



ISSN 1827-3858

www.umfvg.org



METEOROLOGICA

Semestrale dell'Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia

Semiannual Journal of the "Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia"

Numero speciale - *Special Issue*

Anno / Year XIII - Numero / Number 2

Atti della XIV Conferenza Annuale UMFVG - *Proceeding of the 14th UMFVG Annual Conference*

Contenuti a cura di:

Fulvio Stel, Dario B. Giaiotti
Stefano Micheletti, Andrea Cicogna
Fabio Raicich
Renato R. Colucci



CAMBIAMENTI CLIMATICI in corso

CAMBIAMENTI
CLIMATICI in corso



Seguici su

Facebook



UMFVG is a member of the
European Meteorological Society

METEOROLOGICA

Bollettino dell'Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia

Bulletin of Friuli Venezia Giulia Meteorological Union

Reg. Trib. di Udine n. 4 del 26/02/2002

www.umfvg.org

Pubblicato da / published by

Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia – O.N.L.U.S.
Via Silvio Pellico, 9 - Cividale del Friuli - ITALY

Direttore Responsabile / Director

Marco Virgilio

Direttore editoriale / Chief Editor

Renato R. Colucci

Redazione / Editorial staff

Renato R. Colucci, Marco Virgilio, Laura Palmisano

Per ricevere il bollettino o richiedere informazioni scrivere a:
To receive the bulletin or ask for informations write to:

e-mail: segreteria@umfvg.org

Questo numero speciale, che rappresenta gli "Atti della XIV Conferenza annuale UMFVG", è stato realizzato grazie al supporto di tutti i soci e del Parco naturale delle Prealpi Giulie.

La raccolta ed organizzazione di testi e fotografie, la realizzazione grafica e l'impaginazione sono state curate da Renato R. Colucci e da Marco Virgilio

This special issue, representing the "Proceedings of the 14th UMFVG Annual Conference", has been realized thanks to the support of all UMFVG members and the Parco naturale delle Prealpi Giulie.

The collection and the organization of texts and photographs, the graphic design and layout has been edited by Renato R. Colucci and Marco Virgilio



Idea grafica e titolo della XIV Conferenza annuale UMFVG
Francesca Geatti

Abstract

Colloredo di Monte Albano is, this year, the location of the UMFVG annual conference, organized also thanks to the support of Parco naturale regionale delle Prealpi Giulie. The annual conference serves also as an informal meeting of all members of UMFVG and, every year, presents a different theme. The 14th UMFVG Annual Conference deals with climate change matters.

The debate over the causes and consequences of climate change (or "global warming") is one of the great controversies of the modern era. While environmental activists and some politicians claim "the debate is over" and call for immediate action to reduce man-made greenhouse gas emissions, others say the science points to only a very small human impact – too small to warrant concern – and the costs of trying to prevent global warming far exceed the benefits. Wherever reality is, we want to focus on climate changes occurred in Friuli Venezia Giulia (land and sea) in the recent decades and in the last century. Nevertheless, doing this, we cannot avoid not take in consideration also climate changes in a more global view.

The result indeed is apparently clear in terms of what we are experiencing in our daily life, but how this could develop in the future if (or not) the human impact will be the main actor of this change, is the biggest scientific challenge of the next decades.

UMFVG is devoted to the understanding and popularization of climate dynamics and meteorology. The recent formalization by the European Meteorological Society (EMS) to held the 2016 European Conference on Applied Climatology (ECAC 2016) in Trieste, is for us a source of great pride and responsibility, and an important recognition for all the significant effort we put in the last 15 years.

Colloredo di Monte Albano è, quest'anno, la sede della conferenza annuale UMFVG, organizzata anche grazie al supporto del Parco naturale regionale delle Prealpi Giulie. La conferenza annuale funge anche da ritrovo informale per tutti i membri UMFVG ed ogni anno presenta un tema diverso. Questa XIV conferenza annuale UMFVG si occupa di tematiche legate al cambiamento climatico.

Il dibattito sulle cause e sulle conseguenze del cambiamento climatico (o riscaldamento globale) è una delle principali controversie dell'era moderna. Se da una parte gli attivisti ambientali ed alcuni politici affermano che "Il dibattito è chiuso" e chiamano per immediate azioni al fine di ridurre le emissioni serra di origine umana, altri dicono che la scienza avverte come l'impatto umano sia in realtà molto limitato, troppo piccolo per giustificare preoccupazione, ed i costi per cercare di prevenire il riscaldamento globale superano largamente i benefici. Qualunque sia la realtà, vogliamo qui focalizzarci sui cambiamenti climatici occorsi in Friuli Venezia Giulia (terra e mare) nelle decadi recenti e nell'ultimo secolo. Facendo questo, in ogni caso, non possiamo non prendere in considerazione anche i cambiamenti climatici in una visione più globale.

Il risultato, in effetti, è apparentemente evidente in termini di "cosa stiamo sperimentando nella nostra vita di tutti i giorni", ma come tutto ciò potrebbe evolvere nel futuro se l'impatto umano sarà (oppure no) il principale attore di questo cambiamento, è la più grande sfida scientifica dei prossimi decenni.

L'UMFVG si dedica alla comprensione ed alla divulgazione al pubblico delle dinamiche climatiche e della meteorologia. La recente formalizzazione da parte della European Meteorological Association (EMS) di tenere la conferenza europea di climatologia applicata del 2016 (ECAC 2016) a Trieste, è per tutti noi motivo di grande orgoglio e responsabilità, ed un importante riconoscimento per l'impegno profuso da tutti noi negli ultimi 15 anni.

Renato R. Colucci



Calendario Meteorologico 2015

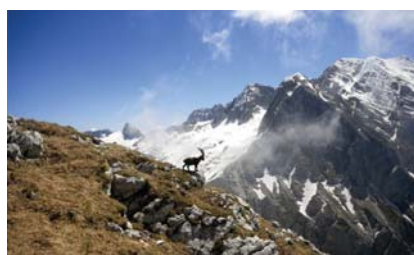
Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia

Marco Di Leonardo

Paolo Forti

Renato R. Colucci

Marco Virgilio



SI FA PRESTO A DIRE “SERRA” (Easy to say “greenhouse”)

Abstract

Under the point of view of mass media, the expression “greenhouse effect” can be for sure considered as a history of success. After its appearance at the end of '80s (in Italy it entered into the themes proposed for the high school final exam), this expression is nowadays entered into everyday dictionary. Even if this success surely enhanced the penetration of the climate change concept into the society, now this excess of success might create some troubles in the deployment of mitigation strategies. After a brief historical overview of the development of the “greenhouse effect” concept, a simple physical explanation of “greenhouse effect” will be given and it will be unveiled the reason why “greenhouses” do not warm because of the “greenhouse effect”. At the end, some reasons why the “greenhouse effect” concept should be overtaken increasing even in the common people the awareness of the other mechanisms that steer the climate change. In the conclusion, some of the “fast response forcing levers” of climate change will be described to introduce readers into the current state of the art on climate change studies.

Introduzione

Dal punto di vista mediatico l'espressione “effetto serra” può sicuramente definirsi come una storia di successo. Dalla sua comparsa verso la fine degli anni '80 (in Italia rientrò tra le tracce proposte per i temi di maturità scientifica), questa espressione ha superato indenne gli anni '90 e l'inizio del nuovo millennio, arrivando sino a noi per diventare quasi sinonimo di cambiamento climatico. L'origine del successo di questa espressione, come tutte le storie di successo, non ha un'unica spiegazione ma è verosimilmente dovuto a diversi aspetti che ne hanno agevolato la diffusione all'interno della Società. Una delle ragioni del successo certamente è dovuta al fatto che l'espressione si riferisce ad un'esperienza non quotidiana, quindi sufficientemente rara da destare attenzione, ma alla portata di tutti, dato che tutti, prima o poi, siamo entrati in una “serra” e ne abbiamo sperimentato gli effetti sulla nostra pelle. L'espressione è inoltre semplice e non ambigua, quindi facile da comprendere e ricordare.

Come tutte le storie di successo, però, anche

quella dell'“effetto serra” ha un rovescio della medaglia o, se si preferisce, un conto da pagare. Nulla di grave, intendiamoci, ma arrivati all'attuale livello di consapevolezza sul sistema climatico, potrebbe essere utile superare questa espressione per andare oltre, un po' come fanno i bruchi con la “buccia” della crisalide che, necessariamente, debbono abbandonare se vogliono librarsi nel cielo per raggiungere nuovi orizzonti e condurre nuove esperienze. Questo breve articolo vuole procedere in tal senso, fornendo alcuni spunti di riflessione che ci aiutino ad uscire dalla “serra” e ad affrontare il mondo reale.

Chi è stato!?

Ogni storia che si rispetti ha bisogno di un colpevole, se c'è anche una vittima meglio, ma quello che sicuramente non deve mancare è il colpevole. Purtroppo nella realtà non sempre abbiamo un solo colpevole e le storie con molti colpevoli, statisticamente, non piacciono molto alla gente. Ma come detto in precedenza, l'obiettivo di questo articolo è proprio quello di aiutarci ad uscire dalla serra per entrare nel mondo reale. Se ci può consolare, però, i diversi colpevoli che verranno di seguito elencati sono tutti dei “pezzi grossi”; quindi la faccenda si fa comunque interessante.

Quello che potremmo definire il padre di tutti i colpevoli è niente po' di meno che Jean Baptiste Joseph Fourier, noto a chi si occupa di analisi dei segnali e a chi si occupa di trasmissione del calore. Fourier, infatti, sviluppò una teoria ancora oggi utilizzata per spiegare il meccanismo di “conduzione del calore”. In generale, infatti, l'energia termica può essere trasmessa da un corpo all'altro tramite tre meccanismi: 1) la conduzione (quando le molecole di un corpo trasferiscono il loro movimento, quindi energia, ad un secondo corpo mediante urti) come avviene quando ci scottiamo prendendo in mano la teglia della pizza tolta dal forno; 2) la convezione (quando sono porzioni intere di un corpo che entrano all'interno di un altro corpo) come avviene nella bassa atmosfera terrestre, ma anche nella pentola d'acqua che usiamo per cuocere la pasta; 3) l'irraggiamento (quando è la radiazione emessa da un corpo che entra in contatto con un secondo corpo) come avviene quando ci esponiamo direttamente al sole uscendo da una zona d'ombra o nei sistemi

domestici di riscaldamento “a pavimento”.

Occupandosi dello studio del calore, Fourier fu il primo a pensare (e scrivere) che l'atmosfera terrestre poteva comportarsi come la finestra di una casa, quindi spiegare in parte come mai la temperatura del nostro pianeta era troppo alta rispetto a quella che ci si poteva attendere in base alla quantità di energia ricevuta dal sole e alla quantità di energia che la terra poteva rimettere¹. Già all'epoca era infatti evidente che la Terra era più calda di quanto ci si potesse aspettare in base all'energia ricevuta dal Sole, doveva pertanto esistere un meccanismo in grado di “intiepidire” la nostra atmosfera rendendola abitabile. In questa sua considerazione, Fourier prese le mosse da un esperimento condotto da De Saussure alcuni anni prima mediante una scatola di sughero con diversi “piani” separati da lastre di vetro. Una volta esposta al sole, lo scomparto più in basso nella scatola era quello che raggiungeva le temperature maggiori. Correttamente Fourier si rese conto che un ruolo importante per poter spiegare questo effetto doveva essere giocato dalla convezione e non solo dall'assorbimento della radiazione solare.

Un ulteriore contributo alla comprensione della ragione per cui l'atmosfera terrestre risulta più calda di quanto ci si potrebbe aspettare venne una ventina di anni dopo ad opera del fisico irlandese John Tyndall, il quale studiò, tra mille altre questioni, l'assorbimento della radiazione infrarossa da parte dei gas e vapori. Con un dispositivo da lui inventato, Tyndall mostrò come il vapore acqueo fosse un potente assorbitore della radiazione infrarossa e che volumi d'aria ricchi di vapore acqueo si scaldavano più di volumi d'aria secca. Tyndall non sapeva ancora come mai il vapore acqueo avesse questa strana proprietà di assorbire l'energia in maniera selettiva. Può infatti sembrar strano che una sostanza assorba solo radiazione in corrispondenza ad una particolare lunghezza d'onda e, in effetti, la piena comprensione di questo fenomeno si può avere solo utilizzando considerazioni legate alla meccanica quantistica. Potremmo comunque semplificare la questione immaginando le molecole come delle macchinette del caffè che funzionano a moneta. Non tutte le monete possono essere utilizzate, non posso infatti usare sterline o franchi svizzeri al posto degli euro,

¹ In realtà, benché Fourier credesse che l'atmosfera potesse in qualche modo contribuire a trattenere una parte dell'energia ricevuta dal sole, pensava che i valori osservati di temperatura sul nostro pianeta fossero dovuti al contributo della radiazione di fondo prodotta dalle stelle

anche se il valore fosse il medesimo. Ogni macchina accetta solo monete di una certa dimensione e non le altre, lo stesso fanno le molecole con l'energia radiante alle diverse lunghezze d'onda, assorbendola ed entrando in uno stato energetico superiore.

Caffè a parte, un ulteriore e fondamentale, per la nostra storia, contributo arrivò nel 1896 grazie allo scienziato svedese Svante August Arrhenius il quale non solo avanzò l'ipotesi che l'anidride carbonica potesse giocare un ruolo importante come assorbitore della radiazione infrarossa, ma che addirittura l'alternanza delle glaciazioni sul nostro pianeta (di cui si aveva già consapevolezza all'epoca), fosse dovuta proprio alla periodica variazione nelle concentrazioni atmosferiche di questa sostanza. A sostegno di questa sua teoria, Arrhenius sviluppò anche un'equazione, tutt'oggi utilizzata, che lega la variazione nella concentrazione di anidride carbonica alla variazione di quantità di energia trattenuta dall'atmosfera. La questione non era di poco conto e il dibattito scientifico divenne subito "caldo". Forti critiche ad Arrhenius arrivarono in particolare da Knut Ångström il quale, misurando la quantità di radiazione assorbita dall'anidride carbonica presente nell'atmosfera, giunse alla conclusione che questa era già arrivata a saturazione. In altre parole, le molecole presenti in atmosfera erano già più che sufficienti ad assorbire tutta la radiazione infrarossa disponibile, quindi anche aggiungendone o togliendone di altre non ci sarebbero state variazioni significative. Ora noi sappiamo che non è così e che l'atmosfera, dal punto di vista del bilancio radiativo, non è ancora "satura" di anidride carbonica ma all'epoca la questione venne discussa a lungo. Aldilà del dibattito scientifico, è anche interessante ricordare che Arrhenius decise di presentare questa questione anche al grande pubblico, con un libro divulgativo nel quale presentò il possibile cambiamento del clima a seguito delle emissioni antropiche di anidride carbonica legate all'utilizzo dei combustibili fossili. Nel suo libro, pubblicato in svedese, tedesco e inglese, Arrhenius parla di questo cambiamento come di un evento positivo, da sostenere e promuovere per i benefici che si sarebbero avuti da un aumento delle temperature a seguito di un raddoppio (proprio così) della concentrazione atmosferica di anidride carbonica.

Benché nessuno mettesse in dubbio la capacità dell'anidride carbonica di assorbire la radiazione infrarossa, quindi di contribuire al riscaldamento

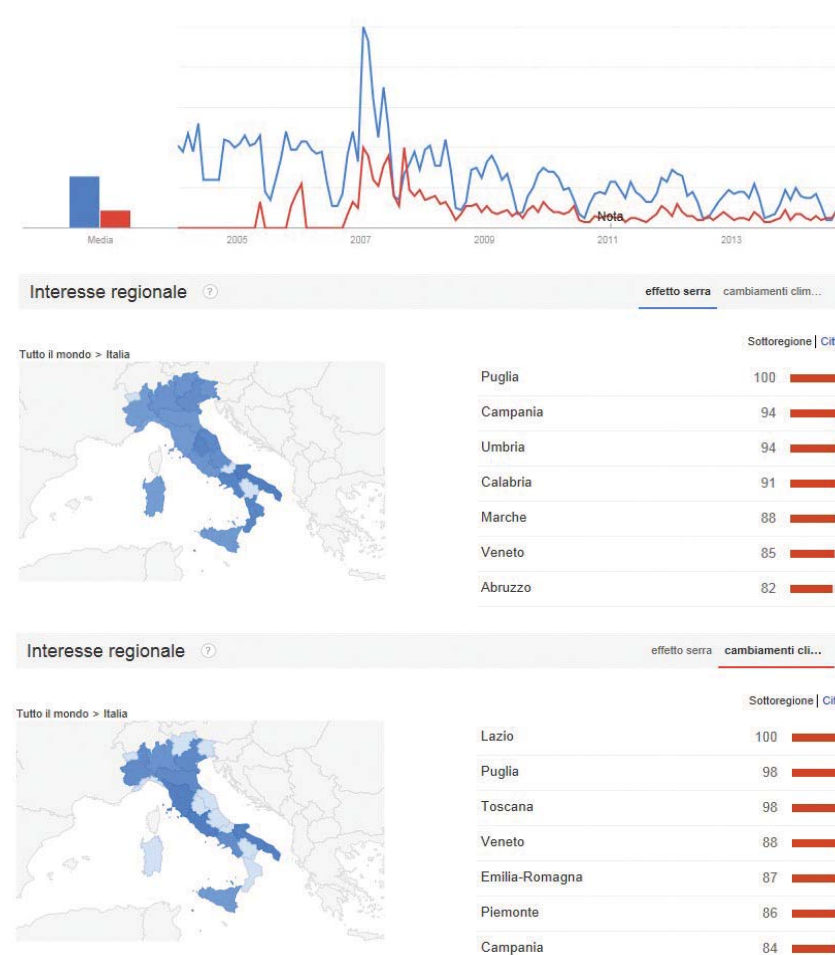


Fig. 1

Il pannello superiore riporta l'andamento derivato da "Google Trends" relativo alla frequenza di ricerca dell'espressione "effetto serra" (linea blu) e "cambiamenti climatici" (linea rossa) in Italia sul motore di ricerca Google®. Si può vedere come l'espressione "effetto serra" fosse molto più cercata, almeno sino al 2011-2012. Interessante notare il picco di interesse a seguito dell'uscita del report IPCC 2007. I pannelli inferiori indicano la frazione di interesse regionale per l'espressione "effetto serra" (pannello intermedio) e "cambiamenti climatici" (pannello inferiore)

Upper panel shows the trend of the frequency of "effetto serra" (greenhouse effect, blue line) and "cambiamenti climatici" (climate changes, red line) queries on Google® search engine obtained by "Google trends". It can be seen that the interest for "effetto serra" was larger than that for "cambiamenti climatici" since the very beginning and at least up to 2011-2012. It is interesting to note the peak of interest corresponding to the issue of IPCC report in 2007. Bottom panels show the regional map of interest for "effetto serra" (intermediate panel) and "cambiamenti climatici" (lowest panel)

della bassa atmosfera terrestre, molto più controversa era la questione dell'effetto di questo assorbimento sul bilancio energetico Terra-Sole. Verso il 1920, infatti, i lavori di Milutin Milankovic, inizialmente visti con favore da diversi climatologi, tra i quali Vladimir Koeppen, tolsero spazio ai meccanismi proposti da Arrhenius. Diversi climatologi e soprattutto oceanografi, ritenevano che le superfici d'acqua presenti sul nostro pianeta avrebbero potuto assorbire senza troppa difficoltà l'incremento di anidride carbonica, compensandone l'impatto sul bilancio radiativo terrestre. Arrhenius stesso, inoltre, nelle sue valutazioni non teneva conto di diverse retroazioni, come quella dovuta alla formazione ed impatto delle

nuvole. Solo l'utilizzo dei moderni sistemi di simulazione numerica ha contribuito, tutto sommato molto recentemente, a dirimere in parte la questione mostrando come, di fatto, tutti avessero un po' di ragione. Da Arrhenius a Milankovic, passando per gli oceanografi.

E la serra che fine ha fatto?

Ecco, appunto, questa è una buona domanda, dato che in tutto questo percorso di discussioni e considerazioni quantitative e qualitative, la questione della serra, cioè del dispositivo usato da De Saussure, e descritto da Fourier, rimase pressoché inalterata e l'espressione "effetto serra" rimase e

tutt'ora rimane ad indicare il processo che portava ad un aumento della temperatura all'interno di un ambiente circoscritto a seguito dell'assorbimento della radiazione infrarossa. In realtà, anche se il risultato è il medesimo, le serre non si scaldano tanto a seguito dell'assorbimento della radiazione infrarossa, quanto a seguito della soppressione della trasmissione del calore per convezione. Nelle serre, infatti, è la presenza del soffitto che interrompe i moti convettivi più che la presenza dell'anidride carbonica o del vapore acqueo a produrre l'osservato aumento delle temperature. Per quanto possa sembrare strano, quindi, è fisicamente corretto dire che le serre non si scaldano per "effetto serra".

Un'altra questione tutto sommato interessante è quella su come mai si pone tanta attenzione all'ani-

dride carbonica come causa dell'effetto serra quando invece è il vapore acqueo a fornire il contributo maggiore al riscaldamento dell'atmosfera tramite l'assorbimento della radiazione infrarossa. La ragione di questo è che il vapore acqueo è un vapore, cioè può dare origine al passaggio di fase. Una molecola di vapore acqueo presente in atmosfera, infatti, mediamente dopo uno o due giorni torna sempre a diventare una gocciolina d'acqua attaccandosi a numerose sue sorelle o depositandosi su qualche superficie. Contemporaneamente, altre molecole di vapore acqueo scapperanno da goccioline d'acqua o dalle superfici sulle quali sono depositate per tornare allo stato di vapore. Questa continua danza è regolata quasi totalmente dalla temperatura. Abbassando la temperatura, il vapore acqueo

condensa molto rapidamente dando origine ad acqua liquida, e, se la temperatura aumenta, altrettanto rapidamente l'acqua liquida evapora. A differenza dell'acqua, il ciclo dell'anidride carbonica è molto più lungo in quanto l'anidride carbonica non "condensa" alle temperature normalmente osservate in atmosfera e, per essere rimossa dall'atmosfera, deve essere assorbita da qualche pianta o dall'acqua e, da qui, essere assorbita da qualche essere vivente. Questo ciclo ha tempi scala di diverse decine d'anni, per questo rilasciare in atmosfera molecole d'anidride carbonica, soprattutto se di origine fossile, ha degli effetti a più lungo termine rispetto al rilascio del vapore acqueo.

Giunti a questo punto è lecito chiedersi se la questione dell'effetto serra che non è un vero e proprio effetto serra sia veramente rilevante o se possa circoscriversi al solo ambito della storia della scienza. Ebbene, anche in questo caso la questione è un po' più articolata. L'effetto serra, infatti, non è che uno dei meccanismi che intervengono nel modulare il bilancio energetico Terra-Sole, quindi nel modulare le variazioni climatiche. Ridurre il tema delle variazioni climatiche al "solo" effetto serra potrebbe essere non solo incorretto scientificamente, ma anche controproducente. Nonostante le concentrazioni di anidride carbonica in atmosfera siano inesorabilmente cresciute negli ultimi anni, raggiungendo la soglia psicologica di 400 parti per milione (che comunque è un numero piccolo: quattrocento molecole di anidride carbonica per ogni milione di molecole d'aria!), la temperatura media dell'atmosfera sul nostro pianeta non è aumentata altrettanto rapidamente, almeno negli ultimi dieci anni.

Confondere i cambiamenti climatici con l'effetto serra, in questo caso, potrebbe portare a dedurre falsamente che l'anidride carbonica rilasciata non sia in realtà rilevante per spiegare la variazione delle temperature. Le ragioni di questo fortunato rallentamento nella crescita delle temperature medie non sono ancora del tutto chiare, ma sembra che un ruolo importante possa essere giocato dalla parte profonda degli oceani che assorbirebbero ora il calore in eccesso. Come se nel dispositivo costruito da De Saussure ci fosse una sorta di circuito di raffreddamento pensato per entrare in funzione solo in corrispondenza a determinate temperature. Non ci sarebbe pertanto un indebolimento dell'effetto serra, dato che la quantità di anidride carbonica presente nella nostra atmosfera continua ad assorbire mediamente ancora più di 1 Watt al metro quadro di radiazione infrarossa, tenendola vicino al terreno, ma

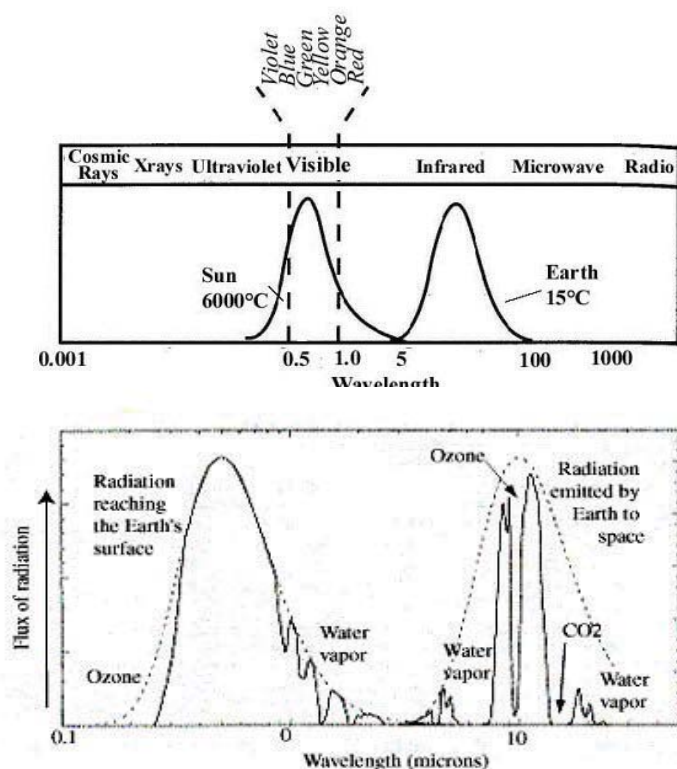


Fig. 2

Nel pannello superiore lo spettro di radiazione proveniente dal Sole (curva sulla sinistra) e lo spettro di radiazione uscente dalla Terra (curva a destra) in assenza di un'atmosfera.

Nel pannello inferiore, lo spettro di radiazione solare che arriva al suolo (curva di sinistra) in una giornata senza nuvole e che esce dalla Terra (curva a destra). Come si può vedere, buona parte della radiazione idealmente uscente viene "assorbita" dal vapore acqueo, dall'anidride carbonica e dall'ozono troposferico (nei pressi del terreno). È importante osservare che la maggior parte della radiazione uscente viene assorbita dal vapore acqueo e non dall'anidride carbonica. Si può anche osservare come una piccola parte (in termini energetici) della radiazione entrante venga direttamente assorbita dal vapore acqueo e dall'ozono stratosferico (quello che si trova al di sopra del 20 km di altezza)

Upper panel reports the spectrum of incoming solar radiation (leftmost bellshaped curve) and the spectrum of outgoing Earth radiation if our planet were without an atmosphere.

Bottom panel, the real incoming solar spectrum in a cloudless day (leftmost curve) and the outgoing Earth's radiation (rightmost curve). Dotted curves are the incoming and outgoing radiations in absence of the Atmosphere. As it can be seen, the majority of outgoing Earth's radiation is absorbed by water vapour, by carbon dioxide and by tropospheric ozone (ozone which forms near to the ground). It can even be seen that a small amount of incoming radiation is absorbed by stratospheric ozone (that which is almost placed at 20 km above ground level)

questo effetto sarebbe solo compensato, purtroppo temporaneamente, da meccanismi diversi di trasporto del calore.

Un altro aspetto rilevante per il quale è necessario approfondire il tema della reale consistenza dell'effetto serra è quello legato alle possibili mitigazioni. L'anidride carbonica, infatti, non è la sola sostanza che favorisce l'assorbimento della radiazione infrarossa nei pressi del terreno. Anche l'ozono ha un suo peso rilevante, così pure come il metano e le particelle di aerosol "nero" (il cosiddetto "black carbon"). A differenza dell'anidride carbonica, però, sia il metano che l'ozono che il black carbon hanno dei tempi di permanenza in atmosfera decisamente inferiori. Pur avendo un effetto radiativo minore di quello dell'anidride carbonica, se si riuscisse a ridurre la concentrazione di queste sostanze, si otterrebbe un risultato quasi immediato di diminuzione della quantità di energia trattenuta, cosa che invece non accade per l'anidride carbonica vista la lunghezza caratteristica del suo ciclo.

Oltre alle sostanze che hanno un effetto serra, esistono anche delle sostanze che al contrario favoriscono la dispersione dell'energia radiante. Una di queste è rappresentata dagli ossidi di zolfo. Molto è stato fatto negli anni passati per ridurre le emissioni di questa sostanza, precursore delle piogge acide che, a tutt'oggi, non sono più un problema diffuso e rilevante come accadeva negli anni '60 e '70. Guardando l'effetto radiativo di queste sostanze che, in parte compensano l'effetto radiativo dei "gas a effetto serra", viene lecito chiedersi se si debba proseguire con le politiche di riduzione di queste sostanze o se sia più ragionevole mantenerne il livello attuale di emissione che, tutto sommato, sembra garantire sufficiente sicurezza ambientale e un positivo beneficio in termini di "contrasto" all'effetto serra.

Conclusioni

L'effetto serra ha svolto certamente un ruolo importante per la comprensione dei meccanismi che sono alla base dell'equilibrio climatico e delle sue variazioni. Lo sviluppo delle conoscenze nell'ambito della chimica e della fisica dell'atmosfera hanno però mostrato come ridurre il cambiamento climatico al solo effetto serra possa risultare nella migliore delle ipotesi riduttivo e, forse, anche deleterio in quanto tende a precludere l'approfondimento di ulteriori meccanismi che, forse, potrebbero essere maggiormente utili nell'ottica della mitigazione delle variazioni del clima. Potrebbe essere pertanto utile

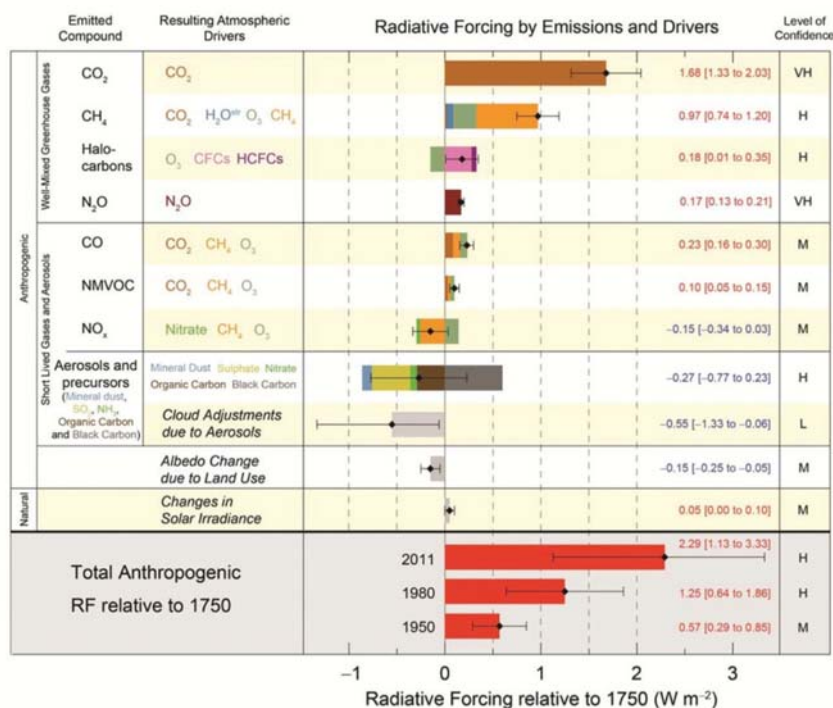


Fig. 3

Forzante radiativa (quantità di energia trattenuta) associata alle diverse sostanze espressa in Watt al metro quadro (fonte IPCC Quinto Report WP4)

Radiative forcing (amount of absorbed energy) associated to the different substances expressed in Watt per squared meter (source IPCC 5th Report WP4)

ampliare il contesto interpretativo del cambiamento climatico, introducendo anche nell'ambito della informazione e divulgazione ulteriori meccanismi in modo da avvicinare il grande pubblico alla complessità (e bellezza) del sistema nel quale viviamo.

Bibliografia e sitografia

J. B. Fourier (1827). *Mémoire s Mémoire sur la température du globe terrestre et des espaces planétaires ur la température du globe terrestre et des espaces planétaires*
<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k32227.image.r=memoires+de+l%27academie+des+sciences.f808.langEN>

J. Tyndall (1873). *Contributions to molecular physics in the domain of radiant heat* <https://archive.org/details/contributionsto02tyndgoog>

Rete Nazionale di Rilevamento dei Gas ad effetto Serra
<http://www.green-net.it/>

Quinto rapporto IPCC sui cambiamenti climatici
<http://www.ipcc.ch/>

CAMBIAMENTI CLIMATICI IN FRIULI VENEZIA GIULIA

evidenze recenti e prospettive

Abstract

The climate change effects that have been observed at planetary scale have their impact also in Friuli Venezia Giulia region. Analysing the monthly mean temperatures in the 1991-2013 period, a warming rate of $1^{\circ}\text{C} / 50$ years has been computed. This temperature increase is different according to the season and to the climatic areas of the region; nevertheless it is possible to consider the strong spring and summer warming tendency as a common trend. On the other side, significant trends in precipitation are hard to find out; however, comparing the monthly mean precipitation in 1961-1990 and 1991-2010 periods, a decreasing trend can be observed in the first 6 months of the year and an increasing trend has been found in the September-December period.

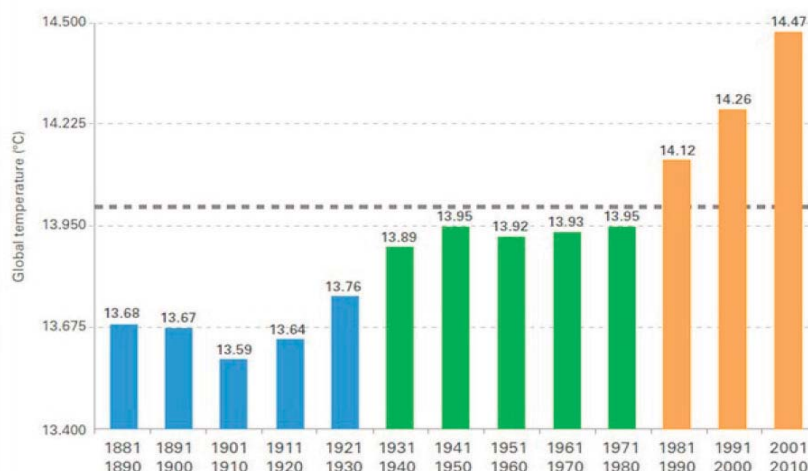


Fig. 1
Andamento per decennio della temperatura media globale
Decadal trend of global mean temperature

Il tema dei cambiamenti climatici viene spesso associato a quello degli estremi meteorologici che – apparentemente – sempre più spesso interessano non solo le nostre zone, ma un po' tutto il pianeta. Solo per citarne alcuni, è ancora vivo nella gente il ricordo dell'alluvione in Sardegna a novembre 2013, di quelle dell'ottobre-novembre 2011 in Liguria, dell'uragano Katrina negli USA nel 2005 e del tifone Haiyan nelle Filippine a novembre 2013 ... e cronaca recente sono le alluvioni a Genova e in altre zone del Nord-Italia, compreso il FVG, di poche settimane fa. E poi non ci sono solo gli episodi estremi, ma anche gli andamenti stagionali fuori norma: la caldissima estate 2003, la siccità del 2013 seguita dal piovosissimo e caldissimo inverno 2013-2014 ... è tutta colpa dei cambiamenti climatici? In realtà, nel corso della storia eventi calamitosi legati a fenomeni atmosferici si sono verificati purtroppo con monoto-

na e tragica frequenza e i cambiamenti climatici nella storia del nostro pianeta non sono un'eccezione, ma la normalità, per cause naturali che vanno dalla deriva dei continenti al vulcanismo, dalle variazioni astronomiche alla variabilità solare. Alla luce di ciò, le domande che ha senso porsi diventano due e precisamente se esista oggi una variazione significativa del clima del nostro pianeta rispetto al passato e, soprattutto, se sia diversa la "velocità" con cui questa si realizza; se esista e sia quantificabile l'azione dell'uomo nell'attuale processo di riscaldamento globale. Molte risposte già le troviamo nella prima parte del quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (WGI AR5), pubblicato a fine settembre 2013: in primo luogo la temperatura media globale superficiale è aumentata, con un trend lineare, di $0,85^{\circ}\text{C}$ nel periodo 1880-2012; l'aumento totale è stato di $0,78^{\circ}\text{C}$ dal 1850-1900 al

2003-2012 e di $0,12^{\circ}\text{C}$ per decennio nel periodo 1951-2012; gli ultimi tre decenni sono stati i più caldi dal 1850 (Fig. 1, Fig. 2); l'ultimo decennio è stato il più caldo. In secondo luogo, è "estremamente probabile" (probabilità al 95-100%) che l'attività antropogenica sia la causa dominante del riscaldamento osservato fin dalla metà del XX secolo; in altre parole, la maggioranza dei climatologi ritiene che le forti anomalie registrate negli ultimi 30-50 anni non siano giustificabili dalla presenza delle sole forzanti di tipo naturale. E, come sappiamo, le principali forzanti non naturali – cioè antropiche – sono le emissioni di gas ad effetto serra, le emissioni di aerosol, la deforestazione e il cambio d'uso del suolo. Nel rapporto IPCC l'effetto antropogenico viene evidenziato mediante la stima del forzante radiativo: il forzante radiativo totale causato da attività antropogeniche è positivo ed è pari a $2,29\text{W/m}^2$ nel periodo 1750-2011, molto più grande di quello causato dalla attività solare nel medesimo periodo, pari a $0,05\text{W/m}^2$. Fra i gas ad effetto serra, la CO_2 è senz'altro quello più noto; la sua attuale concentrazione ha ormai raggiunto le 400 ppm (0.040%), contro un valore pre-industriale di 280 ppm (0.028%), con un aumento dunque del +40% ca., equivalente da solo ad un maggior "contributo solare" di $+1,7\text{W/m}^2$. Va ricordato comunque che la CO_2 non è il più efficace tra i gas serra, ma quello con maggior impatto, per la sua concentrazione relativamente alta.

Una volta chiarito il contesto globale, spostiamo



Fig. 2a
Muir Glacier, Alaska, 13/08/1941, foto W. Field



Fig. 2b
Muir Glacier, Alaska, 31/08/2004, foto B.F. Molnia

ora l'attenzione su quello locale: cosa si registra in Friuli Venezia Giulia? Fra i primi dell'800 e i primi anni 2000, la temperatura media annua a Udine è aumentata complessivamente di 0,5 - 1,0°C. Questa tendenza viene rafforzata dall'analisi delle temperature medie delle stazioni di Gorizia, Talmassons, Fossalon e Trieste nautico (dati dell'Ufficio Idrografico) per il periodo 1961- 2009, confrontate con le serie di 47 stazioni regionali (dati Regione FVG – Osmer) per il periodo 1991-2013 (Fig. 3). Il metodo di analisi dei dati utilizzato è il seguente: viene effettuata dapprima la costruzione di una serie di temperature medie annuali per la pianura, sulla base di tutti i dati Osmer 1991-2013; il dato medio per il periodo di riferimento 1991-2010 è pari a

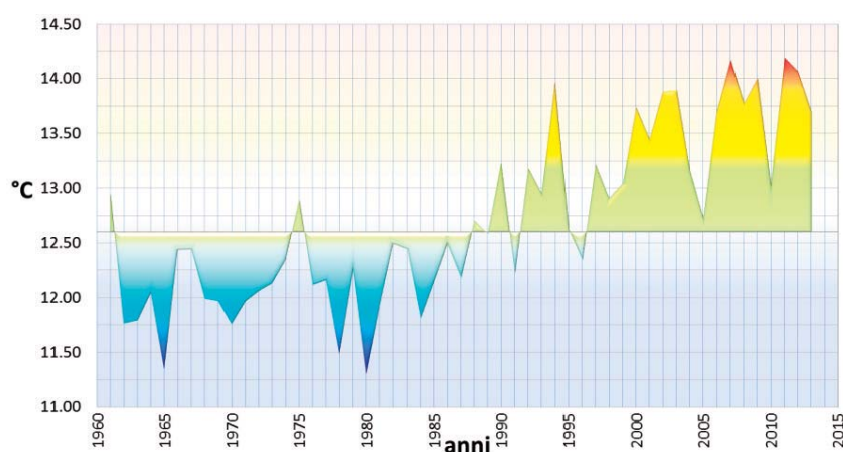


Fig. 3
Temperatura media sulla pianura FVG dal 1961 al 2013
Mean temperature on FVG plain in the 1961-2013 period

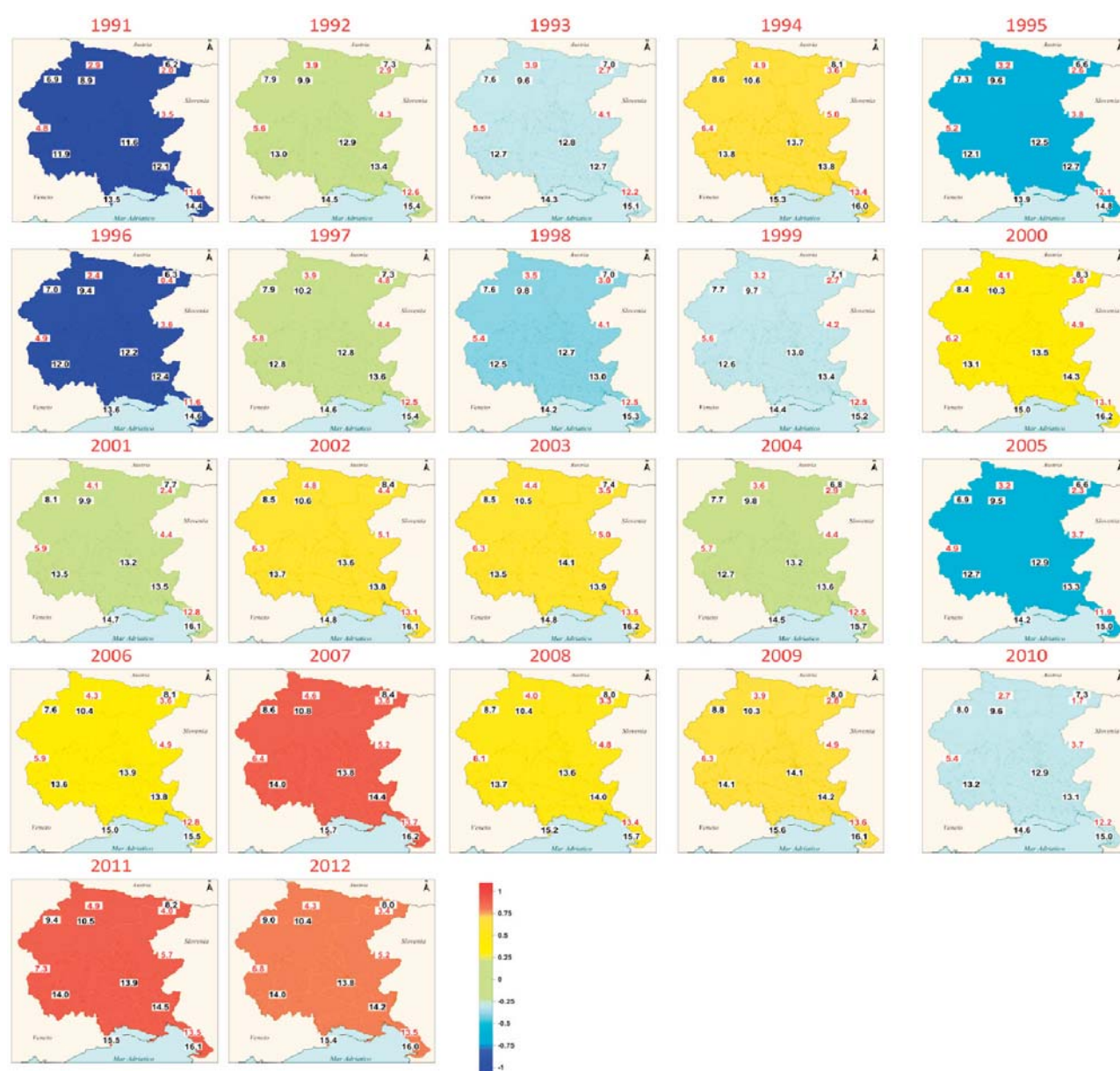


Fig. 4
Temperature medie annuali in 13 località della regione (in rosso quelle di quota) e le anomalie medie annuali regionali (campitura colorata) rispetto al ventennio 1991-2010

Yearly mean temperatures in 13 FVG locations (red colour means peak stations) and yearly regional mean anomalies (shaded colours) compared to the 1991-2010 period

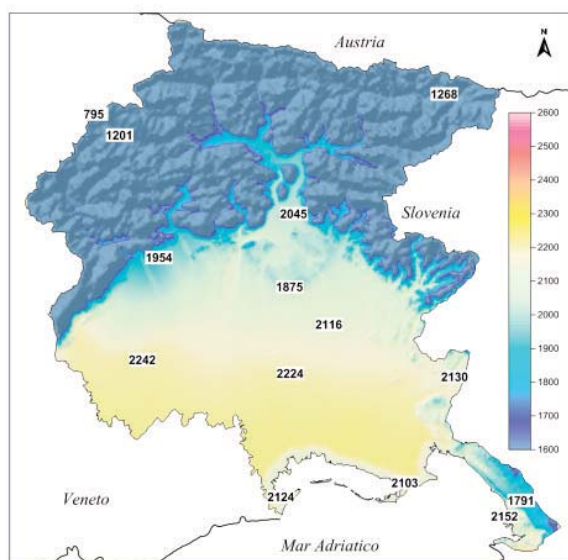


Fig. 5a
Indice di Huglin - media 1961-1990
Huglin index- average 1961-1990

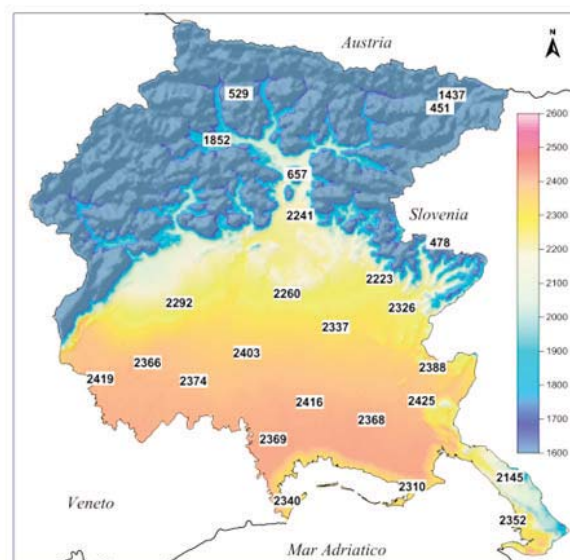


Fig. 5b
Indice di Huglin - media 2000-2009
Huglin index - average 2000-2009

13.2°C, corrispondente alla temperatura media di Udine. Viene poi calcolato lo scarto medio tra la serie 1991-2013 e la media delle quattro stazioni dell'Ufficio Idrografico per i periodi comuni (1991-2009); tale scarto è pari a 1.2°C. Infine, lo scarto medio così ottenuto viene utilizzato per allineare e giustapporre la serie Osmer con i dati dell'Ufficio Idrografico. Così facendo, si osserverebbe un riscaldamento di circa 1°C in 50 anni, più alto rispetto a

quello globale (0.8°C in 100 anni); dal 2000 in poi sono scomparsi valori di temperatura media annua inferiori ai 13°C e comparsi dati superiori ai 14°C. Ancora, si rileva che nel periodo 1991-2012, le tre annate più calde in FVG sono state il 2007, il 2011 e il 2012 (Fig. 4). Questo aumento della temperatura si è manifestato in misura diversa nelle varie stagioni e nelle varie zone climatiche del nostro territorio; è tuttavia possibile delineare quali tendenze

comuni un forte riscaldamento primaverile ed estivo (evidente anche nel numero di giorni con temperatura massima superiore a 30°C, in molte zone cresciuto da circa 35 giorni a circa 50 dopo il 2000), mentre in inverno solo alcune località si riscaldano (anche se non si può ignorare che i due inverni più caldi sono entrambi posteriori al 2000); in generale, invece, l'autunno manifesta una certa stabilità.

Indici termici correlati alla temperatura, come per

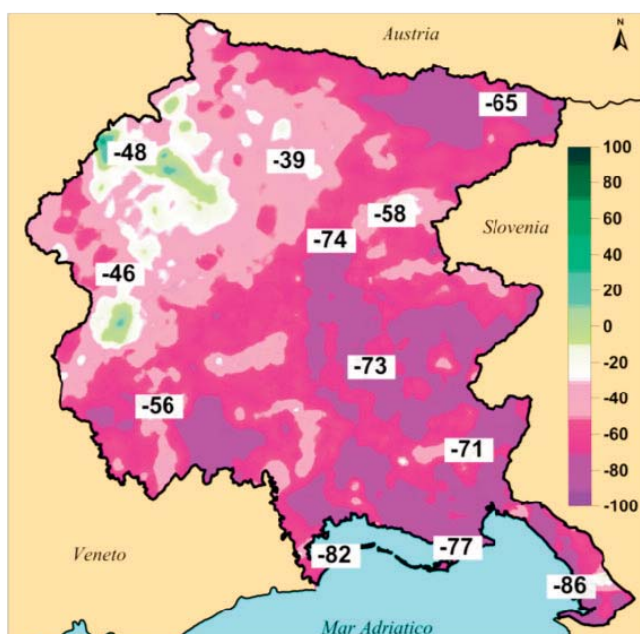


Fig. 6
11 Giugno-10 Agosto 2013: variazione delle precipitazioni rispetto al valore medio climatico (%)
11 June - 10 August 2013 : precipitation deviation from the mean climatic value (%)

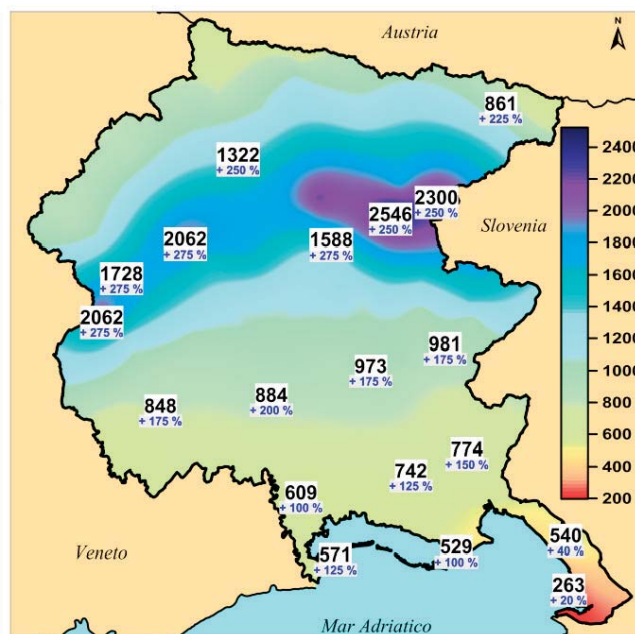


Fig. 7
Inverno 2013 - 2014: totali di precipitazione in 18 stazioni del Friuli Venezia Giulia (mm) e variazione percentuale sul dato climatico
Winter 2013 - 2014: cumulated precipitation in 18 FVG station (mm) and deviation from the climatic value

esempio quello elietermico di Huglin che descrive le disponibilità termiche per la coltura della vite, mostrano negli ultimi anni delle variazioni significative (Fig. 5)

Più incerta è, invece, l'individuazione di trends significativi nell'andamento delle precipitazioni in FVG: in generale le serie storiche bisecolari indicherebbero una certa diminuzione, da alcuni stimata anche del 10%, ma per certe località non appare un trend rilevante. Si nota una maggiore variabilità dopo il 2000, con il susseguirsi di annate, o stagioni (Fig. 6, Fig. 7) piuttosto siccitose e di altre molto piovose. Restrignendo agli ultimi decenni, dal confronto tra la pioggia media mensile registrata nel periodo 1961-1990 e quella registrata nel periodo 1991-2010 (Fig. 8), si osserva diminuzione delle precipitazioni mensili nei primi 6 mesi dell'anno e viceversa un aumento da settembre a dicembre, il che significherebbe che è in atto una ridistribuzione delle piogge per intensità e frequenza, cioè una variazione dei regimi pluviometrici. Ciò viene evidenziato anche da un confronto fra i totali di precipitazione, il numero dei giorni di pioggia, l'intensità media giornaliera e il massimo periodo con piogge inferiori a 10 e 20 mm rispettivamente negli ultimi decenni per tre località del FVG (una nella zona di costa, una in pianura e una in montagna).

Infine, circa le prospettive, vengono ripresi i risultati del IPCC che mostrano che, al di là degli scenari di sviluppo o di forzante equivalente considerati, il pianeta nel suo complesso è destinato a subire un ulteriore consistente riscaldamento e una diminuzione delle precipitazioni alle basse latitudini, mentre alle alte latitudini si avrà un loro aumento. Cercando di dettagliare e di desumere le prospettive per il FVG, si conferma anche per noi a fine secolo un forte aumento della temperatura, che - come già appare dalle avvisaglie - sarà più pronunciato nella stagione estiva, mentre le precipitazioni subiranno una diminuzione complessiva, specie nel periodo estivo; viceversa, nel periodo invernale potrebbero mostrare anche un leggero aumento.

Rispetto a questi cambiamenti, il nostro territorio mostra - secondo le stime attuali - livelli abbastanza elevati di vulnerabilità; gli impatti saranno quindi piuttosto sensibili in molti settori (dall'agricoltura al turismo, ...) e richiederanno significative misure di adattamento.

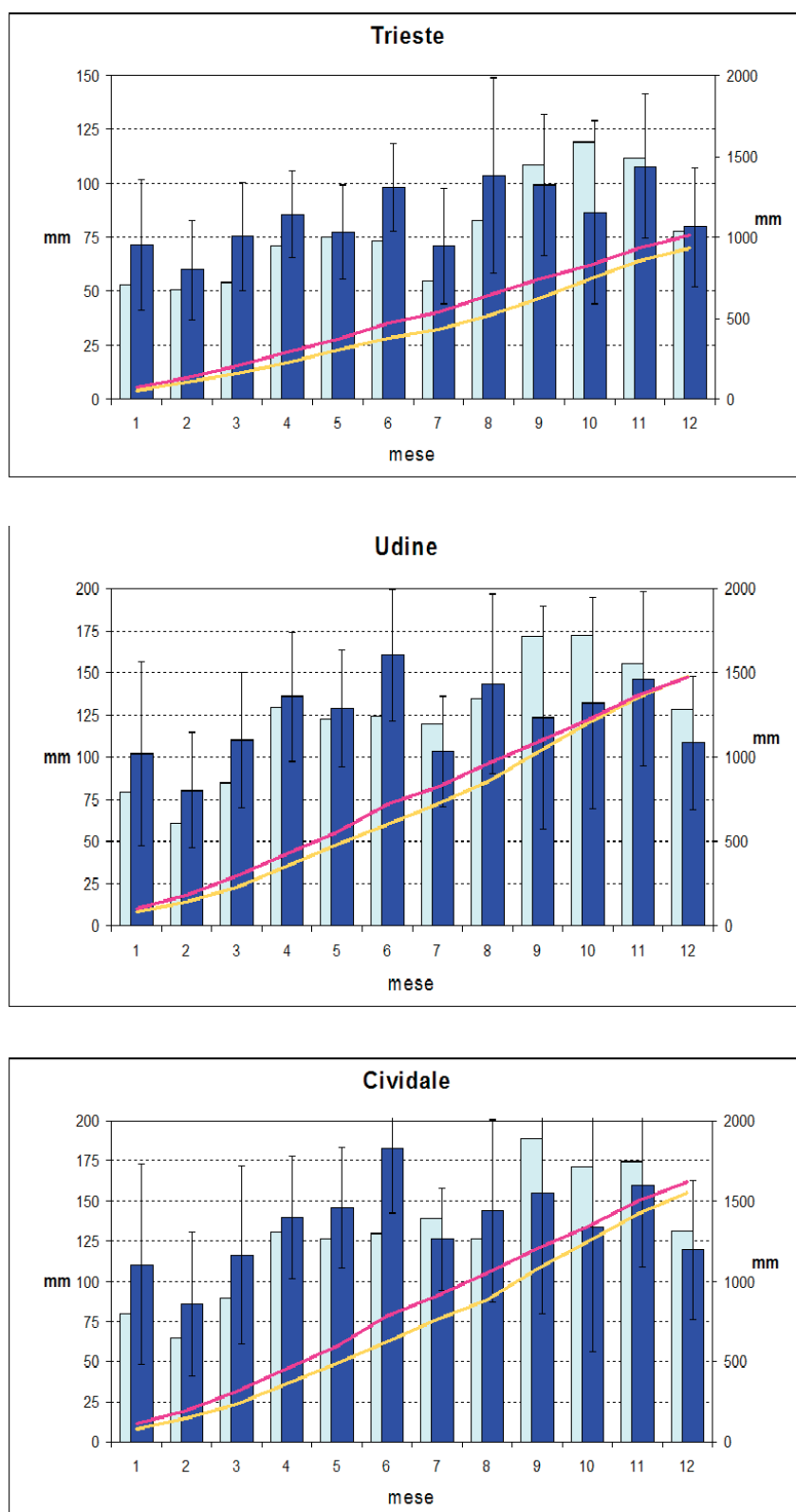


Fig. 8
Confronto tra la pioggia media mensile registrata nel periodo 1961-1990 (blu) e quella registrata nel periodo 1991-2010 (azzurro)
Comparison between monthly mean precipitation in the 1961-1990 (blue colour) and 1991-2010 (light blue) periods

IL PUNTO DI VISTA DEL MARE: LA TEMPERATURA

Abstract

The Ocean temperature is a key variable for the air-sea heat exchanges and determines, together with salinity, the water density, which affects the thermohaline circulation. Present technology allows to measure temperature both "in situ" and remotely using sensors mounted on ships, fixed platforms and autonomous systems. Overall, in the last 80 years the Ocean temperature has risen, particularly since the 1970's; climate models suggest that this trend is expected to continue in the near future. The general behaviour is also observed at local scale in the Gulf of Trieste, where a secular time series of near-surface temperatures is available.

La temperatura, insieme con la salinità, determina la densità dell'acqua marina e quindi influenza la dinamica dell'Oceano; se una massa d'acqua di mare subisce un riscaldamento, il suo volume aumenta e, quindi, la sua densità diminuisce. Inoltre, la temperatura della superficie marina è un elemento chiave per gli scambi di calore con l'at-

mosfera.

Gli strumenti più comunemente usati nel passato per la misura della temperatura sono dispositivi manuali. Il termometro a pozzetto, adatto per profondità fino a pochi metri, è costituito da un termometro a mercurio, che pesca in un bicchiere riempito calando lo strumento in acqua; raggiunto l'equilibrio termico, lo strumento è recuperato e la lettura avviene mentre il bulbo è ancora immerso nell'acqua. Nel termometro a rovesciamento, idoneo anche per elevate profondità, la colonnina di mercurio può essere interrotta, "congelando" così la misura, per rovesciamento dello strumento, ottenuto sbloccando un fermo per mezzo di un messaggio fatto scorrere lungo la cima che sostiene il termometro. Il batitermografo meccanico, che viene fatto cadere liberamente in mare, e nel quale il sensore è associato a una punta scrivente che lascia una traccia su un vetrino affumicato, da leggere dopo il recupero dello strumento.

Attualmente esistono versioni elettroniche del termometro a rovesciamento per la misura puntuale della temperatura, e viene fatto uso di termistori

associati a sistemi di campionamento e registrazione computerizzati. Tra essi ricordiamo il CTD (Conductivity-Temperature-Depth), generalmente calato in mare da una nave, che misura e trasmette con continuità temperatura e conducibilità (da cui si ricava la salinità) in funzione della pressione, funzione della profondità. Esiste anche la versione moderna del batitermografo, che è a perdere e trasmette i dati durante la caduta attraverso un filo collegato al ricevitore in superficie.

In mare è spesso difficile o impossibile collocare uno strumento nel luogo e per il tempo desiderati, quindi sono stati sviluppati sistemi autonomi, ossia non collegati a un mezzo di superficie, che acquisiscono la temperatura e la trasmettono di solito via satellite. Tra essi ricordiamo i drifters, galleggianti che seguono la circolazione superficiale; gli ARGO, che seguono un ciclo programmato costituito da un periodo di deriva a profondità di crociera, quindi la risalita in superficie, durante la quale sono misurate temperatura e salinità, un periodo di permanenza in superficie per la trasmissione dei dati raccolti, quindi la discesa in profondità, e così

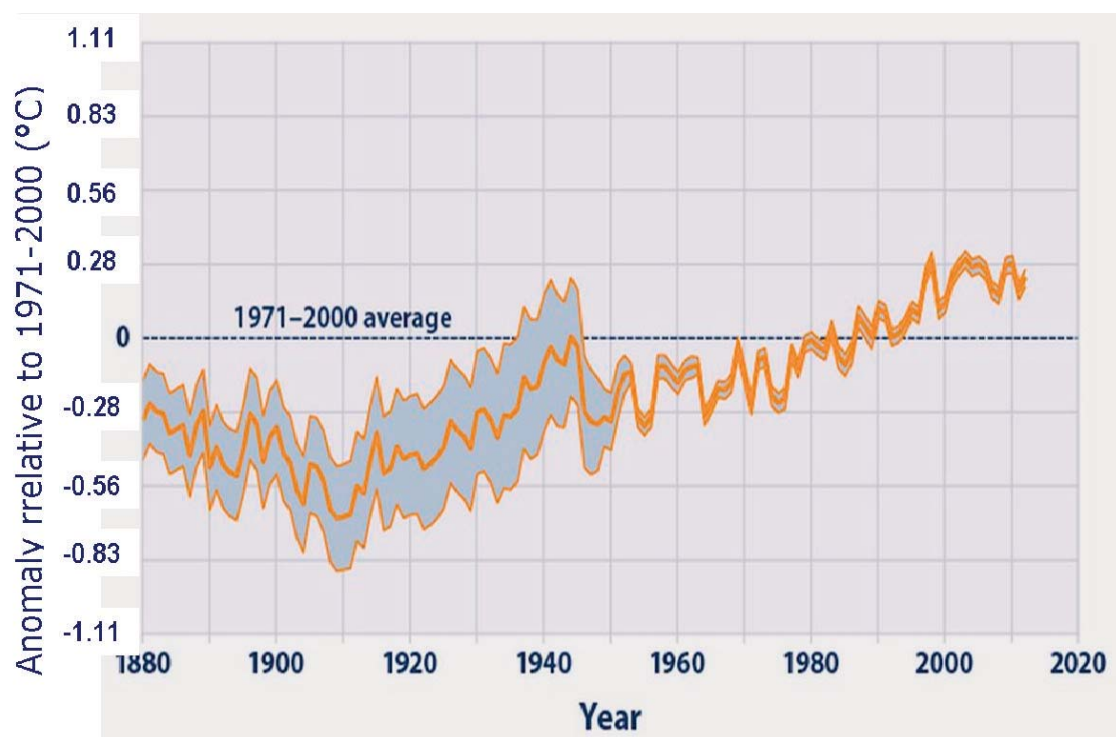


Fig. 1

Ricostruzione della temperatura media annua della superficie dell'Oceano dal 1880, riferita alla media 1971-2000. La banda grigia indica l'incertezza associata alla stima. (Fonte: NOAA, www.ncdc.noaa.gov/ersst/)

Reconstruction of the Ocean annual mean surface temperature since 1880, relative to the 1971-2000 average. The grey band indicates the uncertainty associated to the estimate. (Source: NOAA, www.ncdc.noaa.gov/ersst/)

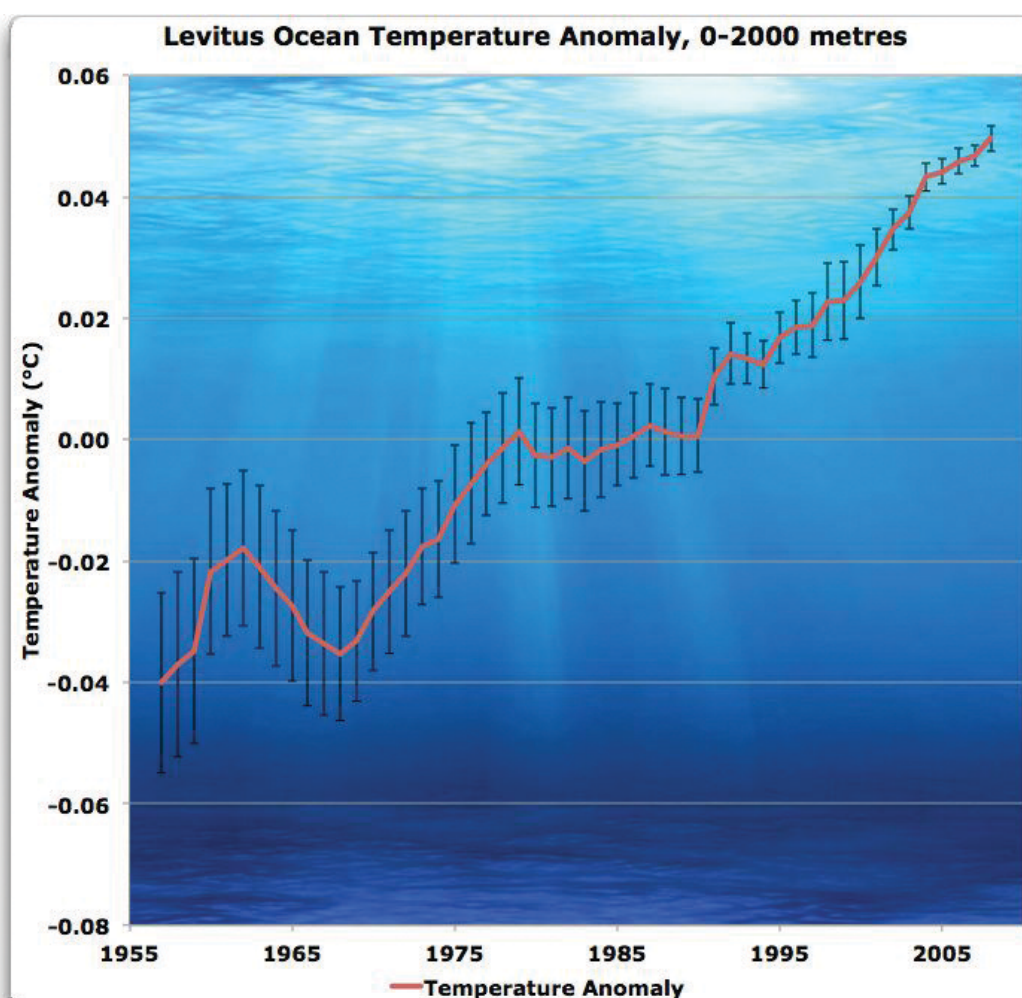


Fig. 2

Ricostruzione della temperatura media annua tra 0 e 2000 m dal 1955, riferita alla media 1981-1990. Le barre indicano le incertezze associate alle stime. (Dati: World Ocean Atlas 2013, www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/)

Reconstruction of the annual mean temperature of the 0-2000 m layer since 1955, relative to the 1981-1990 mean. Bars indicate the uncertainties associated to the estimates. (Data: World Ocean Atlas 2013, www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/)

via; i gliders, letteralmente "alianti", programmati per essere impiegati prevalentemente in profondità e risalire in superficie per trasmettere i dati ed, eventualmente, ricevere istruzioni per riprogrammare la missione. Dove possibile sono collocate stazioni fisse, da cui si misurano parametri meteorologici e marini in superficie e a varie profondità; si tratta di piattaforme fissate al fondo oppure galleggianti e ancorate, che possono trasmettere i dati via satellite o telefono (se vicine alla costa).

Nonostante le diverse soluzioni a disposizione, le osservazioni "in situ" sono ancora largamente insufficienti, specialmente nelle aree più remote e in profondità, per fornire da sole una descrizione dettagliata della temperatura dell'Oceano nel suo complesso, e per questo scopo i dati sono integrati nelle simulazioni eseguite per mezzo di modelli matematici.

In generale nell'Oceano la temperatura diminui-

sce all'aumentare della profondità, ma con modalità diverse a seconda della latitudine. Ai Tropici, dove le differenze stagionali sono molto piccole, si osserva una rapida variazione di temperatura mediamente tra 100 e 300 m, passando da oltre 25°C, tipici dello strato superficiale, a circa 10°C, e successivamente da un calo più lento fino ai valori abissali, inferiori a 5°C. Lo strato in cui avviene il rapido calo della temperatura è detto "termoclino". Nelle aree polari la colonna d'acqua è praticamente omogenea d'inverno con temperature attorno a 5°C, mentre d'estate lo strato superficiale è un po' più caldo (attorno a 10°C) di quello profondo, che presenta condizioni simili a quelle invernali. Alle medie latitudini, dove le temperature sono intermedie tra quelle tropicali e polari, la condizione estiva assomiglia a quella tipica dei Tropici, ma con termoclino meno pronunciato e più profondo, fino a 300-500 m, mentre in inverno la

situazione è più simile a quella delle aree polari, con i primi 400-500 m praticamente omogenei.

Ovunque e in ogni stagione lo strato immediatamente sottostante la superficie è soggetto al rimescolamento causato dal moto ondoso e dagli scambi di calore dovuti all'interazione con l'atmosfera, ed è detto "strato mescolato" (*mixed layer*). Nei mari semichiusi la temperatura può differire sensibilmente rispetto a quella dell'Oceano; ad esempio nel Mediterraneo la temperatura di fondo, a oltre 3000 m, non scende sotto circa 13°C, mentre nell'Oceano è inferiore a 3°C.

A partire dalle osservazioni "in situ" è stata ricostruita la temperatura media superficiale globale del mare a partire dal 1880 (Fig. 1). Essa ha un andamento abbastanza simile a quello della temperatura atmosferica, con due minimi relativi, rispettivamente intorno al 1910 e negli anni '50-'60, e un massimo relativo negli anni '40; dal 1970

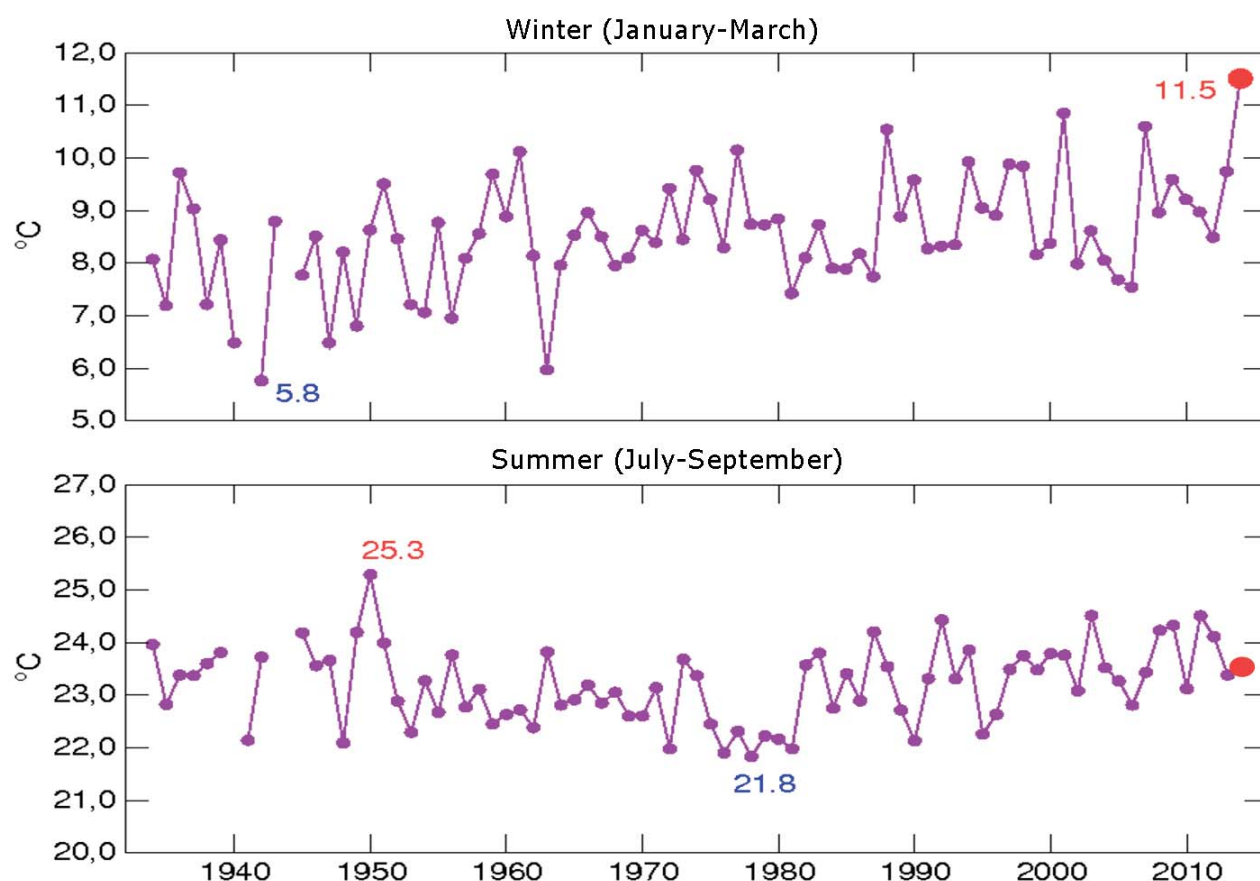


Fig. 3

Temperature medie stagionali a 2 m di profondità nel porto di Trieste dal 1934. Sono evidenziati in rosso i dati del 2014. (Dati: CNR-ISMAR, Trieste)

Seasonal mean temperatures at 2-m depth in Trieste harbour since 1934. The 2014 data are highlighted in red. (Data: CNR-ISMAR, Trieste)

circa si osserva una tendenza all'aumento che dura tuttora. Un simile andamento si riscontra dalla ricostruzione della temperatura nei primi 2000 m di profondità, possibile però solo dal 1955 a causa della scarsità di dati sottosuperficiali nel periodo precedente (Fig. 2).

Un capitolo a parte è rappresentato dall'osservazione della temperatura superficiale da satellite, basata sulla ricezione della radiazione elettromagnetica emessa dal mare, in particolare nelle bande dell'infrarosso e delle microonde. L'infrarosso consente un buon dettaglio spaziale, ma sono richieste correzioni per tener conto dell'influenza dell'atmosfera sul segnale osservato, che, inoltre, è assorbito dalle nubi; le microonde sono praticamente indisturbate dalle nubi, ma forniscono minor dettaglio e sono sensibili alla rugosità della superficie e alle precipitazioni. In entrambi i casi solo un sottile strato superficiale contribuisce all'emissione a causa dell'assorbimento da parte dell'acqua, cioè circa 1 µm per l'infrarosso e 1 mm per le microonde. Questi dati non sono omogenei con la temperatura superficiale "in situ", rappresentativa di uno strato dell'ordine di 1 m.

Secondo l'IPCC, in conseguenza del pronosticato riscaldamento globale dell'atmosfera la temperatura superficiale dell'Oceano pare destinata ad aumentare nei prossimi 50 anni tra 0.5 e 2.0°C, a seconda dei modelli.

Nel mare della nostra Regione la temperatura del mare si osserva in varie stazioni gestite da enti da ricerca o dall'Ente regionale stesso. L'ISMAR del CNR, in particolare, gestisce osservazioni in continuo presso la stazione costiera al Molo Fratelli Bandiera di Trieste, con misure a 0.4, 2 e 6 m di profondità, e la piattaforma PALOMA al centro del Golfo di Trieste, con misure a 3, 15 e 24 m. Esistono inoltre serie storiche di misure manuali nel porto di Trieste in prossimità della superficie risalenti al 1899. Da ricordare che dal 1934 al 1952 (con qualche interruzione) a Trieste ha funzionato anche un termografo marino, realizzato accoppiando uno strumento registratore a un tubicino di rame, che pescava alla profondità di 2 m, e conduceva il calore all'elemento sensibile del termografo.

Il Golfo di Trieste è poco profondo e questo comporta una notevole influenza atmosferica sul

corpo d'acqua. La temperatura del mare vicino alla superficie (2 m) presenta un'escursione media annua di oltre 15 °C (8-9°C nei mesi invernali e 23-24°C in quelli estivi). La variabilità interannuale è molto simile a quella dell'aria e si osservano notevoli differenze di anno in anno sia nelle temperature medie stagionali (Fig. 3) sia in quelle estreme. Durante gli ultimi 80 anni la temperatura media invernale presenta una tendenza all'aumento, particolarmente dagli anni '60; i tre inverni più caldi si osservano nel 2014, il più caldo da quando esistono osservazioni, 2007 e 2001; quelli più freddi si collocano, nell'ordine, nel 1942, 1963, 1947 e 1940. Le temperature estive presentano in media una diminuzione fino a circa il 1980, quindi un progressivo aumento; l'estate più calda è quella del 1950, seguono il 2003 e il 2011; le estati più fredde sono osservate, nell'ordine, nel 1978, 1976 e 1972. La temperatura massima estiva è variata tra 24.2°C, nel 1981, e 30.0°C, nel 2010; la più bassa minima invernale si è osservata nel 1942 con 3.2°C, quella più alta nel 2014 con 10.4°C.

I PICCOLI GHIACCIAI SOFFRONO MENO IL CALDO

Abstract

Very small glaciers (area < 0.1 km²) have received increased scientific attention during recent years, both for their rapid responses to the climate forcing and because they are characterized by microclimatic conditions, often marginal to glacier formation. They are particularly sensitive to climate changes and characterized by a great mass turnover, particularly evident in maritime areas with high precipitation. Here we consider the evolution from 1920 of the "Canin Eastern Glacier" (Italian Southeastern Alps) in order to correlate its evolution to the precipitation-temperature trends. We reconstructed a precipitation-temperature record at the altitude of the glacier, filling a lack of knowledge in this alpine sector. We observed a decrease in the mean annual precipitation of 10% in 90 years and a warming trend of 0.1°C per decade since 1851, and of 0.7°C per decade in the last 20 years. An inverse correlation between precipitation and mean air temperature during summer and ablation periods was also observed. Glacier dynamics revealed a phase of stability between 1945 and 1985 that seems to be a peculiar characteristic of this area. Moreover, through a general regression model the glacial terminus variations seem to be statistically influenced only by winter precipitation. This fact opens interesting perspectives for the possible future evolution of this small glacier and, more in general, to other small glaciers in maritime areas in regard to climate change scenarios.

Introduzione

I ghiacciai sono sensibili indicatori del clima e l'osservazione continua delle loro variazioni è considerata molto importante all'interno dei programmi internazionali di monitoraggio climatico (cit.). A livello globale il bilancio

di massa di un ghiacciaio in un certo periodo di tempo, ossia il calcolo della massa persa o acquisita (in termini di acqua equivalente), è generalmente strettamente legato alle temperature estive (cit.). La risposta dei ghiacciai alle variabili climatologiche dipende invece

dalle loro caratteristiche. La suscettibilità alle variazioni di temperatura e/o di precipitazioni è infatti relativamente piccola per un ghiacciaio che si trovi in un clima secco e freddo, ma relativamente elevata per uno che si trovi in condizioni di clima caldo-umido (cit.). Il rapporto tra

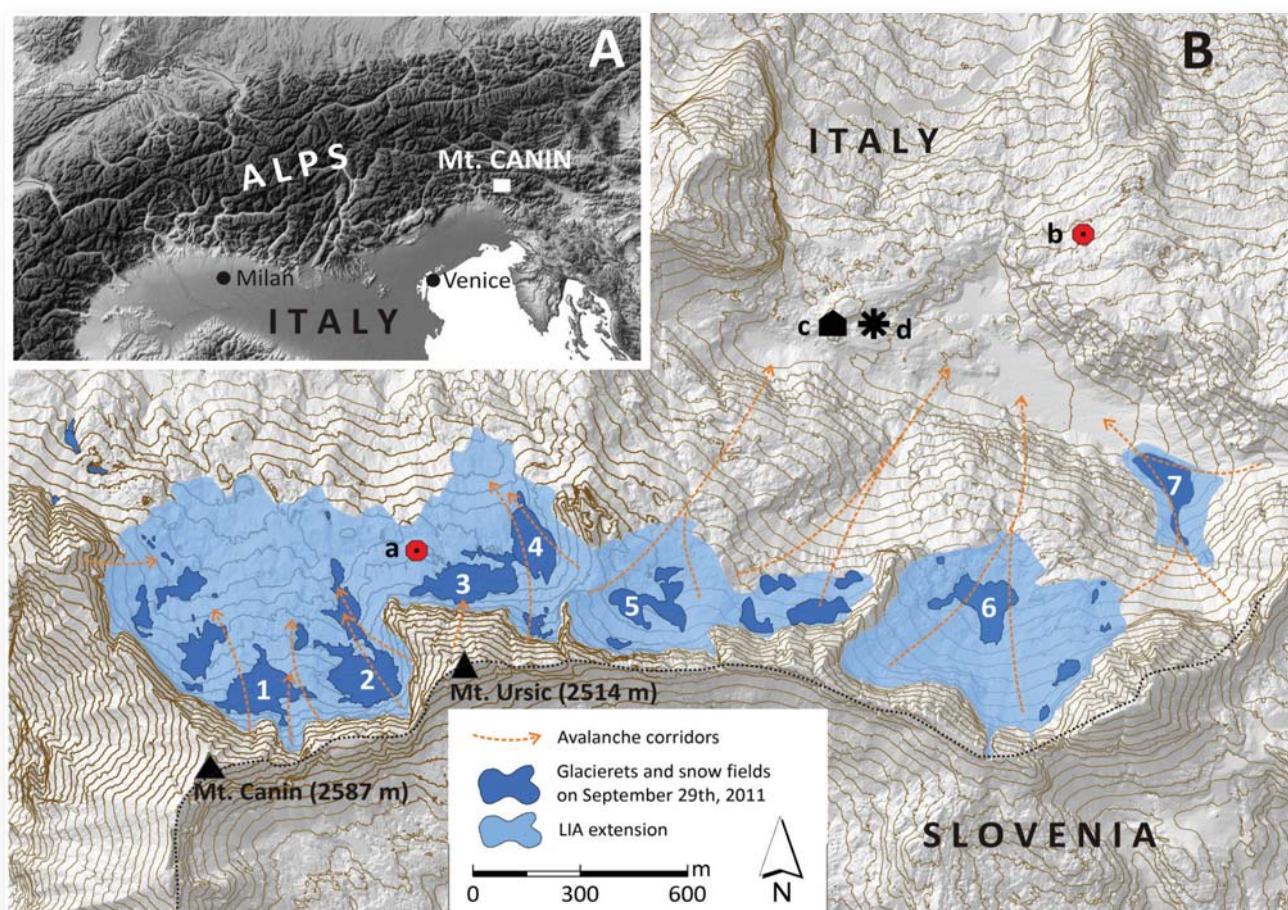


Fig. 1

Le Alpi (A) con l'area del Canin nel settore sud-orientale (B). a) stazione meteorologica del Canin a 2203 m; b) La stazione meteorologica del Livinal Lung a 1837 m; c) Rifugio Gilberti; d) Campo neve AINEVA; da 1) a 7) rispettivamente placche ovest ed est dei piccoli residui glaciali del Canin occidentale ed orientale, i nevai semipermanenti dell'Ursich, il glacionevato del monte Forato ed il piccolo ghiacciaio del Prevala. Con i vettori tratteggiati arancio sono indicati i corridoi di valanga (Fonte ufficio neve e valanghe FVG). L'estensione dei ghiacciai durante la piccola età glaciale è disegnata in azzurro chiaro

The Alps (A) and the Canin area in the SE sector (B). Alpine Chain, courtesy Scilands GmbH. 1) to 7), (dark blue) and the Max-Little Ice Age glaciers extension (light blue): (1) and (2) Western Canin; (3) and (4) Eastern Canin. (5) Snow fields and ice patches of former Ursic glacier; (6) Prestreljenik glacieret (former glacier); (7) Prevala very small glacier. The location of a) new AWS at 2203 m (AWS), b) Livinal Lung AWS (LL), c) Rifugio Gilberti hut and d) Winter Snow Accumulation measurement's site are also illustrated. Orange vectors highlight the avalanche corridors (courtesy Snow and Avalanche Office, FVG)

months	MAAT [°C] 1981-2010	MAP [mm] 1981-2010
Jan	-5.3	181
Feb	-6.0	134
Mar	-4.2	205
Apr	-1.6	265
May	3.2	304
Jun	6.6	260
Jul	9.2	245
Aug	9.2	251
Sep	5.8	326
Oct	2.7	436
Nov	-2.0	418
Dec	-4.7	311
YEAR	1.1	3335

Tab. 1
Climatologia 1981-2010 (temperatura e precipitazioni) del Canin ricostruite alla quota di 2200 m

Reconstructed 1981-2010 climatology (temperature – precipitation) of Canin's area at 2200 m a.s.l.

evoluzione glaciale e regime delle precipitazioni non è ancora però stato compreso del tutto. Le combinazioni di temperatura e precipitazioni medie responsabili di provocare ritiri o avanzate di un ghiacciaio sono molto variabili, e spesso bastano piccole differenze in uno dei due parametri per provocare sensibili variazioni (cit.). Più in generale si è osservato che i ghiacciai che hanno una stagione di accumulo ben definita, come quelli alpini alle quote medie (fino a 3500 m circa), sono principalmente controllati dal bilancio pluviometrico invernale (cit.). L'importanza delle precipitazioni nel guidare la risposta di un ghiacciaio, anche in condizioni di riscaldamento globale, è stata recentemente sottolineata osservando il comportamento dei diversi ghiacciai marittimi di tutto il mondo. Durante il così detto "Briksdalsbre event" (cit.) degli anni '90 ad esempio, la netta avanzata glaciale in Scandinavia è stata influenzata da un aumento delle precipitazioni invernali legato ad un indice NAO positivo. Nelle Alpi meridionali della Nuova Zelanda, si è visto similmente che le fluttuazioni glaciali riflettono l'andamento e l'intensità della circolazione atmosferica occidentale, in grado di portare un aumento di precipitazioni, e quindi accumuli di massa sui ghiacciai (cit.). L'aumento delle precipitazioni sembra anche essere la ragione principale per l'ispessimento e le avanzate di alcuni ghiacciai del Karakorum centrale durante il XX secolo (cit.). Recentemente è stato supposto che una generalizzata avanzata glaciale avvenuta nel Canada occidentale ed in Alaska durante il periodo medioevale,

sia stata molto probabilmente il risultato di un significativo aumento di precipitazioni invernali durante periodi dominati da condizioni di "La Niña" nel Pacifico, causati da una maggiore attività solare (cit.). Le ingenti e continue nevicate invernali sarebbero quindi state in grado di contrastare estati lunghe e calde. Anche nelle Alpi centrali italiane sono stati trovati gli indizi di una avanzata glaciale medioevale, nonostante le temperature estive fossero confrontabili a quelle attuali, perché in quel periodo le precipitazioni invernali erano verosimilmente molto più abbondanti di adesso (cit.). I piccoli ghiacciai del pianeta (area < 0.1 km²) sono stati per lungo tempo poco considerati a livello globale nello studio dei bilanci di massa perché ritenuti trascurabili. I piccoli ghiacciai possono essere però così numerosi in alcune aree da contenere una frazione significativa del volume totale di ghiacci (cit.). A scala globale, ad esempio, una precisione nel volume di $\pm 1\%$ richiede l'inclusione dei ghiacciai con un areale superiore a 1 km², ma a scala regionale la soglia può abbassarsi drasticamente. Qualora in un'area le soglie massima e minima siano dell'ordine di rispettivamente 100 km² e 0.01 km² o meno, ci si può attendere un errore notevole nell'ordine del 10%. Pertanto in alcune regioni, come nelle Alpi, al fine di ottenere stime di volume più accurate, bisognerebbe prevedere catasti glaciali molto particolareggiati e completi, che prendano in considerazione anche i corpi glaciali più piccoli e, spesso, ritenuti di poco conto (cit.).

Decenni di osservazioni hanno portato a ritenere che i piccoli ghiacciai di circo rispondano più rapidamente sia ai cambiamenti climatici sia agli eventi estremi (cit.), e si caratterizzano per bilanci inter-annuali interamente positivi o interamente negativi su tutta la loro superficie. Questo avviene proprio a causa delle loro limitate dimensioni e delle ridotte differenze di altitudine tra la fronte e l'apice (cit.). Questo aspetto è particolarmente evidente nelle zone marittime con elevate precipitazioni. Per questo motivo lo studio dei piccoli ghiacciai marittimi del Mediterraneo ha di recente ricevuto una aumentata attenzione a causa del loro particolare comportamento in risposta al cambiamento climatico e per il fatto che persistano a così bassa quota, spesso ben al di sotto della teorica linea altitudinale di equilibrio (cit.). Sono caratterizzati da condizioni microclimatiche limite per la formazione di un ghiacciaio, dove anche piccoli cambiamenti climatici possono essere fondamentali per la loro evoluzione. Il loro movimento orizzontale, a volte rotatorio, è tipicamente ridotto (anche inferiore al metro all'anno) e per questo la loro forma è spesso a lente rovesciata (come il ghiacciaio occidentale del Canin ad esempio) o a cuneo (come il ghiacciaio del Montasio) e sono caratterizzati nell'avere un rapporto spessore/lunghezza

molto marcato (cit.).

Il ghiacciaio orientale del Canin (figure 1-2) si trova in una zona ad alta piovosità, dove si registrano picchi medi annui tra i più alti del sistema alpino, ed assieme agli altri ghiacciai e glacionevati delle Alpi Giulie, può essere paragonato per la sua geometria e le sue caratteristiche a quelli esistenti nelle montagne del sud Europa e del Mediterraneo (cit.; Penisola Iberica, Alpi Marittime, Appennino italiano, Balcani settentrionali, Montenegro, Albania e Bulgaria). Questo lavoro, che riassume una ricerca recentemente pubblicata sulla rivista scientifica "International Journal of Climatology", si propone di: 1) valutare e ricostruire il clima (precipitazioni e temperatura) dell'area del Canin alla quota di 2200 m s.l.m.; 2) comprendere le relazioni tra questi due parametri climatici e l'evoluzione glaciale di questo caso studio, in una visione più globale. La scelta della quota di 2200 m ha un duplice significato. Da una parte rappresenta l'attuale quota media alla quale risiedono i due resti glaciali principali del Canin, ossia quello occidentale e quello orientale, dall'altra è la quota alla quale è stata installata la stazione automatica del Canin (figura 1), finanziata dal Parco Naturale delle Prealpi Giulie attraverso il progetto Climaparks e dall'Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia, che ne cura anche la manutenzione e gestione. Questo permetterà di unire quindi i dati futuri raccolti con quelli appena ricostruiti.

Ricostruzione di precipitazioni e temperatura

Le temperature mensili del Canin sono state ricostruite a partire dai dati di due stazioni vicine poste ad una trentina di chilometri di distanza e scelte per l'omogeneità e l'ottima qualità dei dati; la stazione austriaca di Villacher Alpe (32 km a NE del Canin a 2140 m s.l.m.) e la stazione slovena del Triglav-Kredarica (30 km ad E del Canin a 2537 s.l.m.). I dati ottenuti sono stati verificati con le stazioni del Livinal Lung a 1837 m di quota per il periodo 2000-2012, e con la nuova stazione del Canin per l'anno 2011 e 2012. Un'ulteriore verifica è stata eseguita con i dati della radiosonda di Udine Campoformido che ha confermato la qualità della ricostruzione.

Per le precipitazioni, invece, sono state usate le stazioni pluviometriche di Coritis, Stolvizza e Resia in Val Resia, di Saletto in Val Raccolana e di Žaga in Slovenia usando il metodo statistico dell'inverso delle distanze, dando pesi diversi ad ogni stazione a seconda della loro prossimità al Canin. È stata poi applicata una correzione altimetrica per riportare i dati in quota, verificando i risultati con i dati della pioggia estiva misurati presso la stazione del Livinal Lung.

Risultati

I risultati hanno portato ad ottenere un data set di 89 anni di precipitazioni giornaliere (1924-2012), 58 anni di temperature giornaliere (1955-2012) e 161 anni di temperature mensili (1851-2012). E' stato quindi possibile anche stabilire la climatologia del Canin, ed in generale delle Alpi Giulie occidentali. In particolare il trentennio di riferimento 1981-2010 vede una temperatura media annua di $1.1 \pm 0.6^\circ\text{C}$ con febbraio il mese più freddo e luglio quello più caldo (tabella 1). L'ultimo anno con temperatura media annua $<0^\circ\text{C}$ è stato il 1984 (figura 2). Gli eventi di caldo e freddo più marcato sono l'estate 2003 (11.3°C , anomalia positiva di 3°C rispetto alla media 1981-2010), l'estate 2012 (10.1°C) e la primavera 2006 (5°C). Gli eventi di freddo più marcato l'autunno 1912 e gli inverni 1929 e 1956.

Per quanto riguarda le precipitazioni la media annuale risulta di 3335 mm con febbraio il mese più avaro in precipitazioni (134 mm) e ottobre quello più ricco (435 mm) (tabella 1). Il 1937 l'anno più piovoso con 5358 mm (figura 3), mentre tra tutti i mesi spicca il novembre 2000 con 1745 mm di precipitazioni.

I dati mostrano una generale diminuzione delle precipitazioni annue del 10% tra il 1924 ed il 2012, ed un incremento delle temperature di 0.1°C per decade. Il trend di aumento delle temperature estive è praticamente continuo dagli anni '40, mentre non vi sono trend significativi di lungo termine nelle altre stagioni. Tra la fine degli anni '40 e l'inizio degli anni '80 molti inverni hanno registrato precipitazioni abbondanti. L'incremento delle temperature è marcato in tutte le stagioni e particolarmente intenso d'estate, specialmente dagli anni '80 (0.7°C per decade). In questo scenario il ghiacciaio orientale del Canin ha mostrato un comportamento leggermente differente rispetto alla maggior parte dei ghiacciai alpini e del mondo. Una sostanziale fase di stabilità con alcune brevi avanzate delle fronti ha interessato il corpo glaciale tra il 1945 ed il 1985, in corrispondenza del picco di precipitazioni invernali, e nell'ultimo decennio tale tendenza pare ripetersi, in seguito a numerosi inverni particolarmente nevosi (tra tutti le stagioni 2008-09 e 2013-14). I piccoli residui glaciali del Canin, quindi, sembrano essere maggiormente influenzati dalle precipitazioni invernali piuttosto che dalle temperature estive. Se come pronosticato da numerosi scenari e proiezioni modellistiche climatiche, le precipitazioni sulle Alpi sono destinate ad aumentare nei prossimi decenni a causa del riscaldamento globale (cit.), questo potrebbe portare ad una nuova fase di stabilità dei nostri piccoli ghiacciai, o addirittura a brevi periodi di incremento. Se si pensa al riscaldamento globale in atto e al forte ritiro a cui stanno andando incontro quasi tutti gli apparati glaciali terrestri del pianeta, in particolare

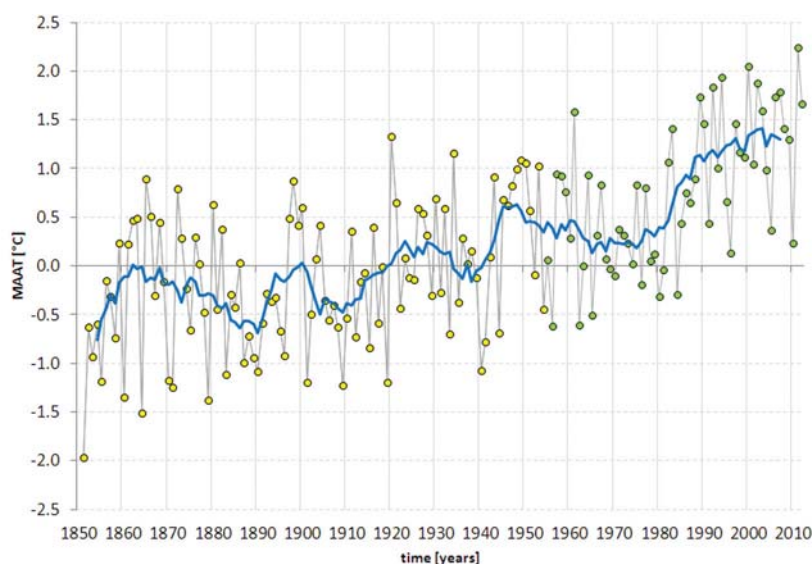


Fig. 2
Temperatura media annua ricostruita per l'area del Canin dal 1851 a 2200 m s.l.m. attraverso i dati di Villacker Alpe (punti gialli) e del Triglav (punti verdi). La linea blu marcata rappresenta una media mobile semplice di periodo 11 anni
Reconstructed MAAT for the Canin glacier's area since 1851 at 2200 m a.s.l. through the Villacker Alpe data set (yellow dots), and Triglav data set (green dots). Bold blue line represents a simple 11 years moving average

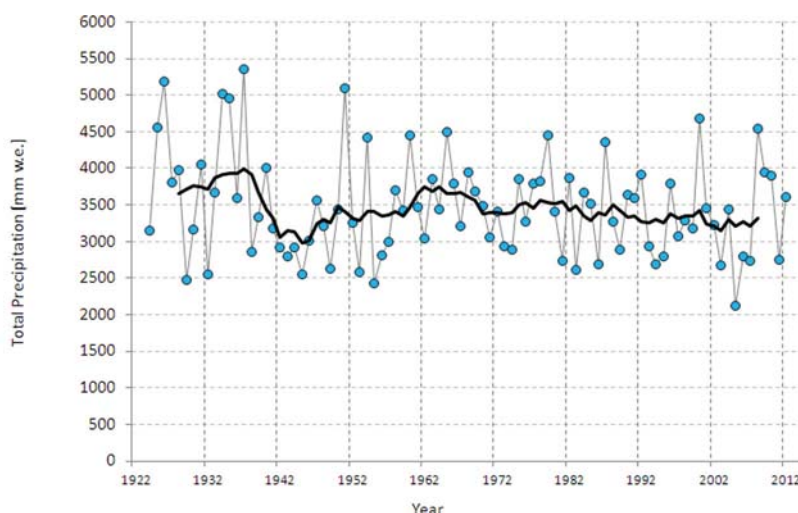


Fig. 3
Andamento delle precipitazioni totali (1924-2012) nell'area del Canin a 2200 m s.l.m.. La linea nera marcata rappresenta una media mobile semplice di periodo 11 anni
Pattern of Total Precipitation (1924-2012) in the Canin area at 2200 m a.s.l.. The black solid line represents a simple 11-year running mean

dell'emisfero settentrionale, questo potrebbe sembrare un paradosso. Molto semplicemente, però, potrebbe solo rappresentare una breve fase di stabilità prima della scomparsa totale degli ultimi piccoli resti glaciali del Friuli

Venezia Giulia, ovviamente se il riscaldamento terrestre dovesse continuare con i ritmi tenuti nel corso degli ultimi decenni.

Bibliografia

Per approfondimenti e riferimenti bibliografici alle citazioni fare riferimento a:

Colucci R.R., Guglielmin M. (2014) Precipitation-temperature changes and evolution of a small glacier in the southern European Alps during the last 90 years. *International Journal of Climatology*; doi: 10.1002/joc.4172

IL PARCO NATURALE REGIONALE DELLE PREALPI GIULIE

www.parcoprealpigiulie.it



PARCO
NATURALE
PREALPI
GIULIE



Volgendo lo sguardo dalla pianura friulana in direzione nord-est ci si imbatte nella catena dei Musi e nella maestosità della cima del Canin. Si tratta di una vista affascinante, che invoglia a scoprire un mondo fatto di acque limpide, cascate, grotte e rocce carsiche, flora e fauna che nulla hanno da invidiare ad altre famose zone dell'arco alpino.

Questo è il mondo del Parco naturale regionale delle Prealpi Giulie: istituito nel 1996, interessa i territori dei comuni di Chiusaforte, Lusevera, Moggio Udinese, Resia, Resiutta e Venzone, tutti in Provincia di Udine ed ha una superficie complessiva di circa 100 km², interamente montuosi.

La scelta di istituire un'area protetta nella fascia prealpina che si estende fra il Tagliamento ed il confine con la Slovenia deriva dalle specifiche caratteristiche naturalistiche, paesaggistiche ed etnografiche che in queste zone si possono trovare.

Il territorio del Parco infatti si colloca a cavallo di due unità geografiche distinte: le Prealpi e le Alpi Giulie.

Alle prime appartengono il massiccio del Plauris, le dorsali Cochiazze - Guarda e dei monti Musi. Si tratta di lunghe catene montuose, disposte parallelamente in senso est-ovest, che si succedono come quinte degradanti verso la Pianura Friulana. Delle seconde fanno parte il monte Canin (2.587 m), limitatamente alla cresta compresa fra la Baba Piccola e la Sella Prevala, l'intero altopiano del Foran dal Muss, il Bila Peč e il Col Ladrìs.

Ciò che colpisce il turista che si avventura in quest'area è l'elevato grado di "wilderness", conferito dalle caratteristiche geomorfologiche e vegetazionali, nonché dalla concentrazione degli insediamenti umani nei fondovalle: si possono quindi percorrere chilometri di sentieri in ambienti selvaggi e suggestivi, spesso in completa solitudine.

Le specificità presenti sono in buona parte dovute al fatto che sul territorio del Parco si incontrano e si incrociano tre grandi aree biogeografiche, mediterranea, alpina e illirica, che portano in dote all'am-

biente una varietà floristica e faunistica difficilmente rinvenibile altrove.

Gli endemismi, i fenomeni di carsismo di alta quota, i fontanoni, le miniere abbandonate, le scure faggete, le costruzioni rurali, i pascoli, i contrasti cromatici dell'autunno, stambecchi, camosci e marmotte, tutto concorre a rendere speciale la visita a questi luoghi. Non si può tralasciare il fatto che essi rappresentano anche un significativo punto di contatto fra mondi culturali diversi: quello friulano e quello slavo.

Una particolare specificità è infatti rappresentata dalle comunità locali insediate nella Val Resia e nell'Alta Val Torre che hanno saputo per secoli conservare la loro lingua e le loro tradizioni ed hanno concorso, con la loro laboriosità, a formare il paesaggio del territorio dell'area protetta e delle zone contermini. Stavoli, casere, sentieri, passerelle, prati e pascoli costituiscono testimonianze di una quotidianità che ha convissuto con la natura ed ha plasmato giorno dopo giorno il territorio offrendolo oggi pressoché integro ai visitatori ed agli amanti della montagna.

Forte è la vocazione internazionale di queste zone attestata dal riconoscimento rilasciato da Europarc di "Ecoregione transfrontaliera Alpi Giulie" che altro non è che l'unione del Parco naturale delle Prealpi Giulie e del Parco nazionale sloveno del Triglav con la sua ampia Riserva di biosfera.

Oggi l'area protetta viene gestita dall'Ente parco che si occupa di rendere concrete le finalità per cui il Parco è stato creato. Passo dopo passo l'Ente, in collaborazione con le Amministrazioni locali, si impegna a perseguire tali finalità nel tentativo di tramandare alle nuove generazioni un territorio ancora integro e vitale, in grado di costituire la base per scelte sostenibili di sviluppo sociale ed economico.





Fotografie di Marco Di Lenardo

CAMBIAMENTI CLIMATICI IN CORSO

XIV CONFERENZA ANNUALE UMFVG – 15 NOVEMBRE 2014

- ore 09.00 APERTURA XIV CONFERENZA ANNUALE
- ore 09.30 Si fa presto a dire “serra” (Easy to say “greenhouse”)
A cura di Fulvio Stel e Dario Giaiotti
Centro Regionale di Modellistica Ambientale
Agenzia Regionale per l'Ambiente F.V.G.
Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia
- ore 10.00 CAMBIAMENTI CLIMATICI IN F.V.G.: EVIDENZE RECENTI E PROSPETTIVE
A cura di Stefano Micheletti ed Andrea Cicogna
Osservatorio Meteorologico Regionale
Agenzia Regionale per l'Ambiente F.V.G.
- ore 10.30 IL PUNTO DI VISTA DEL MARE: LA TEMPERATURA
A cura di Fabio Raicich
Consiglio Nazionale delle Ricerche - ISMAR
Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia
- ore 11.00 I PICCOLI GHIACCIAI SOFFRONO MENO IL CALDO
A cura di Renato R. Colucci
Consiglio Nazionale delle Ricerche - ISMAR
Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia
- ore 11.30 UMFVG RISPONDE
Dibattito aperto al pubblico con i relatori della conferenza ed ospiti a sorpresa
Coordina Fabio Pagan e Barbara Pernar
- ore 13.00 PRANZO SOCIALE UMFVG