,20	0,15	0,07

**Tab. 17** - MAR e MAR con correttore (MARc) per il *THI*.Tab. 17 - *THI MAR and corrected MAR (MARc)*.

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
MAR	0,11	0,72	0,75	0,62	0,53	0,77	0,80	0,91	0,50
MARc	0,11	0,22	0,12	0,04	0,12	0,31	0,20	0,00	0,12

**Tab. 18** - BIAS e BIAS con correttore (BIASc) per il *THI*.Tab. 18 - *THI BIAS and corrected BIAS (BIASc)*.

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
BIAS	1,00	0,28	0,25	0,38	0,47	0,23	0,20	0,09	0,50
BIASc	1,00	0,94	0,94	1,08	1,00	0,85	1,00	1,18	0,94

Per i falsi allarmi (*FAR*) la situazione peggiora con il correttore, ma ciò è facilmente interpretabile: prima della correzione i falsi allarmi sono praticamente nulli a causa, ovviamente, della continua sottostima delle previsioni; al contrario applicando il correttore a tutte le previsioni si hanno delle sovrastime nei casi non-ASA che entrano nel computo dei falsi allarmi: a parere degli scriventi questa situazione è assai meno pericolosa ed impattante che non un eccesso di mancati allarmi.

Dagli indicatori di *score* si può, inoltre, dedurre quanto segue:

- Non si evidenziano comportamenti marcatamente differenti tra il metodo delle temperature e quello del *THI*.
- Il metodo del *THI* ha capacità previsionali (*POD*) leggermente superiori.
- I falsi allarmi (*FAR*) sono leggermente inferiori col metodo della temperatura massima.
- Il *THI* induce, però, meno mancati allarmi (*MAR*).
- Il *BIAS* è sostanzialmente migliore col metodo del *THI*.

Quindi, sebbene non vi siano eclatanti differenze nelle *performace* dei due metodi, il metodo del *THI* sembra leggermente più efficiente sulla predicibilità e sui mancati allarmi. Esso dimostra inoltre una maggiore affidabilità in fase computazionale. Ciò è confortato dal fatto che i correttori applicati hanno valori assai inferiori ri-

spetto a quelli adottati per le temperature massime (mediamente 1.5 invece di 3 gradi). Questo induce a pensare che, in un certo senso, gli errori che il modello introduce sulla previsione di temperatura ed umidità vadano a compensarsi quando vengono inseriti nella formula del *THI* che restituisce già un valore molto prossimo alla realtà.

Il prodotto finale, messo a disposizione delle strutture competenti (Servizio Protezione Civile e Direzione Sanità della Regione Umbria) in questa fase di sperimentazione, è costituito da una serie di tabelle in cui vengono riportati valori previsti e previsti corretti delle temperature massime giornaliere e del *THI* massimo giornaliero. Nel prodotto sono presenti anche le tabelle per le temperature minime e per l'indice HUMIDEX che saranno oggetto di successivi studi.

Le tabelle vengono pubblicate su un'area riservata del sito istituzionale del Centro Funzionale ([www.cfumbria.it](http://www.cfumbria.it)) ogni giorno, in maniera totalmente automatica con aggiornamenti orari a partire dalle ore 10:15 (9:15 in ora solare) fino alle ore 13:15 (12:15 in ora solare). Ovviamente, come in tutte le procedure automatiche, le informazioni fornite devono essere opportunamente vagliate e valutate da personale esperto: a titolo di esempio in caso di flussi disturbati o irruzioni fredde (atlantiche o russe), le tabelle non corrette saranno in grado di dare informazioni più rispondenti alla realtà.

In conclusione, è stato presentato quanto recentemente messo in campo dal CFD della Regione Umbria nel supporto alle decisioni al sistema di allertamento per le ondate di calore, fornendo risultati sperimentali incoraggianti.

Ulteriori sviluppi, attualmente in fase di definizione, saranno l'estensione dell'analisi statistica degli scarti alle 48 e 72 ore di *forecast*, lo studio del comportamento delle temperature minime previste dal modello e lo studio di altri indici bioclimatici, con lo scopo di mettere a punto un sistema di allertamento efficace (emissione di allarmi tempestivi) ed efficiente (riduzione al minimo dei falsi e mancati allarmi).

### Ringraziamenti

Si ringrazia il Professor Luigi Mariani, dell'Università degli Studi di Milano, per i preziosi suggerimenti, la pazienza ed i consigli in fase di revisione del presente lavoro; la Dottoressa Francesca de' Donato (Dipartimento di Epidemiologia, ASL RM/E), l'Ing. Marco Stelluti (Centro Funzionale Regione Umbria), il Dottor Francesco Pasi (LaMMa), il Dottor Marco Vecchiocattivi (ARPA Umbria), la Dottoressa Stefania Tesini (ARPA-SIMN) e la Dottoressa Antonella Morgillo (ARPA-SIMN).

### Bibliografia

- Alduchov O.A., Eskridge R.E., 1996. Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure. *J. Appl. Meteor.*, 35: 601-609.
- Chambers J.M., Cleveland W.S., Kleiner B., Tukey P.A., 1983. *Graphical Methods for Data Analysis*. Wadsworth & Brooks/Cole.
- Conte M., Sorani R., Velletri S., 1994. Heat waves in Central Mediterranean, MEDALUS II Conference, Athens, 18-24 May, 1994.
- Conti S., Meli P., Minelli G., Solimini R., Toccaceli V., Vichi M., Beltrano C., Perini L., 2005. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy, *Environmental Research*, 98(3): 390-399.
- Eccel E., Ghielmi L., Granitto P., Barbiero R., Grazzini F., Cesari D., 2008. Tecniche di post-elaborazione di previsione di temperatura minima a confronto per un'area alpina. *Italian Journal of Agrometeorology*, 3: 38-44.
- Kyle W.J., 1994. The human bioclimate of Hong Kong, in: Brazdil R., Kolar M. (eds) *Proceedings of the Contemporary Climatology Conference*, Brno, TISK LITERA, Brno: 345-350.
- Lawrence M.G., 2005. The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86: 225-233.
- Mariani L., Sovrano Pangallo G., 2005. Approccio quantitativo all'analisi degli effetti urbani sul clima. *Italian Journal of Agrometeorology*, 5: 31-36.
- Masterson J.M., Richardson F.A., 1979. Humidex, a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. *CLI, Environment Canada, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario*, 45: 1-79.
- Matzarakis A., Mayer H., 1991. The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology. *Atmos. Environ.*, 25: 203-211.
- Michelozzi P., De' Donato F.K., Bargagli A.M., D'Ippoliti D., De Sario M., Marino C., Schifano P., Cappai G., Leone M., Kirchmayer U., Ventura M., Di Gennaro M., Leonardi M., Oleari F., De Martino A., Perucci C.A., 2010. Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 7: 2256-2273.
- McGill R., Tukey J.W., Larsen W.A., 1978. Variations of box plots. *The American Statistician*, 32: 12-16.
- Pirretti G., Scotto F., Selvini A., Zauli Sajani S., 2007. Il sistema di previsione del disagio bioclimatico in Emilia Romagna - Verifica funzionamento servizio-Estate 2005, Rapporto interno, ARPA Emilia Romagna: [http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/calore/Verifica\\_estate\\_2005.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/calore/Verifica_estate_2005.pdf).
- Scattler U., Montani A., (eds.), 2005. Operational implementations, COSMO Newsletter, n.5, Chapter 4.
- Tesini M.S., Cacciamani C., 2008. High resolution verification of COSMO-I7 2m temperature over Emilia-Romagna region. *COSMO Newsletter*, n.8: 45-56.
- Tesini M.S., 2010. Verifica delle previsioni modellistiche di temperatura, temperatura di rugiada e umidità relativa, comunicazione privata.
- Thom E.C., Bosen J.F., 1959. The discomfort index. *Weatherwise*, 12: 57-60.
- Unger J., 1999. Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *Int. J. Biometeorol*, 43: 139-144.
- Wilks D.S., 2006. *Statistical methods in the atmospheric sciences*, Academic Press.



# Attività di monitoraggio dei nutrienti nelle acque e nei suoli pugliesi a supporto delle strategie gestionali per la riduzione e razionalizzazione del consumo dei fertilizzanti

Valeria Ancona<sup>1\*</sup>, Vito Uricchio<sup>1</sup>, Nicola Lopez<sup>1</sup>, Giuseppe Caniglia<sup>2</sup>, Salvatore Ripa<sup>2</sup>

**Riassunto:** L'assistenza al mondo agricolo scientificamente supportata dalla disponibilità di dati analitici riferiti alle matrici suolo agrario ed acque ad uso irriguo, integrata con le informazioni agro-meteorologiche, costituisce l'elemento fondante per una gestione agricola sostenibile sia sul piano ambientale che economico. In tale direzione l'Associazione Regionale dei Consorzi di Difesa della Puglia (ASSOCODIPUGLIA) con la collaborazione del CNR-IRSA, ha svolto nel corso degli ultimi anni, azioni progettuali finalizzate al supporto tecnico-scientifico, all'informazione ed all'aggiornamento delle conoscenze ed all'assistenza agli operatori agricoli, con l'obiettivo di sostenere e favorire la diffusione di pratiche agricole eco-compatibili, basate sull'uso razionale delle risorse agro-ambientali e sulla riduzione di input chimici ed energetici, nel rispetto dell'ambiente e della salute dei consumatori. Nello specifico, sono state realizzate attività di monitoraggio dei nutrienti (nitrati nelle acque sotterranee e fosfati nei suoli) i cui risultati hanno rivelato, per i primi, la presenza di situazioni di criticità, con particolare riferimento alle aree della regione maggiormente interessate da produzioni agricole di tipo intensivo; per i secondi, invece, è stata evidenziata una concentrazione inferiore a quella osservata nelle campagne di monitoraggio precedenti. Entrambi i monitoraggi sono risultati utili per indirizzare gli operatori agricoli verso una gestione eco-sostenibile delle risorse ambientali

**Parole chiave:** monitoraggio, nitrati, fosfati, riduzione input chimici.

**Abstract:** Technical support in agricultural field, supported by availability of analytical data referred to soil and irrigation water resources, integrated with meteorological information, represents the fundamental element for a sustainable agricultural management, both on environmental and economic level. In this direction Regional Association of Apulia Defence Consortium (ASSOCODIPUGLIA) in collaboration with Water Research Institute of National Research Council (IRSA-CNR), in the last years, has planned actions aimed to give technical scientific support, to inform and to promote the knowledge updating for agricultural workers; They also sustain and encourage the diffusion of eco-sustainable agricultural practices, based on rational use of natural resources, and on reduction of chemical and energetically input, in respect of the Environment and consumers health. Several nutrients monitoring activities have been conducted (nitrates in groundwater and phosphate in soil samples) whose results have demonstrated, for the first pollutant, the presence of critical situations on regional territory, with regards to those areas which are mainly affected by intensive crop productions; for the second ones, phosphate concentration was due to be minor that the one observed in previous monitoring campaign. Both these activities resulted useful to direct farmers towards a sustainable management of natural resources.

**Key words:** monitoring, nitrates, phosphate, chemical input reduction

## INTRODUZIONE

Nel corso dell'ultimo decennio l'Associazione Regionale dei Consorzi di Difesa della Puglia (ASSOCODIPUGLIA) ha svolto, in collaborazione con l'Istituto di Ricerca Sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche e l'Università degli Studi di Bari, attività finalizzate all'erogazione di servizi specialistici in materia di agrometeorologia, lotta integrata e assistenza agronomica alle colture agrarie, e di informazioni ambientali necessarie alle scelte decisionali e di programmazione. L'utilizzo

indiscriminato di fertilizzanti ha promosso l'incremento delle produzioni agricole ma al contempo, ha creato alterazioni della qualità dei suoli e delle acque. L'accumulo di nutrienti, quali nitrati e fosfati, rispettivamente nelle acque sotterranee e nei suoli, possono causare seri problemi di eutrofizzazione (notevole proliferazione di alghe e piante acquatiche), che sono persistenti ed il cui processo di recupero è lento (Carpenter *et al.*, 1998). L'inquinamento delle acque di falda in aree ad intensa attività agricola è, infatti, una conseguenza delle pratiche agricole che impiegano larghe quantità di fertilizzanti e pesticidi; l'impatto di tali pratiche di gestione sulla contaminazione delle acque sotterranee in Europa è stato ampiamente dimostrato da

\* Corresponding author: valeria.ancona@cnr.it

<sup>1</sup> Istituto di Ricerca Sulle Acque del CNR,

<sup>2</sup> Associazione Regionale Consorzi di Difesa della Puglia

Gustafson (1983), Andersen e Kristiansen (1984), Strebel *et al.* (1989), Bernhard *et al.* (1992) e Bijay-Singh *et al.* (1995) tra gli altri.

I nitrati sono considerati dei contaminanti delle acque di falda, la cui particolare rilevanza è dovuta alla loro larga diffusione negli acquiferi e agli impatti negativi che essi hanno sulla salute umana e sull'ambiente (Masetti *et al.*, 2008). Il nitrato è un composto solubile, possiede carica negativa, pertanto presenta un'elevata mobilità e potenziale perdita dalla zona insatura per lisciviazione (DeSimone e Howes, 1998; Chowdary *et al.*, 2005). Diversi studi hanno dimostrato un'elevata correlazione ed associazione tra l'attività agricola e la concentrazione dei nitrati nelle acque sotterranee (Ling and El-Kadi, 1998; Joosten *et al.*, 1998; Harter *et al.*, 2002; Shrestha and Ladha, 2002; Jordan e Smith, 2005; Dunn *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2005). Per quanto concerne i fosfati, pur non essendo mobili, un loro accumulo nei suoli aumenta il loro potenziale trasferimento in soluzione ed eventualmente nelle acque superficiali. Inoltre, la loro presenza aumenta il rischio eutrofizzazione mettendo a rischio l'uso in altri settori delle acque contaminate (Carpenter *et al.*, 1998).

Nel presente lavoro sono presentati i risultati relativi alle attività di monitoraggio di: (a) nitrati nelle acque ad uso irriguo in Puglia, condotte nell'ambito del "Piano di ampliamento della rete agrometeorologica regionale" per il periodo 2006-2007; (b) fosfati nei suoli pugliesi, realizzate nell'ambito del "Piano Agrometeorologico Regionale - Terza Fase 2009". Tale tipologia di attività consente di fornire indicazioni sullo stato di qualità delle risorse idriche e dei suoli agrari e di valutarne l'impatto delle attività agricole; inoltre, le informazioni derivanti da tali attività possono assumere valenza strategica ai fini del supporto alle scelte tecniche di gestione del territorio, che mirino non solo al raggiungimento di maggiore efficienza economica (aumento della produttività e diminuzione dei costi) ma anche, attraverso la razionalizzazione del consumo di fertilizzanti, alla riduzione degli input chimici ed energetici nell'ambiente.

## MATERIALI E METODI

### Campioni di acque sotterranee

Sono stati analizzati campioni di acqua irrigua provenienti da 473 pozzi, appartenenti ad aziende agricole rappresentative (per distribuzione territoriale, tipologie di colture e pratiche agronomiche) della complessa realtà produttiva regionale. Le analisi chimico-fisiche sono state eseguite secondo i "Metodi ufficiali di analisi delle acque per

uso agricolo e zootecnico" (D.M. del 23/03/2000) e secondo la normativa in materia di tutela delle risorse idriche sia nazionale (D.Lgs. 152/99; Dir. 2000/60/CE; D.Lgs. 152/06, ecc.) che regionale (D.G.R. N. 2036/2005 della Regione Puglia). Ciascun campione è stato analizzato in triplicato ed è stata successivamente calcolata la deviazione standard.

### Campioni di suoli

Sono stati prelevati 60 campioni di suolo (12 per ciascuna provincia della Regione Puglia), campionati per azienda e per area omogenea e sottoposti ad analisi dei fosfati. La determinazione del fosforo assimilabile è stata realizzata con il Metodo Olsen secondo le indicazioni fornite dai "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo - D.M. del 13/09/1999". È stata effettuata la valutazione agronomica dei valori di concentrazione del fosforo assimilabile sulla base

**Tab. 1** - Valutazione agronomica del fosforo nei suoli sulla base dei valori di fosforo assimilabile determinato con il Metodo Olsen (Regione Campania, 2000).

*Tab. 1 - Agricultural evaluation of soil phosphorous based on assimilable phosphorous determination by Olsen method (Regione Campania, 2000).*

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [mg/kg]	Valutazione
Inferiore a 34	Molto basso
Tra 34 e 69	Basso
Tra 69 e 103	Medio
Tra 103 e 160	Alto
Superiore a 160	Molto alto

**Tab. 2** - Acque sotterranee pugliesi contaminate da nitrati nell'anno 2006 ([NO<sub>3</sub>] superiore al valore soglia di 50 mg/l).

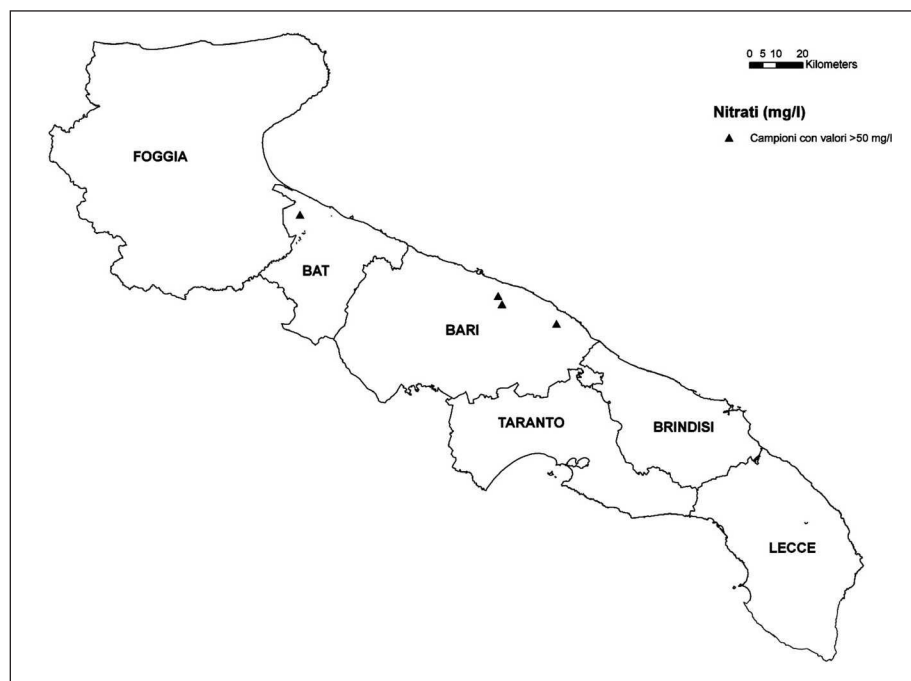
*Tab. 2 - Apulian groundwaters polluted by nitrates on 2006 ([NO<sub>3</sub>] major than legal limit of 50 mg/l).*

Località	Concentrazione nitrati (mg/L)
Trinitapoli (FG)	63
Noicattaro (BA)	59,7
Capurso (BA)	93,3
Polignano a Mare (BA)	110,9

**Tab. 3** - Acque sotterranee pugliesi contaminate da nitrati nell'anno 2007 ([NO<sub>3</sub>] superiore al valore soglia di 50 mg/l).

*Tab. 3 - Apulian groundwaters polluted by nitrates on 2007 ([NO<sub>3</sub>] major than legal limit (50 mg/l).*

Località	Concentrazione nitrati (mg/L)
Monopoli (BA)	53,1
Polignano a Mare (BA)	60,3
Binetto (BA)	89,3



**Fig. 1** - Carta della distribuzione dei valori di  $\text{NO}_3$  superiori a 50 mg/l sul territorio pugliese (periodo primaverile-estivo 2006).  
*Fig. 1 - Map of  $\text{NO}_3$  value distribution on Apulia territory on spring-summer 2006.*

delle indicazioni (tabella 1) fornite dalla “Guida alla concimazione” (Regione Campania, 2000).

## RISULTATI

### Monitoraggio nitrati nelle acque sotterranee

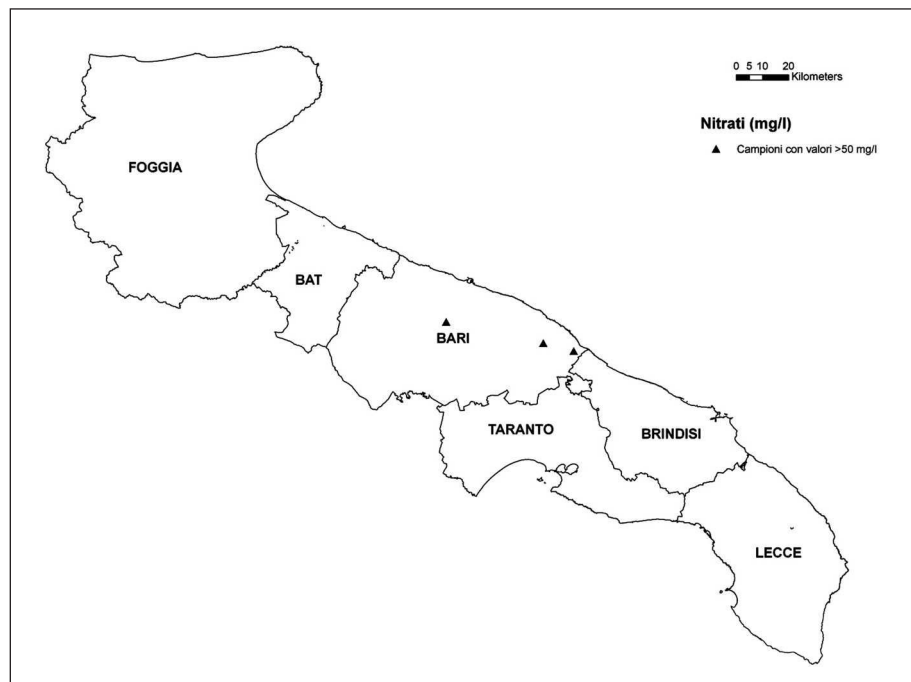
La campagna di monitoraggio condotta nel periodo primaverile estivo dell'anno 2006 ha rivelato la presenza di una situazione di criticità nel territorio foggiano, relativamente all'agro di Trinitapoli (concentrazione di nitrati pari a 63 mg/l), e di diffusa criticità nel territorio della provincia di Bari (Fig. 1). Le analisi condotte nell'anno successivo hanno evidenziato che la zona maggiormente interessata dal superamento del limite normativo (50 mg/l) è esclusivamente localizzata nel territorio della provincia di Bari (nell'agro di Binetto, Polignano a Mare e di Monopoli, Fig. 2). Il riscontro di isolati siti caratterizzati da un sovraccarico di sostanze azotate sostiene la presenza di fenomeni di inquinamento di tipo diffuso delle acque, riconducibili in alcuni casi, all'impatto delle attività agricole (Novotny and Olem, 1993). Nello specifico, l'esistenza di tali situazioni di degrado è maggiormente evidente nelle aree interessate da produzioni agricole di tipo intensivo, come confermato anche dalla designazione delle zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola della Regione Puglia (Deliberazione della Giunta Regionale n°2036/2005), realizzata in adempimento alla direttiva 676/91/CE. Pertanto, le concentrazioni di nitrati superanti il valore soglia di 50 mg/l potrebbero essere il risultato della lisciviazione di

fertilizzanti azotati distribuiti in quantità superiori rispetto alle reali esigenze nutritive delle colture agricole (Piva, 2004), con la loro conseguente mobilitazione verso il sottosuolo e la falda acquifera. In tal senso, l'effettiva divulgazione delle informazioni dei risultati del monitoraggio realizzato nell'anno 2006, ha consentito di attuare una gestione più razionale del territorio e di ottenere di conseguenza una riduzione della contaminazione da nutrienti azotati di origine agricola, come evidenziato dai valori espressi in tabella 3.

### Monitoraggio fosfati nei suoli

Le analisi condotte hanno permesso di evidenziare una situazione molto diversa da quella registrata nel precedente periodo di analisi (2008) che indicava un'elevata dotazione fosfatica per i suoli pugliesi indagati (dati non mostrati), in particolare per le province di Bari, Foggia e Brindisi, in cui è stato registrato frequentemente un alto valore di  $\text{P}_2\text{O}_5$  assimilabile (> 103 mg/kg).

Il monitoraggio effettuato con la campagna 2009 ha rivelato per i suoli indagati una dotazione fosfatica prevalentemente bassa, (valore di  $\text{P}_2\text{O}_5$  < a 34 mg/kg), specialmente nelle province di Brindisi, Lecce, Taranto e Foggia, con eccezione di alcuni suoli della provincia di Bari (Fig. 3). In questi campioni, sono stati riscontrati alti valori di  $\text{P}_2\text{O}_5$  superiori al valore di 160 mg/kg relativo ad una dotazione fosfatica dei suoli “molto alta”. I risultati relativi ai suoli della provincia di Bari hanno evidenziato una diffusa “bassa” dotazione

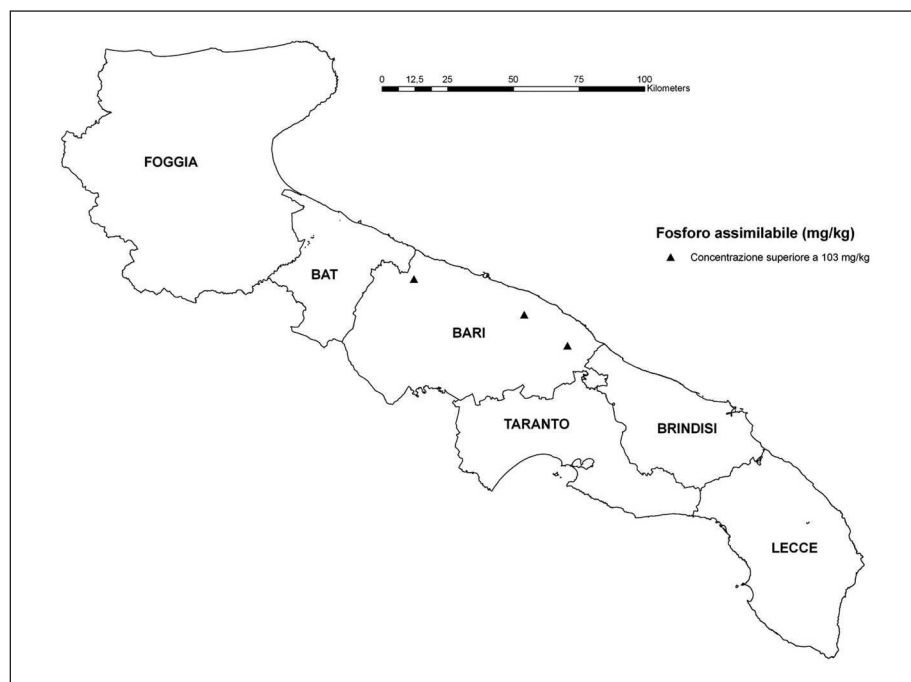


**Fig. 2** - Carta della distribuzione dei valori di  $\text{NO}_3$  superiori a 50 mg/l sul territorio regionale (periodo primaverile-estivo 2007).

*Fig. 2 - Map of  $\text{NO}_3$  value distribution on Apulia territory on spring-summer 2007.*

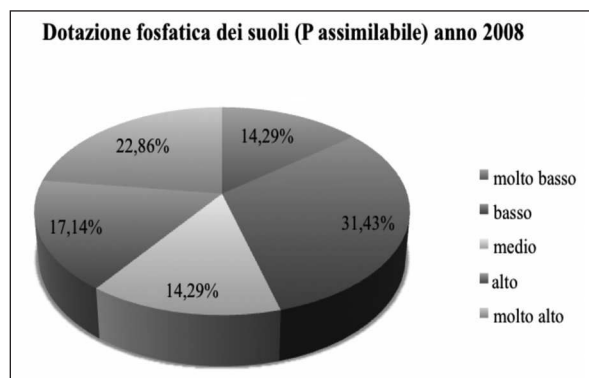
fosfatica dei suoli e nello stesso tempo, la presenza di valori anche elevatissimi di  $\text{P}_2\text{O}_5$  (348 e 1112 mg/kg) che possono essere imputati ad un uso eccessivo di fertilizzanti fosfatici che ha causato accumuli di tale nutriente. Liu *et al.* (2007), hanno evidenziato che l'eccessiva concimazione fosfatica sia di natura inorganica che minerale incrementa il grado di saturazione dell'assorbimento del fosforo da parte del suolo, che conduce

ad una potenziale perdita del fosforo per lisciviazione nel suolo così come suggerito anche da Sheng *et al.*, 2004. I grafici delle figure 4 e 5 riportano la distribuzione delle classi di valori di fosforo assimilabile per i suoli della provincia di Bari (analisi 2008 e 2009). I risultati relativi alla campagna di monitoraggio 2008 hanno evidenziato la presenza di un'elevata dotazione fosfatica dei suoli indagati (il 17,14% del totale dei campioni



**Fig. 3** - Carta della distribuzione dei valori di fosforo assimilabile ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) superiori a 160 mg/l sul territorio pugliese (campagna di monitoraggio 2009).

*Fig. 3 - Map of  $\text{P}_2\text{O}_5$  values distribution on Apulia territory on 2009.*



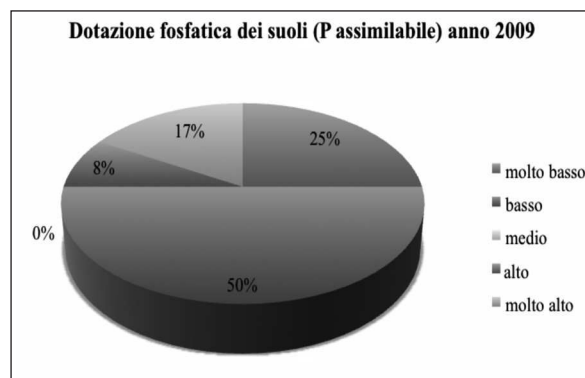
**Fig. 4** - Distribuzione delle classi di valori di  $P_2O_5$  relativi ai suoli della provincia di Bari per la campagna di monitoraggio 2008.

*Fig. 4 - Class distribution values of  $P_2O_5$  in soils of Bari Province on 2008 monitoring.*

ha registrato valore di  $P_2O_5$  superiore a 103 mg/kg ed il 22,86% superiore a 160 mg/kg). Nell'anno successivo è stato osservato, invece, un andamento opposto; predomina, infatti, una dotazione bassa di fosfati (il 75% dei campioni di suoli esaminati). Pertanto, si evince che le attività di concimazione fosfatica, condotte alla luce delle risultanze osservate con le analisi del periodo 2008, sono state realizzate in maniera razionale, nell'ottica di una riduzione degli input chimici nell'ambiente. La diffusione dei risultati di monitoraggio, realizzata mediante le attività ed i mezzi di divulgazione (sito web "www.agrometeopuglia.it") ad opera dell'Associazione Regionale dei Consorzi di Difesa della Puglia (ASSOCODIPUGLIA), ha promosso, infatti, presso gli operatori agricoli, la riduzione dei fertilizzanti fosfatici sul territorio con conseguente abbassamento dei valori di fosfati nei suoli esaminati.

## CONCLUSIONI

Le attività di monitoraggio dei nutrienti rappresentano un valido strumento per la comprensione dei possibili fenomeni di inquinamento diffuso delle acque di falda ed al contempo forniscono informazioni utili alla comprensione dello stato di qualità dei suoli agrari indagati. Tali attività consentono di promuovere l'individuazione di strategie atte a mitigare l'eventuale presenza di processi degradativi del territorio e di proporre azioni per garantire la tutela e la conservazione delle risorse acqua e suolo, indispensabili per la realizzazione delle produzioni agrarie. In tal senso, le informazioni derivanti dalle campagne di monitoraggio dei nutrienti possono consentire di individuare e promuovere una razionale somministrazione di fertilizzanti (azotati e fosfatici) in funzione delle effettive necessità colturali,



**Fig. 5** - Distribuzione delle classi di valori di  $P_2O_5$  relativi ai suoli della provincia di Bari per la campagna di monitoraggio 2009.

*Fig. 5 - Class distribution values of  $P_2O_5$  in soils of Bari Province on 2009 monitoring.*

risultando vantaggiose sia in termini di una riduzione dei costi di gestione, sia in riferimento ad un incremento della qualità delle produzioni ed alla conquista di una maggiore sostenibilità ambientale.

## Bibliografia

- Andersen L.J., Kristiansen H., 1984. Nitrate in groundwater and surface water related to land use in the Karup basin, Denmark. *Environ Geol* 1984, 5: 207-212.
- Bernhard C., Carbiener R., Cloots A.R., Froehlicher R., Schenk C., Zilliox L., 1992. Nitrate pollution of groundwater in the Alsatian plain (France). A multidisciplinary study of an agricultural area: the central ried of the Ill river. *Environ Geol Water. Sci*, 20: 125-137.
- Bijay-Singh, Yadvinder-Singh, Sekhon G.S., 1995. Fertilizer-N use efficiency and nitrate pollution of groundwater in developing countries. *J Contam Hydrol*, 20: 167-184.
- Carpenter S.R., Caraco N.F., Correll D.L., Howarth R.W., Sharpley A.N. & Smith V.H., 1998. Non point pollution of surface waters with phosphorous and nitrogen. *Ecological Applications*, 8: 559-568.
- Chowdary V.M., Rao N.H., Sarma P.B.S., 2005. Decision support framework for assessment of non-point-source pollution of groundwater in large irrigation projects. *Agric Water Manag*, 75: 194-225.
- DeSimone L., Howes B., 1998. N transport and transformations in shallow aquifer receiving wastewater discharge: a mass balance approach. *Water Resour Res*; 34(2): 2171-85.
- Decreto del Ministro delle Politiche Agricole e Forestali del 23 marzo 2000 n. 10342 - "Approvazione ed ufficializzazione dei metodi di

- analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico”.
- Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n. 152. “Testo aggiornato del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, recante: “Disposizioni sulla tutela delle acque dall’inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole”, a seguito delle disposizioni correttive ed integrative di cui al decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 258”. G.U. n. 246 del 20 ottobre 2000 - Supplemento Ordinario n. 172.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale. G.U. n. 88 del 14/04/2006 - S.O. n. 96).
- Deliberazione della Giunta della Regione Puglia, n. 2036 del 30.12.2005. Designazione e Perimetrazione delle Zone Vulnerabili da Nitrati di origine agricola (ZVN) nel territorio della regione Puglia.
- Direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l’azione comunitaria in materia di acque. Gazzetta ufficiale n. L 327 del 22/12/2000 pag. 0001-0073.
- Dunn S.M., Vinten A.J.A., Lilly A., DeGroot J., McGeachan M., 2005. Modelling nitrate losses from agricultural activities on a national scale. *Water Sci Technol*, 51(3-4): 319-327.
- Gustafson A., 1983. Leaching of nitrate from arable land into ground- water in Sweden. *Environ. Geol.*, 5: 65-71.
- Harter T., Davis H., Mathews M., Meyer R., 2002. Shallow groundwater quality on dairy farms with irrigated forage crops. *J Contam Hydrol*, 55: 287-315.
- Joosten L.T.A., Buijze S.T., Jansen D.M., 1998. Nitrate in sources of drinking water? Dutch drinking water companies aim at prevention. *Environ. Pollut.*, 102: (S1)487-92.
- Jordan C., Smith R.V., 2005. Methods to predict the agricultural contribution to catchment nitrate loads: designation of nitrate vulnerable zones in Northern Ireland. *J Hydrol*, 301(1-4): 316-329.
- Ling G., El-Kadi A., 1998. A lumped parameter model for N transformation in the unsaturated zone. *Water Resour. Res.*, 34(2): 203-212.
- Liu A., Ming J., Ankumah Ramble O., 2005. Nitrate contamination on private wells in rural Alabama, United States. *Sci Total Environ*, 346: 112-120.
- Liu J., Liao W., Zhang Z., Zhang H., Wang X. and Meng N., 2007. Effect of phosphate fertilizer and manure crop yield, soil accumulation, and the environmental risk assessment. *Agric Sci in China*, 6(9): 1107-1114.
- Masetti M, Poli S, Sterlacchini S, Beretta GS, Facchi A., 2008. Spatial and statistical assessment of factors influencing nitrate contamination in groundwater. *J Environ Manag*, 86: 272-281.
- Ministero per le Politiche Agricole (1999). Metodi ufficiali di analisi di chimica del suolo. D.M. del 13/09/99, Gazzetta Ufficiale n.185 del 21.10.99
- Novotny V., Olem H., 1993. *Water quality*. VNR - New York.
- Piva C., 2004. *Agronomia e nitrati: cause ed effetti sull’ambiente coltivato*. Genio rurale.
- Regione Campania, Assessorato all’Agricoltura, AGC Sviluppo Attività Settore Primario-SeSIRCA, Ottobre 2000. Guida alla concimazione, Manuale 33.
- Sheng H.J., Xia X.Y., Yang L.Q., Zhao H.T., Luan S., Feng K., 2004. Effect of phosphorous application on soil available P and different P form in runoff. *Acta Ecologica Sinica*, 24: 2837-2840.
- Shrestha R.K., Ladha J.K., 2002. Nitrate pollution in groundwater and strategies to reduce pollution. *Water Sci Technol*, 45(9): 29-35.
- Strebel O., Duynisveld W.H.M., Bottcher J., 1989. Nitrate pollution of groundwater in western Europe. *Agric. Eco. Environ.*, 26: 189-214.

# I venticinque anni di ARPA-SIMC

Vittorio Marletto

Gran folla nonostante il maltempo, per un appuntamento che evidentemente suonava ghiotto. Il convegno organizzato venerdì 26 novembre da Arpa-Simc per celebrare i propri venticinque anni di attività ufficiale si intitolava "Dal colonnello Bernacca a internet, 1985 - 2010: come è cambiata la meteorologia in Italia" e ha visto la partecipazione di centinaia di persone, ben oltre le 160 poltrone disponibili nell'auditorium Enzo Biagi, sotto la Sala Borsa di piazza Maggiore a Bologna.

Non è stata un'occasione solo celebrativa: le relazioni, i filmati e la tavola rotonda hanno visto un pubblico attento e partecipe, con domande e risposte tutt'altro che di maniera. Ma andiamo con ordine. Dopo l'introduzione e il saluto dell'assessore ambiente della regione Emilia-Romagna, il pubblico ha assistito a quattro interventi programmati tenuti da Costante De Simone, direttore del Servizio meteorologico dell'Aeronautica militare, che ha parlato di "Cento anni di meteorologia aeronautica: dagli aerostati ai droni", proiettando anche un bel documentario con materiale d'epoca sui primi passi della meteorologia aeronautica prima della guerra. Poi la parola è passata a Bernardo De Bernardinis, già referente scientifico della protezione civile nazionale e ora presidente dell'Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambientale, che ha illustrato con passione la complessità delle relazioni tra meteo e protezione dei cittadini dai rischi e il nuovo ruolo assunto da qualche anno dal Dpcn per lo sviluppo della meteorologia nazionale. La parola è poi passata a Carlo Cacciamani direttore Arpa-Simc Emilia-Romagna, che nel suo intervento "Meteorologia regionale in Emilia-Romagna, un'avventura di venticinque anni" ha rifatto un po' la storia della nostra



struttura, nata in ambito agricolo, ma oggi ben integrata in numerosi settori tecnici dell'Arpa e della regione. Nell'ultima relazione programata Cristina Sabbioni, direttrice dell'Isac-Cnr (Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima) ha illustrato i rapporti tra ricerca scientifica e meteorologia. Dopodiché abbiamo proiettato una video inchiesta che mirava a illustrare la situazione piuttosto caotica che si riscontra nel nostro paese in campo meteorologico, a causa del proliferare prima delle tv private e poi di internet e della simultanea assenza di un garante ufficiale della qualità delle previsioni. Un'esperta di comunicazione, Alessandra De Savino, ha analizzato nel film la situazione, con dovizia di particolari e ponendo un buon numero di questioni, che sono state poi approfondite nella tavola rotonda, cui ha partecipato il direttore Arpa Stefano Tibaldi, il meteorologo televisivo Luca Mercalli, un rappresentante dell'AM (M. Ferri), e che è stata moderata dal giornalista Rai Elio Cadelo. Il dibattito si è esteso al di là del tavolo con interventi da parte del pubblico e risposte pertinenti degli esperti. Conclusioni finali dell'assessora regionale alla protezione civile Paola Gazzolo che ha ribadito l'orgoglio della regione per la presenza in Emilia-Romagna di una struttura tecnica così rilevante anche in campo nazionale. Nessuno ha oggi una mappa pronta per trovare una strada nel caos meteo nazionale però da venerdì scorso almeno i presenti hanno avuto numerosi elementi di riflessione.

Nel giro di qualche settimana i materiali della conferenza, compreso un video girato sul posto, saranno a disposizione di tutti tramite il sito dell'Arpa Emilia-Romagna ([http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/areamedia/notizie\\_1912.asp](http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/areamedia/notizie_1912.asp)).

° Corresponding author: email: [vmarletto@arpa.emr.it](mailto:vmarletto@arpa.emr.it)

## GUIDA PER GLI AUTORI

1. Il manoscritto inviato deve riferirsi a materiale originale, non pubblicato altrove, se non in fase strettamente preliminare. Almeno uno degli autori dovrà essere socio dell'AIAM.

2. Il manoscritto deve essere inviato esclusivamente via e-mail a: [ijagrometeorology@agrometeorologia.it](mailto:ijagrometeorology@agrometeorologia.it)  
La pubblicazione sull'Italian Journal of Agrometeorology è subordinata alla revisione ed all'approvazione del Comitato di Redazione, che potrà avvalersi del parere di revisori esterni per materie specifiche

3. L'articolo dovrà preferibilmente essere redatto in lingua inglese. Sono accettati lavori per le tre sezioni della rivista: rassegne bibliografiche, lavori di ricerca, note tecniche.

4. Occorre fornire Nome, Cognome, Posizione Accademico/Professionale, ente di affiliazione, indirizzo, numero telefonico e indirizzo di posta elettronica degli Autori ed indicare chiaramente l'Autore di riferimento per la corrispondenza con l'Editor.

5. Il riassunto (abstract) non deve superare le 12 righe e deve essere inviata anche una versione in lingua italiana (in lingua inglese, nel caso di manoscritto in italiano).

6. Le parole chiave (keywords): devono essere inviate anche in lingua italiana (in lingua inglese, nel caso di manoscritto in italiano).

7. Le figure, le tabelle, i grafici, le foto e le didascalie, da predisporre sia in italiano che in inglese, devono essere allegate salvandole in file diversi da quello del testo.

8. Le didascalie di tutte le immagini devono essere poste al di sotto di queste e devono essere indicate come segue: Fig.x – Nome figura, Tab.x – Nome tabella. Nel testo invece devono essere citate come: (Fig.x), (Tab.x).

9. Una versione definitiva ed impaginata dell'articolo pronto per la pubblicazione sarà inviata agli Autori, di norma una sola volta, per la segnalazione di eventuali correzioni tipografiche.

10. È prevista la stampa in quadricromia degli articoli solamente a carico degli Autori, che richiederanno direttamente all'Editore un preventivo al seguente indirizzo:  
Italian Journal of Agrometeorology  
Patron Editor  
Via Baldini, 12  
40057 Quarto Inferiore, Granarolo dell'Emilia (BO)  
e-mail: [periodici@patroneditore.com](mailto:periodici@patroneditore.com)

11. Tutti i riferimenti citati nel testo devono essere riportati nel paragrafo "References/Bibliografia" e tutti i riferimenti presenti in "References/Bibliografia" devono essere citati nel testo.

Nel testo i cognomi degli Autori devono essere citati senza il nome e senza l'iniziale (es: "Rossi, 2003" e non "Federico Rossi, 2003" e nemmeno "F. Rossi, 2003").

Se nel testo viene citato un lavoro di due Autori, utilizzare la notazione "Bianchi and Rossi, 2003" (non utilizzare "&" tra i due nomi).

Se nel testo viene citato un lavoro con più di due Autori, utilizzare la notazione "Bianchi et al., 2003".

Per le riviste, le citazioni dovranno essere stese come segue:  
Bianchi R., Colombo B., Ferretti N., 2003. Titolo dell'articolo. Nome della rivista, numero della rivista: pagine.

Per i libri:  
Bianchi R., Colombo B., Ferretti N., 2003. Titolo del libro. Editore, Luogo, numero di pagine pp.  
Può essere citato materiale "in stampa".

Non sono accettati riferimenti a lavori presentati in occasione di convegni, seminari e simili come poster o comunicazioni orali e non pubblicati nei relativi atti.

## GUIDE FOR AUTHORS

1. Manuscript should refer to original researches, not yet published except in strictly preliminary form. At least one Author must be member of the Italian Society of Agrometeorology (AIAM).

2. Manuscript should be submitted only by e-mail to: [ijagrometeorology@agrometeorologia.it](mailto:ijagrometeorology@agrometeorologia.it)  
Articles of original researches findings are published in Italian Journal of Agrometeorology, subsequent to critical review and approval by the Editorial Board. External referees could be engaged for particular topics.

3. Manuscript can be written in English or Italian. Three types of paper can be submitted: original paper, review, technical note.

4. First Name, Last Name, position, affiliation, mail address, telephone and fax number of all the Co-Authors are required. Corresponding Authors should be clearly identified.

5. The abstract should be no longer than 12 typed lines and should be written in both English and Italian.

6. Keywords should be written in both English and Italian.

7. Figures, tables, graphs, photos and relative captions should be written both in English and Italian and should be attached in separate files.

8. Captions should be placed below images and should be written as: Fig.x – Caption title, Tab.x – Caption title. Images should be referred to in the text as (Fig.x), (Tab.x).

9. Proof of the paper (formatted according to the Journal style) will be sent to the Corresponding Author for proof reading just one time. Corrections can be made only to typographical errors.

10. Four colour printing of the particle is available. Authors can demand an estimate of costs to the Editor:  
Italian Journal of Agrometeorology  
Patron Editor  
Via Baldini, 12  
40057 Quarto Inferiore, Granarolo dell'Emilia (BO)  
e-mail: [periodici@patroneditore.com](mailto:periodici@patroneditore.com)

11. All the references in the text must be reported in the "References" section and vice-versa.

In the text, only the Author(s) last name must be present, without the name or the first letter of the name (e.g. "Rossi, 2003" and not "Federico Rossi, 2003" or "F. Rossi, 2003").

If two authors are present, refer to them as: "Bianchi and Rossi, 2003" in the text (do not use "&" between the surnames).

If more than two Authors are present, refer to them as: "Bianchi et al., 2003" in the text.

For journals, references must be in the following form:

Bianchi R., Colombo B., Ferretti N., 2003. Title. Journal name, number: pages.

For books:

Bianchi R., Colombo B., Ferretti N., 2003. Book title. Publisher, publishing location, pages pp.

Manuscripts "in press" can be cited.

Posters or oral presentation can not be cited if they are not published on the relative proceedings.