

Il modello del manto nevoso S3M

L'algoritmo Snow Multidata Mapping and Modeling - S3M (Boni et al. 2010), utilizza un modello di dinamica del manto nevoso, le osservazioni nivometriche a terra e le osservazioni satellitari MODIS per la stima del contenuto equivalente d'acqua del manto nevoso.

Il modello di dinamica descrive in modo semplificato l'evoluzione del manto nevoso risolvendo l'equazione di conservazione della massa e utilizzando un approccio ibrido per la determinazione della fusione secondo le relazioni:

$$\frac{\Delta SWE}{\Delta t} = S_f - SM$$

$$SM = \frac{K + L}{\rho_w \lambda_f} + m_r T_a$$

in cui SWE è il contenuto equivalente d'acqua (Snow Water Equivalent espresso in [mm]), S_f è la precipitazione solida, SM è la fusione nivale (Snow Melting) determinata con l'approccio ibrido introdotto da Kustas et al. (1994); K rappresenta la radiazione ad onde corte, L la radiazione ad onde lunghe e T_a la temperatura dell'aria. Le costanti ρ_w (1000 kgm^{-3}) e λ_f (0.334 MJ kg^{-1}) definiscono la densità dell'acqua e il calore latente di fusione.

Il metodo ibrido è stato introdotto per superare alcuni limiti del più semplice metodo dell'indice di temperatura; infatti, il coefficiente di fusione m_r è fortemente variabile in funzione del periodo dell'anno, della copertura e della pendenza. Questa variabilità riflette l'importanza del ruolo della radiazione solare sulla fusione della neve, cosa completamente trascurata nel metodo dell'indice di temperatura. Il coefficiente m_r incrementa il suo valore nella stagione primaverile-estiva (Hock 2005) anche di 4-5 volte rispetto al valore invernale. La temperatura è inoltre un buon indicatore, anche se non l'unico delle condizioni meteo-climatiche in un certo istante temporale (Hock 2005, Moussavi et al. 1989). Il coefficiente di melting è calcolato in funzione della temperatura media sui 5 giorni (TM) secondo la relazione:

$$m_r(t) = 1.7367 * \text{atan}(0.27439 * TM(t) - 0.5988) - 1.7367 * 3.14/2 + 3.5$$

La densità del manto nevoso è definita come:

$$\rho_s(t + \Delta t) = [\rho_s(t) - \rho_{sMax}]e^{(-\alpha \Delta t / \tau)} + \rho_{sMax}$$

il parametro α rappresenta la velocità di compattazione del manto nevoso e permette di tenere in considerazione che, in caso di intensa fusione nivale, il valore di densità massima posto uguale a $400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, viene raggiunto in un minor arco temporale rispetto ad una condizione di fusione lenta: esso ha valore 1/5 nei giorni di fusione attiva e 1/30 nei giorni di assenza di fusione o bassa fusione. Invece, la densità della neve fresca è funzione della sola temperatura dell'aria (T) e viene calcolata (Pomeroy et al. 1998):

$$\rho_{s0} = 67.9 + 51.3e^{(T/2.6)}$$

Conoscendo la densità del manto nevoso ed il valore di SWE allo stesso istante temporale, è possibile calcolare l'altezza di neve (SnowDepth espressa in [cm]) come:

$$SnowDepth = \frac{\rho_w * SWE}{10 * \rho_s}$$

Nella maggior parte dei modelli meteorologici e idrologici, la distinzione tra la neve e la pioggia si basa solo sulla temperatura dell'aria. Tuttavia, altri fattori quali l'umidità dell'aria possono essere utilizzati per distinguere meglio tra le due fasi. In un recente studio (Froidurot et al. 2014) sono stati confrontati numerosi modelli che utilizzano combinazioni di diverse variabili meteorologiche per discriminare le fasi precipitanti. In particolare è stato dimostrato come la combinazione di temperatura e umidità dell'aria abbia la migliore capacità di spiegare la separazione tra fasi precipitanti. Il modello S3M si serve quindi di una funzione di regressione logistica che descrive la probabilità di un evento di pioggia, $p(rain)$, o nevoso $p(snow)$, in funzione di una o più variabili predittive. Alla luce delle notevoli prestazioni garantite dall'utilizzo combinato della temperatura ed umidità dell'aria queste variabili sono utilizzate quali predittori, come definito dalle seguenti formule:

$$p(rain) = \frac{1}{1 + e^{\alpha + \beta T + \gamma RH}}$$

$$p(snow) = 1 - p(rain)$$

dove:

- T è la temperatura dell'aria, [°C]
- RH è l'umidità dell'aria, [%]
- α , β , γ sono parametri calibrati e assunti da letteratura secondo quanto espresso in Froidurot et al. 2014.

La precipitazione in input (P espressa in [mm/h]) viene quindi suddivisa tra precipitazione solida (S_f) e liquida (S_l) secondo le relazioni:

$$S_l = p(rain) * P$$

$$S_f = p(snow) * P$$

e contribuisce all'accumulo del manto nevoso.

Assimilazione delle variabili Snow Cover Area e altezza di neve

La tecnica di assimilazione usata per aggiornare lo stato della variabile SWE è il Nudging, l'equazione di aggiornamento è la seguente:

$$SWE_{ass} = SWE_{mod} + N_{coeff} * (SWE_{oss} - SWE_{mod})$$

in cui SWE_{ass} [mm] è il valore di snow water equivalent modellato aggiornato, SWE_{mod} [mm] è il valore modellato prima dell'aggiornamento, N_{coeff} è il coefficiente di Nudging che viene determinato in modo distribuito tramite la seguente formula empirica (Boni et al 2010):

$$N(i,j) = \max\left(0, \frac{R^2 - d_{i,j}^2}{R^2 + d_{i,j}^2}\right)$$

in cui d è la distanza tra il punto di misura a terra i (es: nivometro) e il punto griglia modellato j , e R rappresenta il raggio di influenza di ogni sensore presente a terra (in questo caso posto uguale a 15 km). La variabile SWE_{oss} rappresenta lo snow water equivalent derivato in modo indiretto dalle osservazioni di altezza di neve effettuate dai nivometri a terra interpolate e mascherate sulle mappe di Snow Cover Area (SCA) ricavate dalle immagini satellitari fornite dal sensore MODIS (NASA's Moderate - Resolution Spectroradiometer) una volta al giorno. Il valore di SWE_{oss} è derivato, nelle aree definite dalla mappa di SCA come coperte da neve, con la formula seguente:

$$SWE_{oss} = \frac{(\rho_s * SnowDepth_{oss})}{(\rho_w)}$$

in cui la densità della neve ρ_s è stimata dal modello mentre la mappa distribuita di $SnowDepth_{oss}$ è derivata dall'interpolazione dei dati nivometrici usando una regressione multipla lineare che considera come parametri: quota del versante, pendenza ed orientamento del versante, indice di radiazione, e profili altimetrici nelle direzioni nord e sud (Winstral et al. 2002).