Analisi a lungo termine delle serie di misure di irradianza ultravioletta in Valle d'Aosta e a Roma

Diémoz H.
ARPA Valle d'Aosta, loc. Grande Charrière 44, 11020 Saint-Christophe (AO)
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto Scienze dell'Atmosfera e del Clima, via Fosso del Cavaliere, 100, 00133 Roma
h.diemoz@arpa.vda.it

Siani A.M., Casale G. R.
Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma, P.le A. Moro, 5, 00185 Roma
annamaria.siani@uniroma1.it, giuseppe.casale@uniroma1.it

INTRODUZIONE

ARPA Valle d'Aosta conduce dal 2004 un programma di monitoraggio della radiazione ultravioletta (UV) solare in arrivo alla superficie terrestre. Tre radiometri UV a banda larga sono installati nei siti di monitoraggio di Saint-Christophe (570 m slm), La Thuile (1640 m slm) e Plateau Rosa (3500 m slm), a diverse altitudini per valutare le variazioni di irradianza in funzione della quota del territorio regionale. Presso la sede ARPA a Saint-Christophe, inoltre, è anche presente uno spettroradiometro a doppio monocromatore. Un secondo programma di monitoraggio, per la misura continua dell'ozono colonnare, è stato avviato alcuni anni dopo, nel 2007, a supporto del primo, in seguito ad una collaborazione scientifica con Sapienza.

L'analisi delle variazioni a lungo termine (trend) dell'irradianza ultravioletta misurabile al suolo è di fondamentale importanza su svariati temi ambientali, ad esempio per determinare l'impatto della radiazione solare sulla biosfera, per valutare l'esito dei provvedimenti di salvaguardia dello strato di ozono (protocollo di Montreal) e per identificare eventuali tendenze evolutive delle variabili ambientali in grado di influenzare la radiazione solare misurabile a terra (es. nubi e aerosol). Questo tipo di analisi richiede serie particolarmente lunghe, sia per rimuovere correttamente il segnale del ciclo solare (di 11 anni) sia per limitare l'incertezza sul trend.

Benché, considerata la durata delle serie in Valle d'Aosta, stime affidabili di trend non siano al momento ancora possibili, i dati raccolti, tuttavia, sono ormai sufficienti per una analisi a medio-lungo termine in grado di individuare il ciclo stagionale medio e le anomalie rispetto a tale andamento. La definizione di una "climatologia" UV su base mensile permette, ad esempio, una corretta classificazione dei siti di misura rispetto ad altre stazioni al mondo dove è presente analoga strumentazione. È, inoltre, un dato necessario per approfondimenti di tipo biomedico/biologico/ingegneristico (es. dose ricevuta da persone, fauna, flora e materiali in funzione della stagione). Anche le deviazioni della serie dall'andamento medio sono di grande interesse, ad esempio per individuare episodi anomali (valori eccezionalmente alti o bassi), per identificare discontinuità nella taratura o problemi tecnici e per semplificare le analisi lavorando su serie di dati destagionalizzate.

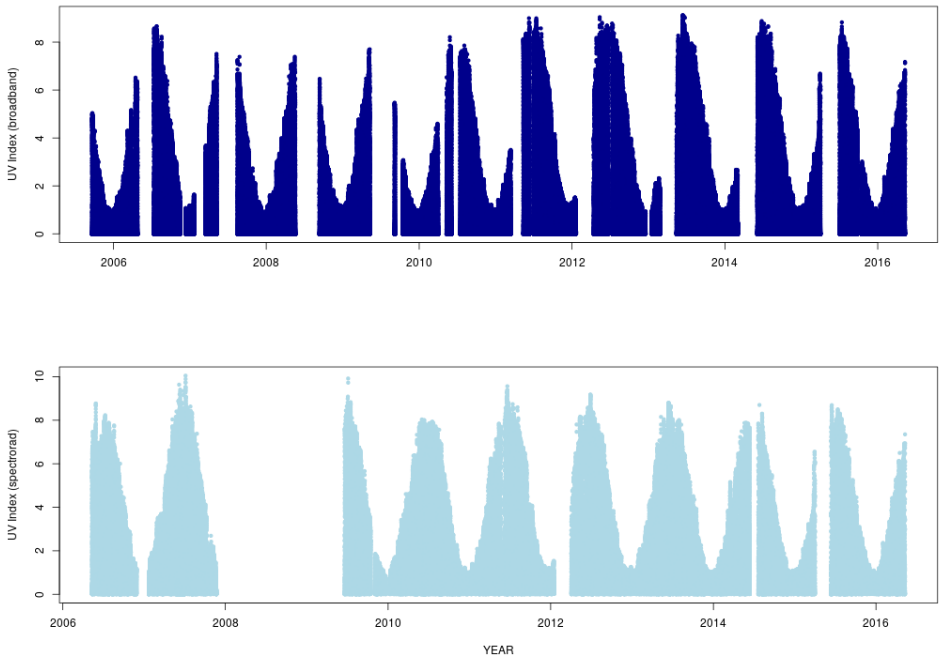
Nel presente contributo, si riporta una analisi preliminare dei dati di alcune stazioni valdostane, in termini di dose ultravioletta eritemale, cioè di irradianza pesata sulla curva CIE (1998) di sensibilità della pelle umana all'eritema (si tratta dello spettro d'azione con il quale viene calcolato l'indice UV) e integrata nel tempo di una giornata. Tale grandezza è stata scelta in quanto rappresentativa dei più diretti effetti della radiazione UV sulle persone. L'analisi è condotta prima su base giornaliera e poi mensile. Particolare attenzione deve essere prestata alle interruzioni presenti nella serie, a causa di malfunzionamenti strumentali, tarature ordinarie o altre ragioni di carattere tecnico, perché anche le interruzioni nelle serie, se non opportunamente gestite, possono apparentemente pesare molto sui risultati dell'analisi statistica.

Lo stesso tipo di analisi è stato poi applicato sulla serie UV acquisita per mezzo di uno spettrofotometro Brewer presso l'università Sapienza di Roma e decisamente più lunga rispetto a quelle valdostane. Nell'analisi verranno prese in considerazione le misure effettuate in regime di controlli di qualità affidabili nelle diverse stazioni: dal 2005 per la Valle d'Aosta e dal 1996 per Sapienza.

DETERMINAZIONE DELLE DOSI MENSILI

Dalla fig. 1 si evince che il problema principale nell'analisi delle serie UV (come del resto molte delle serie ambientali) è la presenza di interruzioni, a causa di inconvenienti tecnici, delle tarature programmate e di interconfronti che hanno richiesto la disinstallazione degli strumenti.

Figura 1



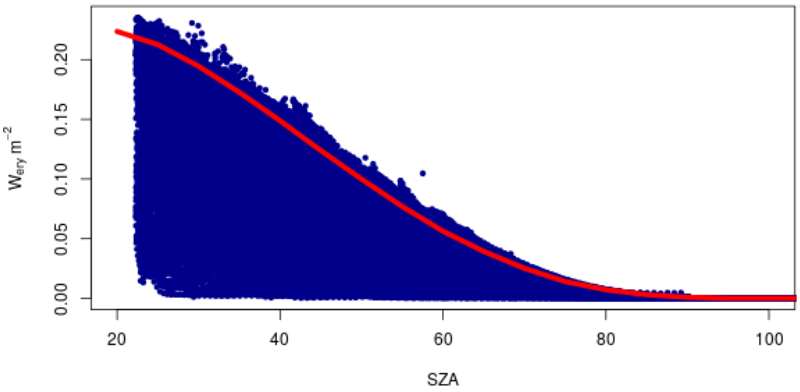
Serie delle misure di indice UV a Saint-Christophe con strumentazione a banda larga (sopra) e spettroradiometrica (sotto). Sono visibili interruzioni dovute a problemi tecnici, alle regolari tarature o a interconfronti.

È, perciò, stato adottato il seguente metodo di calcolo delle dosi, che tiene opportunamente conto delle interruzioni nella serie:

1. per ricostruire il ciclo diurno durante le interruzioni di breve durata (es. da 40' ad alcune ore, v. criterio 2), è stato utilizzato un modello empirico, basato sulla parametrizzazione dell'irradianza in base all'angolo solare zenitale (SZA). Tale modello è ottenuto dall'inviluppo dei massimi (condizioni di cielo sereno), calcolando il 95° percentile di tutte le misure (normalizzate per la distanza terra-sole) raggruppate in classi di 5° di SZA (fig.2). Tale modello empirico è stato preferito ai modelli di trasporto radiativo per la semplicità e la velocità di calcolo. La presenza di

nuvole e il contenuto di ozono vengono tenuti in conto interpolando nel tempo il *modification factor*, cioè il rapporto tra la misura e il modello empirico e moltiplicando l'interpolazione del modello per tale fattore. Il modello è ottenuto separatamente per ogni sito di misura;

Figura 2



Irradianza UV misurata a Saint-Christophe (punti blu) in funzione dell'angolo solare zenitale e modello empirico (linea rossa, 95° percentile dei dati raggruppati in classi di 5°) utilizzato per la ricostruzione del ciclo diurno.

2. la dose giornaliera viene calcolata come integrale (trapezoidale) nel tempo (step di 5') dell'irradianza UV. I giorni in cui la ricostruzione ammonta a più del 30% della dose vengono scartati dall'analisi. Un criterio basato sulla dose, anziché sulla durata dei "buchi" nella serie, permette di valutare diversamente l'assenza di misure a metà giornata (dato importante per la dose totale giornaliera) e a inizio o fine giornata (irradianza minore);

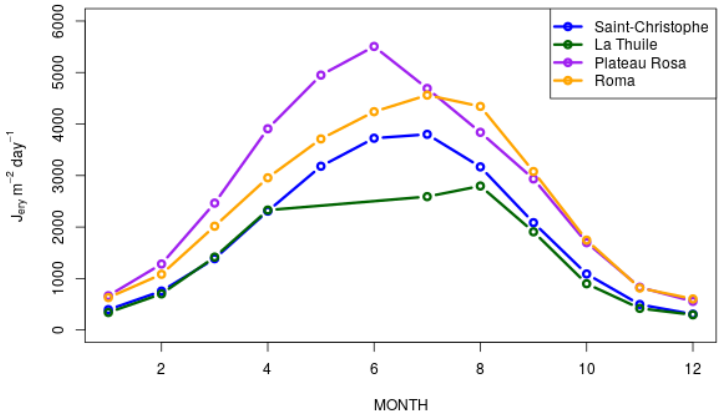
3. per ogni mese viene determinata la media della dose giornaliera. Si è preferito non calcolare la dose totale mensile, ma il valore medio giornaliero, per tenere conto del diverso numero di giorni di ogni mese e della possibilità di giorni in cui le misure mancano. Per evitare *bias*, dovuti alla presenza di dati solo a inizio/fine mese, ogni mese è diviso in tre parti (giorni da 1 a 10, 11-20 e 20-fine mese): di ciascuna parte viene calcolata separatamente la media e in ciascuna parte deve essere presente almeno il 50% dei dati. Infine, le medie dei tre periodi sono a loro volta mediate per la determinazione della dose giornaliera rappresentativa del mese;

Le misure ottenute a Saint-Christophe con il radiometro a banda larga e lo spettroradiometro hanno una deviazione standard, nei giorni comuni, di appena il 3.5%, il che conferma sia la qualità delle misure con entrambi gli strumenti sia il metodo di ricostruzione del ciclo diurno. Si è ritenuto dunque possibile fondere le due serie (colmando così la maggior parte delle interruzioni in fig. 1), secondo il seguente criterio: se solo uno strumento è funzionante in un determinato giorno, viene inclusa tale misura nella serie finale; se ambedue gli strumenti sono operativi, allora viene presa la media (come ulteriore miglioramento, in futuro si prenderà la media pesata sulle incertezze strumentali). In futuro, saranno utilizzabili a scopo di backup anche le dosi UV ricostruite attraverso l'uso di un piranometro solare installato presso lo stesso sito.

CICLO STAGIONALE

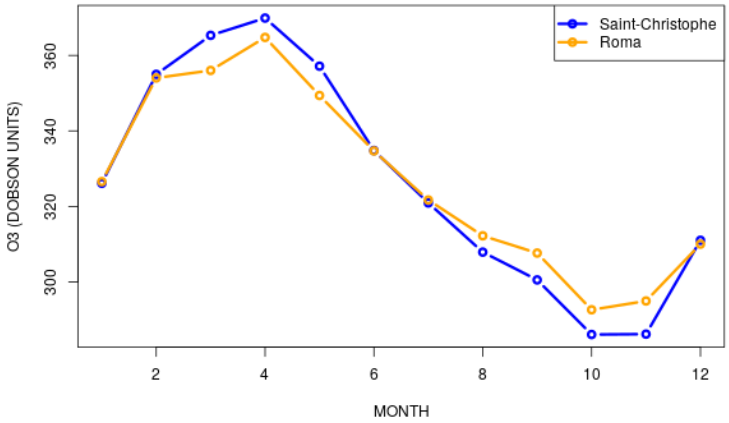
Il ciclo stagionale della dose giornaliera nei diversi siti dello studio è rappresentato in fig. 3 e mostra ovvi massimi estivi e minimi invernali, principalmente a causa dell'elevazione solare. La caratteristica più visibile nel grafico è la differenza della dose in funzione della quota (Plateau Rosa, "detiene" la dose massima) e della latitudine (es. Roma). Il ciclo stagionale a La Thuile risente della nuvolosità tipica dell'estate in tale sito e della mancanza di misure in alcuni mesi. Altre caratteristiche visibili sono lo sbilanciamento del ciclo verso la primavera a Plateau Rosa, probabilmente a causa dell'albedo della neve, maggiore nei mesi invernali-primaverili, e verso l'autunno nella stazione di Roma, a causa dell'effetto congiunto dei fenomeni meteorologici (es. temporali estivi) e del ciclo stagionale dell'ozono (che ha un massimo in primavera e un minimo in autunno, fig. 4, calcolato anch'esso secondo il criterio 3 di cui sopra).

Figura 3



Ciclo stagionale della dose UV giornaliera misurata nelle diverse stazioni dello studio.

Figura 4



Ciclo stagionale del contenuto colonnare di ozono nei siti di Saint-Christophe e Roma, dove sono presenti due spettrofotometri Brewer.

Le anomalie per i siti di Saint-Christophe e Roma sono mostrate in fig. 5 e 6, rispettivamente. Si può notare, innanzitutto, come la deviazione standard mensile (are grigia) sia molto pronunciata, a causa della variabilità intrinseca delle condizioni atmosferiche (nuvolosità e ozono colonnare in primis). Come conseguenza, i valori anomali sono statisticamente poco significativi. Ad esempio, solo tre eventi risultano "fuori due sigma" per Aosta (in positivo: settembre 2011; in negativo: febbraio e luglio 2014, quest'ultimo si ricorda come mese particolarmente piovoso) e altrettanti per Roma (in positivo: febbraio 1998, settembre 2011 – in coincidenza con Aosta – e novembre 2015). Benché una analisi dettagliata sia ancora necessaria, è possibile generalmente ricondurre i valori alti/bassi (es. oltre una deviazione standard) a mesi con valori di ozono bassi/alti o con una minore/maggiore frequenza di nuvole. È probabile, ad esempio, che proprio la meteorologia sia responsabile dell'andamento comune ai due siti con estremi positivi nell'autunno-inverno 2011-2012, un minimo nell'inverno 2013-2014 e una risalita pressoché lineare nel seguito. Una indagine più dettagliata è prevista in futuro.

Il test di Mann-Kendall non rivela trend significativamente diversi da zero per entrambe le serie totali di UV. Tuttavia, se si considera la sola stagione invernale, si ottiene un trend statisticamente significativo (p-value=0.007) per la serie di Roma (-1.4%/anno) e un trend negativo (-0.7%/anno), ma non statisticamente significativo (p-value=0.11, comunque relativamente basso) per Saint-Christophe. Ulteriori analisi sono richieste in quest'ambito.

CONCLUSIONI

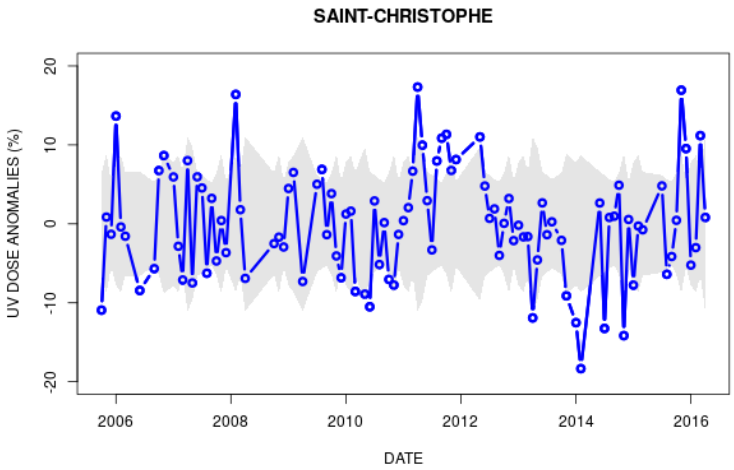
Il presente contributo mostra i primi risultati di una analisi volta all'identificazione del ciclo medio stagionale della dose eritemale in diversi siti e le anomalie mensili calcolate rispetto a tale ciclo stagionale. Lo studio delle anomalie dimostra l'influenza delle nubi e del contenuto colonnare di ozono sulla dose media mensile e lascia ipotizzare pattern comuni a stazioni anche a grandi distanze (es. Saint-Christophe e Roma). Un accenno va fatto, infine, alle misure spettrali, che – rispetto all'irradianza integrata sullo spettro analizzata fino a questo punto – contengono l'informazione necessaria per discriminare le cause delle eventuali variazioni osservate. Grazie a un algoritmo di retrieval basato su inversioni di matrice (metodo iterativo di Gauss-Newton), è in atto una analisi volta a separare l'effetto diversificato di ozono, copertura nuvolosa e presenza di neve (albedo superficiale) sull'intensità della radiazione UV a terra (Diémoz et al., 2013).

Bibliografia

C.I.E. Commission Internationale de l'Eclairage, Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose CIE S007E-1998 CIE Central Bureau, 1998, Vienna, Austria

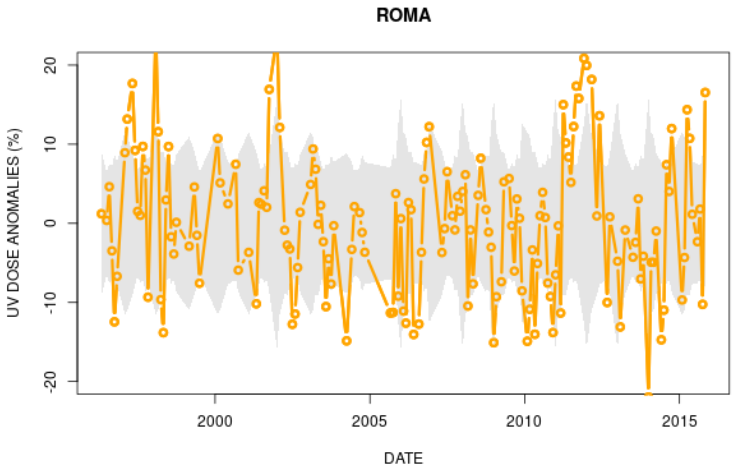
Diémoz, H., Egli, L., Gröbner, J., Siani, A. M., Diotri, F., Solar ultraviolet irradiance measurements in Aosta (Italy): an analysis of short- and middle-term spectral variability, 2013, Radiation Processes in the Atmosphere and Ocean (IRS2012)

Figura 5



Anomalie delle medie mensili di dose UV giornaliera rispetto alla climatologia per il sito di Saint-Christophe. L'area grigia rappresenta l'intervallo di una deviazione standard (±σ).

Figura 6



Anomalie delle medie mensili di dose UV giornaliera rispetto alla climatologia per il sito di Roma. L'area grigia rappresenta l'intervallo di una deviazione standard (±σ).