ETH zürich

ETH Library

Decadal variations of surface solar radiation and its connection to climate and atmospheric processes

Doctoral Thesis

Author(s):
Chiacchio, Marc

Publication date:
2010

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-006400963

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH NO. 19360

Decadal variations of surface solar radiation and its connection to climate and atmospheric processes

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

presented by

Marc Chiacchio

Master of Science, Rutgers University

born 26 November 1968

citizen of United States and Italy

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Christoph Schär, examiner
Dr. Martin Wild, co-examiner
Dr. Nikolaos Hatzianastassiou, co-examiner

2010

Abstract

In order to study the decadal changes of downward surface solar radiation (DSW) on different temporal and spatial scales in Europe an analysis is made from surface observations from the Global Energy Balance Archive (GEBA) for the period 1970-2000. The results in the annual mean show a statistically significant decline of -3.0% decade^{-1} (-3.8 Wm^{-2}) for the period 1970-1985 and is followed by a nonsignificant increase of 0.3% decade^{-1} (0.4 Wm^{-2}) during 1985-2000. The seasonal evolution of DSW exhibits similar trends in the spring and summer but not in winter and autumn. In spring a large increase of 1.6% decade^{-1} (2.5 Wm^{-2}) is found during 1985-2000 while summer shows the greatest decrease in DSW of -3.2% decade^{-1} (-6.8 Wm^{-2}) during 1970-1985. A small positive nonsignificant trend is reported in winter while a significant negative trend of -2.5% decade^{-1} (-2.1 Wm^{-2}) is seen in autumn during 1970-2000. Moreover, by comparing the DSW and cloud cover from 9 different cloud types to the North Atlantic Oscillation (NAO) index, DSW trends in winter and autumn are found mainly to be attributed to the NAO and mid- to low-cloud cover in southern Europe while the spring and summer DSW trends are attributed to mid- to low-cloud cover in northern Europe. By analysing the correlation of the above parameters in the low-frequency variability, a decrease in the correlation between DSW and cloud cover is shown. From this result it is proposed that aerosols may be interfering with this relationship possibly strengthening the link between DSW and NAO in winter and autumn.

Because aerosols have been known to be the main contributor to decadal changes in DSW, studying their seasonal decadal variability is important to assess how much of an influence they have in certain seasons. Sulfate and total aerosol optical depth (AOD) are simulated from the Goddard Chemistry Aerosol Radiation and Transport (GOCART) model for 1979-2007 over Europe. Trends of annual mean sulfate AOD are estimated during 1985-2000 and show a decline of 69% over the continent and 75% in eastern Europe. Winter and spring exhibit the greatest variations followed by summer and autumn. Overall the decrease in AOD agrees with the increase found in DSW in the annual, spring, and summer but not in the winter and autumn decadal time series. It is proposed that the NAO and its associated cloud cover during these two seasons are mainly responsible for the changes in DSW. In addition, we also explore the link between sulfate AOD and NAO index and find a significant correlation of -0.77 in winter for Europe. Wavelets analysis reveals a significant anti-phase relationship around 1-year and is most pronounced during the late 1980s. Cross-correlation shows a seasonal dependence of sulfate AOD and NAO with an in-phase correlation during winter and an anti-phase correlation during summer. This analysis may help explain dimming and brightening in the seasonal mean and could possibly determine whether anthropogenic aerosols have contributed to the large positive trend of the NAO during the 1980s. However, the cause and effect relationship between sulfate aerosols and NAO remains inconclusive.

It is advantageous to study dimming and brightening on a greater spatial scale achieved by gridding station measurements to allow a better representation of this phenomenon in Europe. At the same time it would enable a better assessment of climate models and satellite-derived radiative flux algorithms to be made when studying the DSW on a decadal time scale. In order to accomplish these goals, it is necessary to apply geostatistical techniques, which includes ordinary kriging and inverse distance weighting (IDW). These methods were used to interpolate data from observed points from the GEBA dataset for the period 1965-2005 on a monthly mean time scale. To determine which of these methods perform best, cross validation and a comparison between estimated and measured data from the Baseline Surface Radiation Network (BSRN) were applied. Based on these statistical tests, ordinary kriging was the best method for interpolating DSW.

In summary the main results of the thesis show a detailed analysis of dimming and brightening on the seasonal time scale in Europe with a connection to cloud cover, aerosols and atmospheric circulation. In addition, it shows the importance of using geostatistics to produce a gridded dataset from DSW station measurements to further study the decadal variability of DSW on a larger spatial scale as well as for validation and improvement of climate models and satellite-derived radiative flux algorithms.

Riassunto

Al fine di valutare le variazioni decadali della radiazione solare superficiale (DSW) in Europa su diverse scale temporali e spaziali, è stata eseguita l'analisi dalle osservazioni superficiali del Global Energy Balance Archive (GEBA) per il periodo 1970-2000. I risultati mostrano una diminuzione statisticamente significativa del -3,0% decennio^{-1} (-3,8 Wm^{-2}) per il periodo 1970-1985, seguita da un aumento non significativo del 0,3% decennio^{-1} (0,4 Wm^{-2}) nel periodo 1985-2000. L'evoluzione stagionale della DSW mostra tendenze analoghe in primavera ed in estate, ma non in inverno e in autunno; in particolare, in primavera si è osservato il maggiore aumento, pari all'1,6% decennio^{-1} (2,5 Wm^{-2}), e in estate la maggiore riduzione, pari al -3,2% decennio^{-1} (-6,8 Wm^{-2}). Per il periodo 1970-2000, si è osservato solo un leggero aumento della radiazione superficiale in inverno, ma una significativa diminuzione, pari al -2,5% decennio^{-1} (-2,1 Wm^{-2}), in autunno. Confrontando la DSW e la copertura nuvolosa di 9 tipi di nubi con l'indice dell'Oscillazione Nord-Atlantica (NAO) si è inoltre notato che le variazioni autunnali e invernali della DSW sono principalmente attribuibili alla NAO e alle nubi medie e basse presenti sull'Europa meridionale, mentre quelle primaverili ed estive sono attribuibili alla copertura nuvolosa media e bassa in nord Europa. Infine, la correlazione fra la DSW e la copertura nuvolosa mostra una diminuzione alle basse frequenze che porta ad ipotizzare una possibile interferenza da parte degli aerosol che, in autunno e inverno, rafforza il legame fra DSW e NAO.

Poiché gli aerosol sono ritenuti la principale causa delle variazioni decadali della DSW, studiando la loro variabilità stagionale, è importante valutare qual è l'effettiva influenza in ogni singola stagione. A questo scopo, mediante il modello Goddard Chemistry Aerosol Radiation and Transport (GOCART), sono state simulate le quantità di solfato e di aerosol optical depth (AOD) totale presenti in Europa nel periodo 1979-2007. Fra il 1985 e il 2000 la variazione della media annuale di AOD solfato mostra un calo del 69% su tutto il continente e del 75% in Europa orientale con la massima variazione in inverno e primavera e, a seguire, estate e autunno. In generale la diminuzione di AOD corrisponde all'aumento della DSW in primavera ed estate, ma non in inverno ed autunno; si ipotizza pertanto che, in queste ultime stagioni, i fattori maggiormente responsabili delle variazioni della DSW siano il NAO e la copertura nuvolosa ad esso associata. Nel periodo invernale si nota inoltre che il fattore di correlazione fra l'AOD solfato e l'indice NAO è pari al –0,77 su tutta l'Europa e l'analisi effettuata mediante le wavelet rivela i due indici rimangono in opposizione di fase per circa un anno e questa situazione è maggiormente accentuata alla fine degli anni '80. La correlazione incrociata mostra la dipendenza stagionale dell'AOD solfato dall'indice NAO e, in particolare, la correlazione risulta in fase durante l'inverno e in opposizione di fase durante l'estate. Si ritiene che l'analisi effettuata contribuisca a spiegare il dimming and brightening nella media stagionale e possa aiutare a determinare se gli aerosol di origine antropica hanno contribuito al forte aumento della NAO durante il 1980.

La disponibilità di dati al suolo opportunamente interpolati su un grigliato regolare permette di studiare il fenomeno di dimming and brightening su una scala spaziale più grande e di meglio rappresentarlo sull'Europa; inoltre, aiuta a migliorare le stime prodotte dai modelli climatici e ad ottimizzare gli algoritmi per derivare il flusso radiativo dai dati da satellite utilizzati nello studio della DSW su una scala di tempo della decadale. Per ottenere una buona interpolazione, sono state utilizzate tecniche geostatistiche, quali l'ordinary kriging e l'inverse distance weighting (IDW), applicate a dati osservati da stazioni GEBA nel periodo 1965-2005 su medie mensili. I metodi applicati per l'interpolazione sono stati valutati mediante tecniche di validazione incrociata ed il confronto tra valori stimati e osservazioni della superficie ottenute dal Baseline Surface Radiation Network (BSRN); l'orindary kriging è risultato il metodo migliore per l'interpolazione della DSW.

In conclusione, questa tesi presenta una dettagliata analisi di dimming and brightening sull'Europa su scala stagionale e mette in evidenza la relazione con la copertura nuvolosa, gli aerosol e la circolazione atmosferica. Inoltre, mostra l'importanza dell'utilizzo di metodi geostatistici per interpolare su un grigliato regolare un dataset di dati di DSW misurati da stazioni a terra. Il dataset così organizzato può essere utilizzato per studiare la variazione decadale della DSW su una scala spaziale più ampia, nonché per la validazione di modelli climatici e algoritmi per la derivazione di flussi radiativi di dati da satellite.

.