



# scienza attiva®

EDIZIONE 2015/2016

AGRICOLTURA, ALIMENTAZIONE E SOSTENIBILITA'

## ***Clima e risorse idriche***

**Claudio Cassardo, Naima Vela, Valentina Andreoli**

***Università degli Studi di Torino, Dipartimento di  
Fisica***

*Documento di livello: A*



Un progetto di



agorà scienza  
centro interuniversitario



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO



scienza attiva®

## 1a. Introduzione

Negli ultimi trent'anni si è accumulata una serie impressionante di conoscenze scientifiche che evidenziano come il clima sta cambiando rapidamente, ad un rateo di cui non vi sono precedenti nelle documentazioni storiche. Il principale candidato responsabile di queste variazioni è rappresentato dalle attività antropiche, che alterano la composizione atmosferica dei gas ad effetto serra. A questo si assommano altri effetti di retroazione del complesso sistema climatico terrestre. Il cambiamento del clima ha come conseguenza una redistribuzione sul globo terrestre delle principali variabili che regolano il clima: ghiacci e nevi, precipitazioni, temperatura, e tutte le variabili ad esse collegati, come ad esempio le componenti del bilancio idrologico. Proprio queste ultime assumono un'importanza particolare considerando la criticità attuale delle risorse idriche del pianeta, già alta in alcune aree, e destinata in un prossimo futuro, a crescere ulteriormente. Dopo un'introduzione ai cambiamenti climatici ed alle risorse idriche del pianeta, questo articolo esaminerà in dettaglio i risultati di una serie di simulazioni che permetterà di ipotizzare le variazioni previste in un prossimo futuro per una zona ristretta ma densamente popolata quale quella della pianura padana e dell'area alpina adiacente.

## 1b. Introduction

In the last thirty years, an impressive amount of scientific knowledge shows that the climate is changing rapidly, at a rate unprecedented in previous historical documentation. The main candidate responsible for these variations is represented by human activities, which alter the atmospheric composition of greenhouse gases. This effect sums to more complex feedback effects of Earth's climate system. Climate change will result in a redistribution on the globe of the main variables that govern climate: ice and snow, rainfall, temperature, and all variables associated, such as the components of the water balance. The latter are of particular importance considering the current status of water resources of the planet, already highly critical in some areas, and destined, in the near future, to grow further. After an introduction to climate change and water resources of the planet, this article will examine in detail the results of a series of simulations that allow to deduce the changes expected in the near future for a small but densely populated area such as the Po Valley and the Alpine adjacent zones.

## 2. Riscaldamento globale e cambiamenti climatici

Gli ultimi 10,000 anni, in cui si è sviluppata la civiltà umana, sono stati caratterizzati da un clima insolitamente stabile, soprattutto se paragonato a quello delle ere precedenti, quando la Terra ha vissuto sia dei periodi caldi, in cui i livelli di biossido di carbonio erano molto superiori a quelli odierni e l'Antartide era un paradiso tropicale, sia altri periodi freddi in cui tali livelli erano molto inferiori e i ghiacci arrivavano fino ai tropici, e forse fino all'equatore. Diversi ricercatori hanno utilizzato una moltitudine di strumenti differenti per analizzare e collegare le misure alle variazioni di temperatura nel tempo (Pasini, 2003). Praticamente tutti quanti sono giunti a conclusioni sorprendentemente simili riguardo alle temperature degli ultimi 1000 anni (IPCC, 2014), evidenziando che - solo nel ventesimo secolo - le temperature hanno cominciato a salire bruscamente. In tale periodo, l'aumento complessivo di temperatura è stato di circa 0.7 °C, con un rateo particolarmente significativo, e senza precedenti, negli ultimi 25 anni del secolo, che continua tuttora (IPCC, 2013).

Già nel diciannovesimo secolo, Fourier (1824) e Tyndall (1859), e più tardi Arrhenius (1896), avevano prima intuito e poi dimostrato quantitativamente che i cambiamenti climatici potessero essere il risultato di

emissioni maggiorate di gas serra. Infatti, se è vero che, in assenza di gas serra, il nostro pianeta sarebbe ghiacciato e privo di vita, trovandosi a una temperatura inferiore di circa 33 °C rispetto a quella attuale, un incremento della loro concentrazione può causare un incremento della temperatura media del nostro pianeta. Questo vale in particolare per quei gas serra (come biossido di carbonio, metano, ecc.) le cui concentrazioni sono relativamente piccole, per cui anche piccoli incrementi possono causare delle modifiche sostanziali nel loro suolo di gas serra. Gli esperimenti condotti nelle campagne di misura svoltesi in Groenlandia ed in Antartide hanno permesso di ricostruire i valori di fondo delle concentrazioni dei principali gas serra negli ultimi 800,000 anni, mostrando che, per quanto riguarda il CO<sub>2</sub>, biossido di carbonio, in tale periodo le sue concentrazioni sono oscillate tra circa 180 e 300 ppm. A partire dalla rivoluzione industriale, invece, tali valori hanno iniziato a crescere pressoché esponenzialmente, fino ad oltrepassare i 400 ppm, con un rateo di crescita intorno ai 2 ppm all'anno. Sia pure con valori numerici diversi, anche tutti gli altri gas serra, ad eccezione del vapore acqueo, mostrano andamenti simili. Non è un caso se, negli ultimi 30 anni, tutte le emissioni di gas serra sono aumentate in media dell'1,6% all'anno, e quelle da combustibili fossili dell'1,9% all'anno.

Ci sono ormai diverse prove che indicano chiaramente che il recente riscaldamento della Terra è correlato con l'incremento delle concentrazioni dei gas serra registratosi negli ultimi 250 anni. Infatti, riferendoci a quanto riportato in IPCC (2013), si può dire che è estremamente probabile che il riscaldamento attuale del pianeta sia da ricondurre alle attività umane e, in particolare, ai processi di combustione dei combustibili fossili. Secondo gli studi più recenti, anche se l'umanità riuscisse ad azzerare completamente le emissioni di gas serra, la concentrazione degli stessi continuerebbe ad aumentare perché l'atmosfera si dovrebbe adattare ai gas serra che sono già stati immessi nei secoli precedenti (oppure, detto in altre parole, perché il ciclo del carbonio si riporti in uno stato di equilibrio). Allo stesso tempo, altri studi (si veda ad es. Pasini et al., 2014) mostrano come molti altri fattori "esterni" che in passato hanno regolato le variazioni climatiche non abbiano avuto, almeno nell'ultimo cinquantennio, un ruolo importante nella modulazione del clima. Ad esempio, la radiazione solare, pur rappresentando il motore che regola il bilancio energetico del nostro pianeta, e quindi il principale elemento regolatore della temperatura media del pianeta, si è dimostrata non essere correlata in modo significativo con le variazioni della temperatura media globale (Pasini et al., 2014).

### **3. Le influenze del clima: il caso delle risorse idriche**

La storia ci insegna che il clima ha influenzato la vita e l'attività dell'uomo sin dalle primissime fasi della sua comparsa, così come, del resto, era già successo per la flora e la fauna prima che l'uomo colonizzasse il pianeta. La densità abitativa in diverse aree del globo è stata, ed è ancora oggi, fortemente correlata alle condizioni climatiche, e ci sono evidenze del fatto che anche alcuni eventi storici, passati e recenti (Fagan, 2000; Kelley et al., 2015) siano stati esacerbati dalle conseguenze dei cambiamenti climatici. Del resto, la maggior parte della popolazione umana vive concentrata in porzioni limitate (ma in continua espansione) di territorio, nelle quali le condizioni climatiche sono più favorevoli per la vita e le attività umane. Inoltre, anche l'efficienza delle attività umane e l'economia stessa sono fortemente influenzate dal clima (si pensi all'agricoltura, alle opere ingegneristiche, all'edilizia, ecc.).

D'altra parte, è vero anche il discorso contrario. Le attività umane agricole, industriali e tecnologiche hanno ormai raggiunto un livello tale per cui i loro effetti interessano l'intero globo terrestre, coinvolgendo i sistemi naturali, cioè l'atmosfera, le terre emerse e gli oceani, e tutte le forme di vita sul pianeta. Questo non soltanto perché la popolazione umana continua a crescere pressoché esponenzialmente (l'attuale tasso di crescita, 1.23% annuo, prevede un raddoppio della popolazione ogni 59 anni circa), ma anche per i vari effetti antropici sull'ambiente e sull'ecosistema (non soltanto l'alterazione della composizione

atmosferica mediante l'immissione di gas, ma anche la riduzione delle aree forestate, la desertificazione del territorio e la crescita dei livelli di inquinamento, sia in atmosfera che negli oceani).

Per il prossimo futuro, i ricercatori sono univocamente concordi nel ritenere che la concentrazione dei gas serra continuerà ad aumentare a lungo anche se la loro produzione dovesse diminuire sensibilmente (cosa che, almeno a breve termine, è difficile da ipotizzare, almeno a livello globale): per esempio, le concentrazioni di CO<sub>2</sub> potrebbero attestarsi su valori non molto diversi da quelli tipici del periodo geologico terziario. I modelli commentati in IPCC (2013) sono concordi nel mostrare che, come conseguenza dell'aumento dei gas serra, anche la temperatura media globale subirà un aumento significativo, la cui entità non è determinabile con certezza in quanto dipende fortemente dagli scenari economici e dalle modalità di produzione di energia. Più complicata risulta invece la determinazione della variazione della piovosità, il cui segnale è meno omogeneo. Alcuni studi preliminari (IPCC, 2013) permettono di asserire che alcune macroregioni (tra le quali le Alpi ed il Mediterraneo, e la maggioranza delle regioni tropicali ed equatoriali, dove vivono miliardi di persone) potrebbero sperimentare climi molto più caldi e secchi nelle stagioni estive, con forti ripercussioni, negative, sulla produttività agricola.

Le conseguenze di questi cambiamenti potrebbero dunque riflettersi sulle attività umane e, in particolare, sulla qualità di vita, sulla produttività agricola, sul livello del mare, e sulle risorse idriche. Questo non soltanto a causa degli effetti diretti ed indiretti (aumento degli episodi di siccità, alluvioni, fenomeni estremi, perdita dei territori costieri, regresso dei ghiacciai montani, produttività della vegetazione, alterazione degli ecosistemi) ma anche, e soprattutto, a causa della rapidità di questi cambiamenti, che potrebbe rendere molto difficile l'adattamento della società umana e dell'ecosistema (Cassardo e Jones, 2011). La maggior parte dei modelli prevede, infatti, variazioni consistenti già entro un ventennio.

L'acqua, del resto, è un elemento primario nella dieta umana e una risorsa necessaria per l'agricoltura; anche le pratiche industriali abbisognano di una quantità crescente di acqua. Dal momento che la popolazione umana è in continuo crescendo a un ritmo quasi esponenziale, la richiesta di acqua per usi domestici, agricoli e industriali, è anch'essa in aumento (Jones, 1997). Considerando che, in diverse nazioni, la gestione locale delle risorse idriche non è già sostenibile oggi, le prospettive per il prossimo futuro non possono che riservare una grande preoccupazione. Questa considerazione vale ancor più per i luoghi in cui le risorse idriche sono in gran parte basate su riserve di acqua fossile, estratte da giacimenti sotterranei profondi e che non vengono reintegrate nel contesto attuale, come nella maggior parte dei paesi del Medio Oriente e Nord Africa (Gleick, 1996; Postel et al., 1997; Molden, 2007).

L'incremento delle temperature legato al cambiamento climatico a scala globale avrà come conseguenza un aumento della piovosità complessiva, dovuto al maggior quantitativo di vapore acqueo in atmosfera, ma anche dell'evapotraspirazione, a causa della maggiore energia in gioco (IPCC, 2013). A scala locale, tuttavia, l'esito non è così scontato, a causa della non linearità del sistema climatico, e dei complessi effetti di retroazione su sistemi di correnti, convezione e distribuzione delle precipitazioni. Inoltre, precipitazioni forti e irregolari possono danneggiare la vegetazione e dilavare terreno fertile, o anche inquinare fiumi e falde, mentre al contrario episodi di siccità possono favorire le concentrazioni di inquinanti nelle acque.

Molti lavori recenti hanno tentato di prevedere l'impatto dell'aumento dell'effetto serra sulle risorse idriche regionali nel XXI secolo (si veda, ad esempio, Arnell, 1996). Se i modelli climatici di prima generazione avevano una risoluzione spaziale troppo grossolana per riprodurre le caratteristiche regionali del bilancio idrologico, i più recenti modelli climatici del sistema Terra tengono conto delle complesse interazioni tra atmosfera, oceano e superficie terrestre, favorendo la valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche. I risultati di questi studi (ad es., Jones et al., 2007) mostrano che,

oltre all'aumento di numero e intensità degli eventi estremi (come siccità e inondazioni), disomogeneo sul globo terrestre e nelle singole stagioni, ed all'esacerbazione dei loro effetti, la maggiore variabilità del clima avrà probabilmente impatti diretti ed indiretti sullo sviluppo economico e sociale, modificando la quantità (e qualità) delle risorse idriche, sia per l'ecosistema e le attività umane, ed aumentando la difficoltà di gestione delle risorse idriche, in particolare nelle regioni più vulnerabili, con la conseguenza che la disponibilità di acqua potrebbe diventare critica anche in regioni di solito non soggette a carenza d'acqua.

#### **4. Variazione del bilancio idrologico nel clima futuro dell'area alpino-padana**

Nel seguito si presentano i risultati di un lavoro condotto con la stessa metodologia illustrata in Galli et al. (2010), a cui si rimanda per i dettagli tecnici, al fine di stimare la variazione delle componenti del bilancio idrologico (precipitazione, evaporazione, runoff e drenaggio sotterraneo) e dell'umidità del suolo nell'area alpino-padana. I dati di partenza provengono dalle simulazioni effettuate col modello climatico regionale RegCM3 (Giorgi et al., 2004), e sono stati usati come input per il modello di interazione atmosfera-superficie terrestri UTOPIA (University of Torino model of land Process Interaction with Atmosphere; Cassardo, 2006). Il dominio scelto è l'area rettangolare compresa tra i meridiani 5°E e 18°E ed i paralleli 43°N e 48°N, e include gran parte della regione Alpina e la pianura padana. Le variabili sono mostrate come anomalie relative al trentennio 2071-2100 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990, comunemente usato in molti studi climatici di confronto tra clima presente e futuro. Nell'analisi del clima futuro è stato preso in considerazione lo scenario A2 (IPCC, 2013). Si presentano qui i risultati per due tipologie di vegetazione: la più diffusa sul territorio considerato, ovvero la "vegetazione boschiva mista" (mixed woodland) e quella maggiormente presente in pianura padana, ovvero le "coltivazioni miste" (crops/mixed farming). In particolare, i grafici mostrati evidenziano l'andamento annuo delle componenti del bilancio idrologico, mediate su tutti i punti griglia appartenenti alla specifica classe di vegetazione (suddivisi sopra e sotto i 700 m sul livello del mare) e sul trentennio.

Per quanto riguarda la classe "vegetazione boschiva mista" in pianura, si nota un periodo di siccità estiva molto più pronunciato nel clima futuro (individuabile, in prima approssimazione, dall'intersezione delle curve di precipitazione ed evapotraspirazione: tale periodo aumenta di circa un mese nello scenario A2), dovuto alla forte diminuzione delle piogge ed all'aumento dell'evaporazione per via delle temperature medie più elevate. La curva del runoff riflette il comportamento della precipitazione: i valori sono maggiori in A2 rispetto a CO nel tardo inverno, e minori nel periodo estivo. Al contrario, la curva relativa al drenaggio sotterraneo, generato al di sotto del più profondo strato di suolo, ad una profondità di 25.6 m, non presenta variazioni significative.

Nei punti griglia in quota (Fig. 2), nel clima futuro compare un breve periodo estivo in cui l'evaporazione supera le precipitazioni. Inoltre, varia la distribuzione del deflusso superficiale in inverno e primavera: nel clima presente c'è un importante picco primaverile, dovuto alla concomitanza della fusione del manto nevoso invernale e del periodo di massima precipitazione. Nel clima futuro, invece, il flusso è pressoché uniforme su tutto il periodo: questo è dovuto all'incremento delle precipitazioni invernali, dall'anticipazione del periodo di fusione della neve, e anche dal fatto che buona parte della precipitazione avviene sotto forma di pioggia, invece che di neve, rendendosi immediatamente disponibile per il runoff. Di conseguenza, anche l'umidità superficiale del suolo presenta un gradiente stagionale più marcato, con valori maggiori nel tardo autunno e inverno, minori nella tarda estate, e con un evidente spostamento del picco primaverile.

Per quanto riguarda la tipologia “coltivazioni miste”, che ricopre la quasi totalità della pianura padana, il periodo siccitoso nei mesi caldi si allunga da 100 a 130 giorni e si intensifica (Fig. 3), a causa della forte diminuzione delle precipitazioni e dell'altrettanto intenso aumento dell'evaporazione dovuto alle temperature significativamente più elevate, annullando praticamente il deflusso superficiale. Aumentano invece le precipitazioni nel periodo autunnale, con un relativo aumento del deflusso superficiale (indice del carattere principalmente piovoso delle stesse). Essendo i danni causati in questa stagione dal rateo attuale di precipitazione già piuttosto preoccupanti, un ulteriore incremento delle stesse nello scenario futuro potrebbe aumentare la frequenza degli eventi alluvionali.

A conferma di quanto precedentemente detto, la Fig. 4, relativa ai punti griglia con “vegetazione boschiva mista”, mostra come le precipitazioni nevose diminuiscano sensibilmente d'inverno negli scenari futuri. Il manto nevoso si riduce in media di più del 50% nello scenario A2, se confrontato con il clima presente. L'altezza massima si presenta all'inizio di Marzo nel run A2, cioè circa due decenni prima rispetto a B2 e CO. In questo caso sono mostrati anche i risultati relativi allo scenario B2, in quanto la differenza con l'A2 è evidente. Se si osservano i valori di temperatura superficiale, il grafico di destra indica valori costantemente maggiori per gli scenari A2 (tra 4°C e 5°C, con un massimo in estate) e B2 (tra 2°C e 4°C, con due minimi in primavera ed autunno) rispetto al clima presente. Le differenze nei ratei di riscaldamento nello scenario B2 possono essere spiegate con la presenza di un consistente manto nevoso in primavera ed autunno, considerevolmente ridotto nello scenario A2. In entrambi i casi, quando la neve è assente, ritroviamo il massimo riscaldamento superficiale del suolo.

L'analisi dei giorni “caldi” e “freddi”, definiti tali quando la temperatura dello strato superficiale di suolo (10 cm) è rispettivamente superiore a 30 °C o inferiore a 0 °C (Fig. 5) evidenzia che il numero dei primi aumenta di 40 (oltre un mese) in pianura nel clima futuro, mentre quello dei secondi non varia in pianura (perché già nullo nel trentennio di riferimento) e diminuisce tra 40 e 80 giorni sulle Alpi; questo andamento motiva gli andamenti visti in Fig. 4.

Lo stato del terreno è stato valutato esaminando il rapporto di saturazione del contenuto volumetrico di umidità dello strato superficiale di terreno e costruendo un indice adimensionale (QI) che assume i valori zero e uno per umidità rispettivamente pari al punto di appassimento e alla capacità di campo. Sono poi stati definiti rispettivamente “secchi” e “umidi” i giorni caratterizzati da valori di  $QI < 0$  e  $QI > 0,8$ . La Fig. 6 evidenzia come il numero dei giorni secchi aumenti di circa 30-40 nel clima futuro, specialmente in pianura e collina. Sorprendentemente, anche il numero di giorni umidi aumenta, pur se lievemente, soprattutto in alcune zone prossime ai rilievi, mentre altrove rimane costante o diminuisce lievemente.

I risultati ottenuti sono in linea con alcuni dei lavori più recenti, secondo i quali l'Europa mediterranea rischia di sperimentare estati più secche di quelli attuali (Taylor et al., 2012).

## 5. Conclusioni

Si è visto come una delle sfide più urgenti sia quella di assicurare la qualità e la quantità delle risorse idriche ai crescenti fabbisogni dell'umanità e degli ecosistemi, adattandosi alla variabilità ed ai cambiamenti del clima. Infatti, le variazioni di evapotraspirazione e precipitazione dovute ai cambiamenti del clima e dell'uso del suolo, così come l'incremento dell'utilizzo di acqua per soddisfare i bisogni umani, stanno cambiando radicalmente la qualità e la tempistica della disponibilità di acqua in tutto il mondo, in maniera ancora non esattamente quantificabile, ponendo problematiche non banali in merito alla sostenibilità delle risorse idriche.

Al fine di rispondere a questa sfida, è necessario un approccio olistico, che coinvolga la comprensione predittiva dei processi del ciclo dell'acqua e delle risorse idriche, le risposte associate al sistema idrico, e la vulnerabilità e la resilienza dei sistemi idrici al cambiamento del clima e antropico. Fino ad ora, ci sono stati pochi tentativi di studiare l'intero sistema dell'acqua con un approccio integrato e sistemico, o anche di studiare aspetti simili di sistemi idrici differenti in senso comparativo.

In merito agli effetti diretti del cambiamento del clima inerenti alle risorse idriche, gli strumenti modellistici attualmente disponibili mostrano come, pur nei limiti delle incertezze insite nei modelli stessi e nella procedura usata, per quanto riguarda il territorio alpino-padano dell'Italia, i principali risultati relativi al clima futuro, scenario A2, possono essere così riassunti.

À Le zone montuose evidenziano una consistente diminuzione delle precipitazioni nevose d'inverno, a favore delle precipitazioni piovose, generando una ridistribuzione del deflusso superficiale in modo più uniforme sui mesi invernali e primaverili. L'effetto è dovuto all'aumento delle temperature, ed è evidenziato, anche alle quote più alte, dal calo del numero di giorni con temperatura media del suolo  $<0$  °C. La conseguenza appare essere una diminuzione della quantità di acqua disponibile all'approssimarsi dell'estate, poiché la pioggia, nel clima futuro, sarà immediatamente trasportata a valle dai fiumi, mentre nel clima presente viene trattenuta in quota nel manto nevoso.

À D'estate si evidenzia, invece, un aumento dei periodi siccitosi in pianura, sia come intensità che come durata.

À L'aumento delle precipitazioni autunnali lungo il bacino del Po, in un periodo in cui il suolo già nel clima presente si umidifica rapidamente, favorendo valori elevati del deflusso superficiale, appare preoccupante a causa delle possibili ricadute sull'ingrossamento eccessivo dei corsi d'acqua ed il rischio di esondazioni e comparsa di situazioni di pericolo.

À L'incremento del numero dei giorni "secchi", in cui l'umidità dello strato superficiale di terreno scende sotto il punto di appassimento, visibile soprattutto nella stagione calda, pone serie problematiche di necessità di irrigazione delle coltivazioni nel periodo estivo, proprio in un periodo in cui la riduzione del bilancio idrologico porterà ad un abbassamento dei livelli fluviali.

## 1. Bibliografia

Arnell N.W., *Global Warming, River Flows and Water Resources*, Wiley, Chichester, UK and New York, USA, 234 pp., 1996.

Arrhenius S., "On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground", *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5(41), 1896, pp. 237-276.

Cassardo C., *The land surface process model (LSPM) version 2006*, Technical Report 2006-02, Dept. of Physics, University of Torino, Italy, 2006. Disponibile presso l'autore.

Cassardo C., and Jones J.A.A., "Managing Water in a Changing World", *Water*, 3(2), pp. 618-628, doi:10.3390/w3020618, 2011.

Fagan B.M., *The Little Ice Age: How Climate Made History, 1300-1850*, Basic Books, New York, 246 pp., 2000.

- Fourier J. B. J., “Remarques Générales Sur Les Températures Du Globe Terrestre Et Des Espaces Planétaires”, *Annales de Chimie et de Physique*, 27, 1824, pp. 136–167.
- Galli M., Oh S., Cassardo C., and Park S.K., “The Occurrence of Cold Spells in the Alps Related to Climate Change”, *Water*, 2, pp. 363-380, doi:10.3390/w2030363, 2010.
- Giorgi F., Bi X., Qian Y., and Pal J.S., “Mean, interannual variability and trends in a regional climate experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071-2100)”, *Climatic Dynamics*, 22, pp. 733-756.
- Gleick P.H., *Water resources*. In *Encyclopedia of Climate and Weather*; Schneider, S.H. Ed.; Oxford University Press: New York, USA, 2, pp. 817-823, 1996.
- IPCC, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324, 2013.
- Jones J.A.A., *Global Hydrology: Processes, Resources and Environmental Management*, Addison Wesley Longman, Harlow, UK, 399 pp., 1997.
- Jones J.A.A.; Mountain, N.C.; Pilling C.G., Holt C.P., *Implications of climate change for river regimes in Wales—A comparison of scenarios and models*, In *Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climatic Variability*; Lobo Ferreira, J.-P., Vieira, J.M.P., Eds.; Publication 310; International Association of Hydrological Sciences: Wallingford, UK, pp. 71-77, 2007.
- Kelley C.P., Mohtadib S., Canec M.A., Seager R., and Kushnir Y., “Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought”, *PNAS*, 112(11), pp. 3241–3246, doi: 10.1073/pnas.1421533112, 2015.
- Molden D., *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*; UK International Water Management Institute, London, UK, 48 pp., 2007.
- Pasini A., *I cambiamenti climatici. Meteorologia e clima simulato*, Bruno Mondadori, Milano, 272 pp., 2003.
- Pasini A., Racca P. Cassardo C., “Influence of forcings and variability on recent global temperature behavior: A neural network analysis”, in *Proceedings of the II SISC Annual Conference*, 2014, pp. 366-376.
- Postel S., *Last Oasis: Facing Water Scarcity*, 2<sup>nd</sup> ed.; W.W. Norton & Co.: New York, NY, USA, 1997.
- Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A., “An Overview of CMIP5 and the experiment design”, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, pp. 485-498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1, 2012.
- Tyndall J., “On the transmission of heat of different qualities through gases of different kinds”, *Proceedings of the Royal Institution*, 3, 1859, pp. 155–158.



## Figure

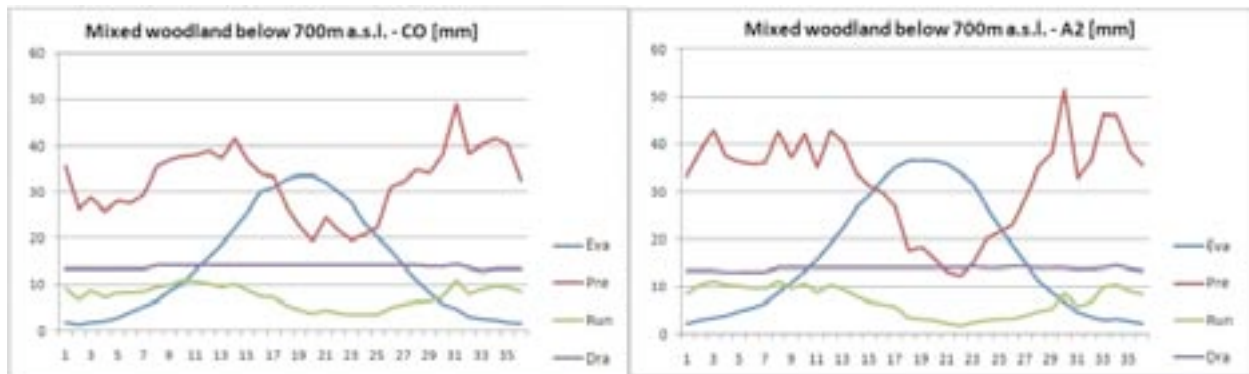


Fig. 1 – Bilancio idrico annuo per la tipologia di vegetazione “Mixed woodland” al di sotto dei 700m sul livello del mare. I numeri in ascissa si riferiscono alle decadi, mentre i valori in ordinata rappresentano le cumulate sulla decade, in mm. A sinistra il trentennio di riferimento, a destra lo scenario A2 nel clima futuro. Legenda: Eva=Evaporazione; Pre=Precipitazioni; Run= Deflusso superficiale (Runoff); Dra=Deflusso sotterraneo (Drainage).

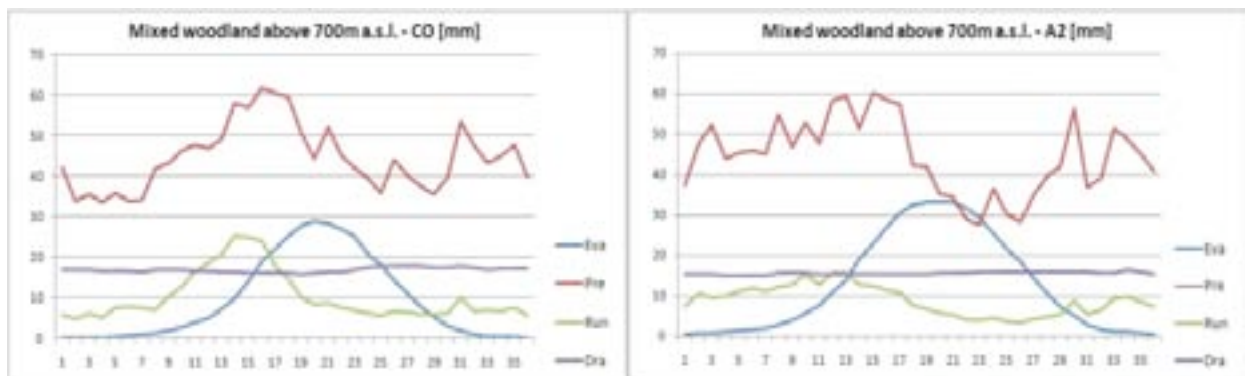


Fig. 2 – Bilancio idrico annuo per la tipologia “vegetazione boschiva mista” al di sopra dei 700m sul livello del mare. Valori ,simboli e assi sono definiti come in Fig. 1.

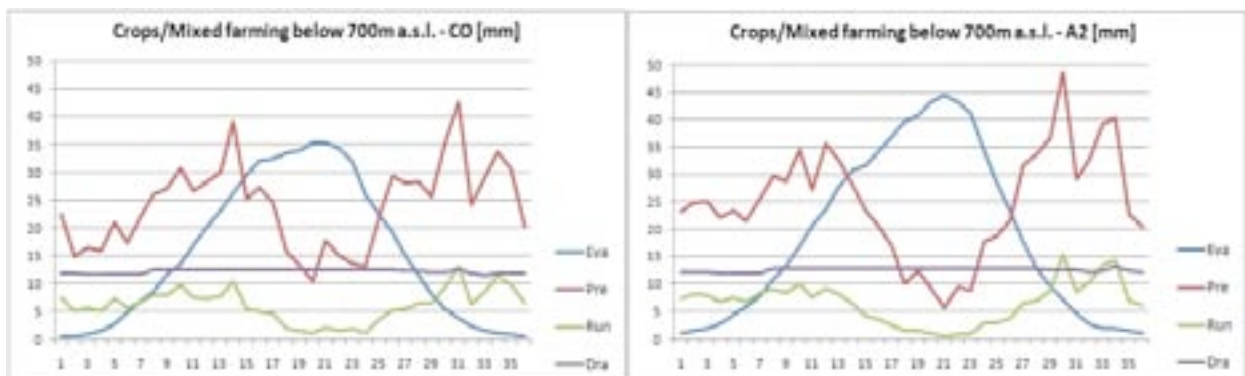


Fig. 3 – Bilancio idrico annuo per la tipologia di vegetazione “coltivazioni miste”. Valori ,simboli e assi sono definiti come in Fig. 1.

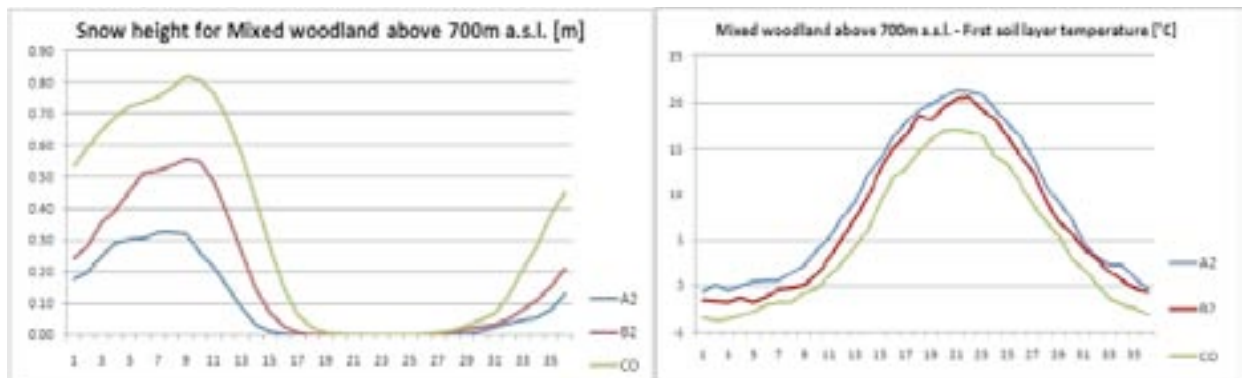


Fig. 4 – Andamento dell’altezza del manto nevoso (a sinistra) e della temperatura del primo strato di suolo (a destra) per il trentennio di riferimento 1961-90 (CO) e per il clima futuro (scenari A2 e B2).

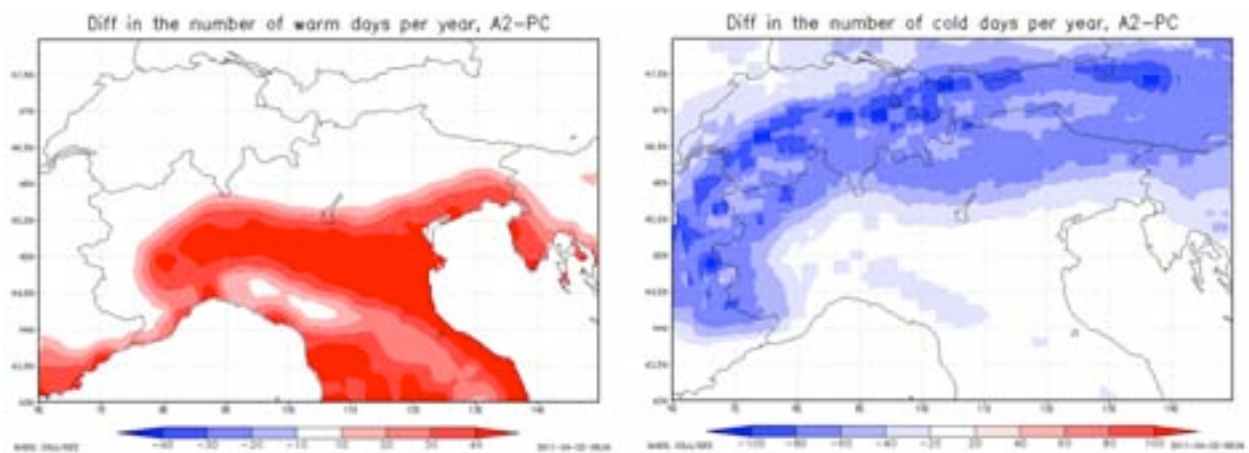


Fig. 5 – Differenza nel numero di giorni “caldi” (a sinistra) e “freddi” (a destra) tra il trentennio del clima futuro ed il trentennio di riferimento, calcolata analizzando la temperatura del terreno.

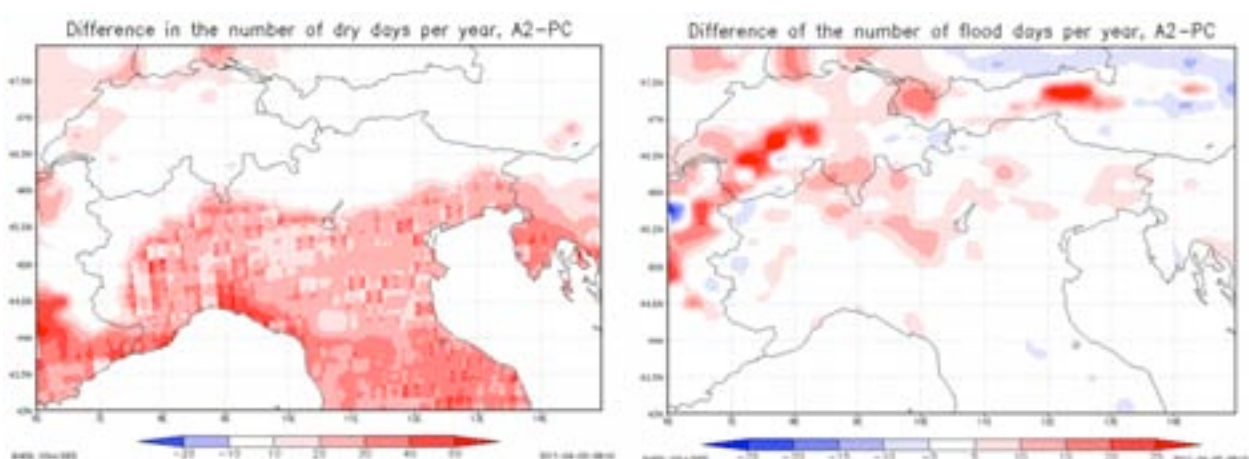


Fig. 6 – Differenza nel numero di giorni “secchi” (a sinistra) e “umidi” (a destra) tra il trentennio del clima futuro ed il trentennio di riferimento, calcolata analizzando l’umidità del terreno.

Questo documento è stato pubblicato come capitolo del libro curato da Alessandro Leto, dal titolo “Alimentazione, Ambiente, Società e Territorio per uno Sviluppo sostenibile e responsabile - Contributi e riflessioni geografiche a partire dai temi di Expo Milano 2015”, intitolato “Cambiamenti

climatici e loro ripercussioni sulle risorse idriche: l'esempio dell'area alpino-padana" (reperibile anche sul web all'indirizzo <http://www.lascuolaversoexpo.it/index.php?s=10&wid=28>).