

Sintesi della Tesi di Laurea Magistrale di

**Giulia Arianna Premoli**

**MODELLAZIONE MONODIMENSIONALE DELLO SNOW-GLIDING:  
IL CASO DI MONT DE LA SAXE (AO)**

**Politecnico di Milano**

**Facoltà di Ingegneria**

**Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio**

**A.A. 2013-2014**

Relatore: **Ing. Daniele Bocchiola**

Correlatori: **Ing. Gabriele Confortola**

**Dott.ssa Margherita Maggioni**

### **INTRODUZIONE**

Lo scivolamento lento della neve è un fenomeno molto difficile da prevedere e da modellizzare. Con questo studio si cerca di contribuire alla comprensione di tale processo presentando un modello di *snow gliding* monodimensionale distribuito, fisicamente basato e tempo dipendente, in grado di descrivere il movimento del manto nevoso lungo una linea di flusso a scala giornaliera. Il modello viene implementato con software Matlab e con foglio elettronico di calcolo (Microsoft Excel). L'analisi si propone i seguenti obiettivi: creare un modello di facile e comodo utilizzo che necessita di pochi dati in ingresso, facilmente reperibili; ricostruire l'evoluzione del manto nevoso, partendo dai valori di precipitazione misurati, tenendo in memoria le trasformazioni e le caratteristiche (spessore, densità, conducibilità termica, SWE e temperatura) dei singoli strati accumulatosi a formare il manto; valutare le velocità e gli spostamenti del manto stesso legati a scivolamento della neve e quindi fornire uno strumento potenzialmente utile nella valutazione dei rischi nelle aree soggette a questa tipologia di fenomeno. Per permettere la modellizzazione vengono introdotte diverse ipotesi semplificative: assenza di sforzi di trazione, di imbibimento e di percolazione dell'acqua nella neve, topografia schematizzata con una sinusoidale, assenza di fenomeni erosivi.

Il modello viene applicato nel corso delle stagioni invernali 2010 e 2011 (caratterizzate da differenti condizioni nivometeorologiche) al sito valanghivo denominato "Torrent des Marais - Mont de La Saxe" localizzato in Valle d'Aosta, nella zona del massiccio del Monte Bianco, appartenente al comune di Courmayeur e al comprensorio della Val Ferret (da Catasto Valanghe Regionale – Regione Autonoma Valle d'Aosta), nei pressi del rifugio Bertone. In quest'area, caratterizzata da intenso movimento della neve e da formazione di grandi fessurazioni a bocca di balena, seguite talvolta dal distacco di una valanga, è stato allestito nel 2009 dai ricercatori del Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA) dell'Università degli Studi di Torino un sito di monitoraggio dotato di strumentazione fissa per la misura dello scivolamento del manto nevoso e di diversi sensori di temperatura e contenuto di acqua, collocati a diverse profondità nel suolo e nella neve (Ceaglio et al., 2012a; 2012b).

### **CONCETTI DI SNOW GLIDING**

Con il termine "*glide*" si indica il processo attraverso il quale il manto di neve si muove (scivola) su un pendio lungo l'interfaccia neve-suolo. Questo scivolamento lento di neve bagnata dipende principalmente dalla forza esercitata dal manto nevoso in direzione del pendio, dalla rugosità degli elementi all'interfaccia suolo-neve, dalla temperatura all'interfaccia e dal contenuto d'acqua libera presente (Leitinger et al., 2008). È un importante processo che può anche portare alla formazione e al distacco delle cosiddette "*glide snow avalanches*". Queste generalmente mobilizzano grandi volumi di neve e possono quindi avere un potenziale distruttivo molto alto.

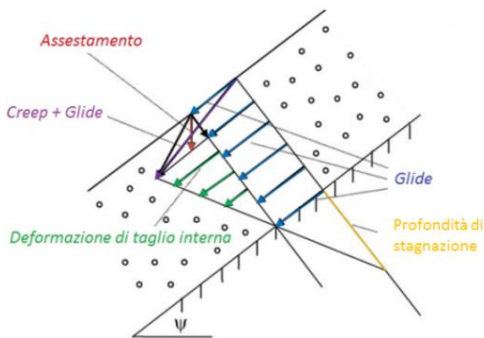


**Figura 1:** Distacco di una *glide avalanche* a seguito di fenomeni di *gliding* del manto (foto da Utah Avalanche Center).

Gli studi presenti in letteratura mostrano che esistono tre requisiti di base affinché possa avvenire il *gliding* (McClung & Clarke, 1987; Clarke & McClung, 1999; Jones, 2004):

- l'interfaccia suolo-neve deve essere liscia o con bassa rugosità (ad esempio roccia o erba);
- la temperatura all'interfaccia suolo-neve deve essere di 0°C, garantendo la presenza di acqua libera. Le irregolarità della superficie del terreno tendono ad essere riempite ("annegate") dall'acqua, permettendo al manto di scivolare senza impedimenti (McClung & Clarke, 1987);
- l'angolo di inclinazione del pendio deve essere di almeno 15° (per rugosità tipica delle zone alpine).

## MODELLO DI SNOW GLIDING

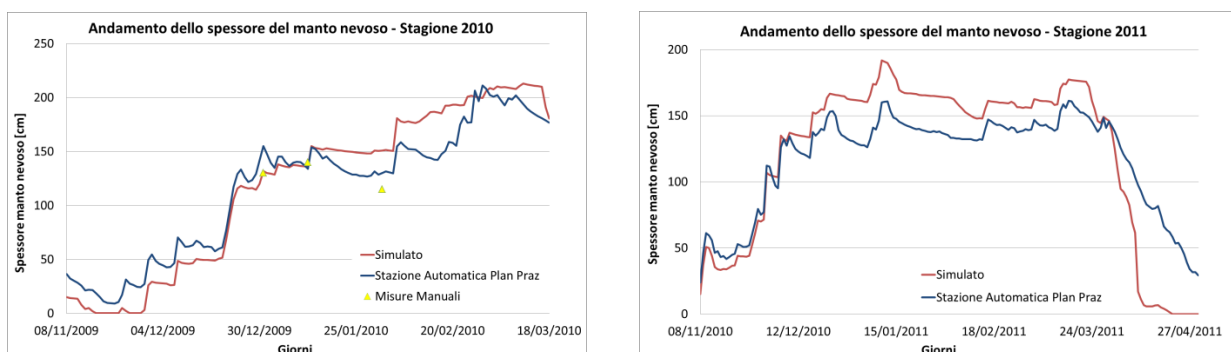


La teoria più utilizzata, e probabilmente la più completa, per descrivere i meccanismi di *snow gliding* rimane ancora oggi quella presentata da McClung e Clarke nel 1987 (Jones, 2004). Il loro modello prevede un'equazione costitutiva che relaziona lo sforzo locale di base,  $\tau$ , all'interfaccia suolo-neve con la velocità di glide,  $U_0$ : 
$$\tau = \frac{\mu \cdot U_0}{2(1-\nu)D^*}$$
 in funzione di  $D^*$ , definita profondità di stagnazione, che è una costruzione geometrica funzione soltanto della geometria dell'interfaccia suolo-neve e della distribuzione dell'acqua all'interfaccia (Figura 2).

**Figura 2:** Schematizzazione delle componenti di velocità di *creep* e *glide* e costruzione geometrica della profondità di stagnazione (da Höller et al., 2008).

Sono stati scritti diversi *script* di codice Matlab per descrivere i vari processi che influenzano l'evoluzione del manto nel tempo: accumulo della neve (funzione delle precipitazioni e della temperatura dell'aria); fusione della neve ("Degree Day method", Mockus 1964); gradiente termico altimetrico (variabile mensilmente); densità della neve fresca (formulazione di Bras, 1990); densità della neve accumulata (relazione di Martinec, 1956, più un coefficiente da sommare al coefficiente di Martinec originale ogni volta in cui si registra una nevicata e quindi un nuovo strato di neve si va a sovrapporre ai precedenti); spessore della neve (funzione di neve che può essere già presente sul sito il primo giorno di analisi, accumulo di neve legato a nuove nevicate, possibile fusione del manto e compattazione del manto per aumento della sua densità; nel modello viene memorizzato ogni giorno il valore del contenuto d'acqua dei singoli strati); conducibilità termica della neve (formulazione di Yen 1981); temperatura della neve (variabile linearmente con la profondità fino al livello di congelamento; al di sotto di tale livello la temperatura rimane costante a 0 °C, Kondo & Yamazaki, 1990); deflusso sotterraneo (Groppelli et al., 2011); quantità di acqua libera all'interfaccia (differenza tra la quantità di acqua presente a fine giornata e la quantità massima di acqua immagazzinabile nel terreno); stima della velocità di glide (ogni giorno di analisi vengono valutati lo sforzo resistente e lo sforzo destabilizzante sul pendio in ciascuna cella della linea di flusso e a partire da questo bilancio delle forze si calcola la velocità di *gliding*).

## RISULTATI DELLE ANALISI: SPESSORE MANTO NEVOSO

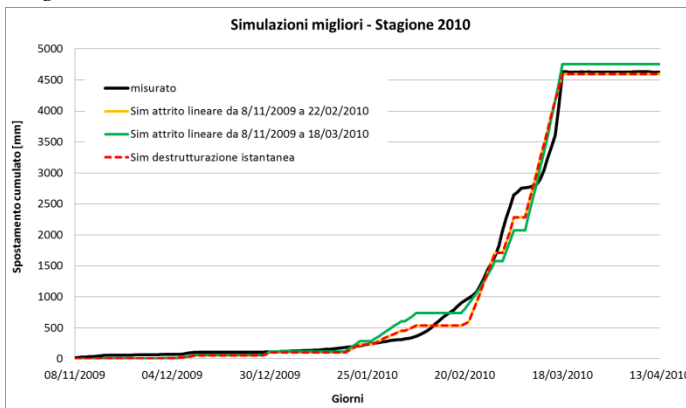


**Figure 3 e 4:** Confronto tra lo spessore del manto misurato alla stazione automatica di Prè-Saint-Didier Plan Praz e manualmente e lo spessore simulato con il modello – Stagione 2010 e Stagione 2011.

## RISULTATI DELLE ANALISI: SPOSTAMENTO CUMULATO DEL MANTO NEVOSO

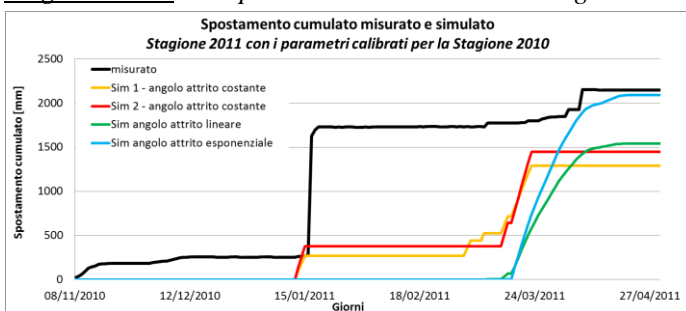
Il modello di *snow gliding* presentato è stato inizialmente applicato alla stagione invernale 2010. Sono state effettuate diverse simulazioni per calibrare il fattore di coesione, l'angolo di attrito, la lunghezza d'onda e l'ampiezza della topografia del terreno. Sono stati quindi individuati i gruppi di parametri che meglio simulano l'andamento degli spostamenti misurati. Mantenendo gli stessi valori si è successivamente proceduto a simulare anche la stagione invernale 2011. Le simulazioni sono state poi ulteriormente perfezionate considerando un angolo di attrito variabile nel tempo, anticipando il periodo di simulazione ai giorni precedenti all'inizio delle registrazioni e calibrando nuovamente i parametri per la stagione 2011.

### Stagione 2010:



**Figura 5:** Confronto tra spostamento cumulato misurato e le tre migliori simulazioni della stagione 2010: simulazione con angolo di attrito variabile in modo lineare dal primo all'ultimo giorno, simulazione con angolo di attrito variabile in modo lineare dal primo giorno al 22 febbraio 2010, simulazione con destrutturazione dell'angolo di attrito istantanea il giorno 22 febbraio 2010.

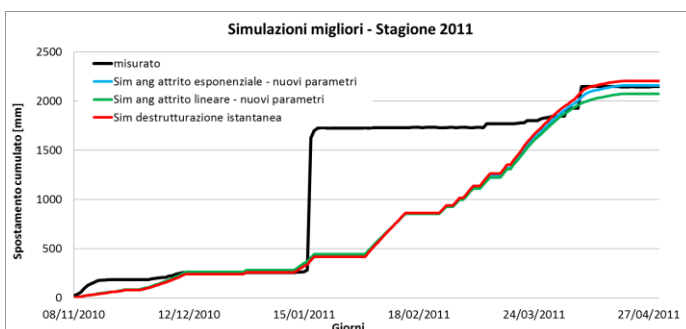
### Stagione 2011: con parametri calibrati sulla Stagione 2010:



**Figura 6:** Confronto tra spostamento cumulato misurato durante la stagione 2011 e le simulazioni ottenute utilizzando i diversi gruppi di parametri calibrati sulla stagione 2010.

I risultati poco soddisfacenti possono essere ricondotti, oltre alle ipotesi semplificative e alle schematizzazioni introdotte, anche alle sostanziali differenze riscontrate tra le due stagioni invernali dal punto di vista sia dello spostamento del manto che meteorologico.

### Stagione 2011: con nuova calibrazione dei parametri:



**Figura 7:** Confronto tra spostamento cumulato misurato e le tre migliori simulazioni della stagione 2011: simulazione con angolo di attrito variabile in modo esponenziale, simulazione con angolo di attrito variabile in modo lineare, simulazione con destrutturazione dell'angolo di attrito istantanea il giorno 17 gennaio 2011.

Rimangono delle difficoltà nella previsione dei tassi di *glide* durante la stagione 2011. Il modello di *snow gliding* presentato è infatti in

grado di simulare in modo soddisfacente il fenomeno di *gliding* finché è un movimento continuo. Si riscontrano invece delle difficoltà in corrispondenza dei giorni in cui vengono registrati spostamenti discreti, associabili alla possibile apertura della *glide crack*. Il giorno 17 gennaio 2011 è stato registrato uno spostamento giornaliero di circa 1.4 m, pari al 62% dello spostamento totale, che non può essere propriamente considerato un tipico fenomeno di *snow gliding*. Le formulazioni di *snow gliding* introdotte considerano uno scivolamento del manto molto più lento, con tassi giornalieri di *glide* in generale molto minori, ed è quindi probabile che non siano state in grado di simulare l'evento di metà gennaio correttamente. Il resto del periodo di analisi è stato invece simulato in modo soddisfacente.

## CONCLUSIONI

È stato creato un modello di facile e comodo utilizzo in grado di ricostruire in modo soddisfacente lo spessore del manto nevoso durante entrambe le stagioni invernali. Inoltre dal punto di vista degli spostamenti i risultati riproducono in modo soddisfacente sia l'andamento temporale che lo spostamento totale cumulato del manto nonostante le sostanziali differenze nella dinamica dei due eventi investigati. È stato infatti possibile simulare in modo soddisfacente l'andamento degli spostamenti cumulati del manto nevoso e il valore di spostamento cumulato finale durante la stagione invernale 2010. Per la stagione 2011 è invece stato possibile simulare correttamente il valore finale di spostamento all'ultimo giorno di analisi.

## SVILUPPI FUTURI

Il modello di *snow gliding* sviluppato in questo elaborato di tesi può essere sicuramente considerato una solida base di partenza per approfondimenti futuri in cui le formulazioni dei diversi processi che influenzano il lento scivolamento della neve lungo il versante potranno essere ulteriormente migliorate ed ampliate.

In particolare sarà necessario:

- Introdurre formulazioni miste tra *gliding* e dinamica valanghiva, in modo tale da riuscire a simulare in modo soddisfacente anche spostamenti simili a quelli registrati durante metà gennaio 2011.
- Passare da scala giornaliera a scala oraria, introducendo le equazioni di percolazione dell'acqua attraverso il manto (Brun et al., 1989; Colbeck, 1975).
- Introdurre un possibile fattore di «inzuppamento» considerando che una certa quantità di acqua derivante dalle precipitazioni o dalla fusione della neve stessa potrebbe non raggiungere l'interfaccia suolo-neve, ma rimanere intrappolata nei pori del manto, aumentandone il contenuto d'acqua.
- Migliorare la definizione della lunghezza d'onda e dell'ampiezza della topografia del terreno.
- Migliorare la valutazione delle soglie di temperatura dell'aria.
- Ampliare la comprensione dei fenomeni di trasmissione del calore attraverso il manto di neve.
- Considerare la possibile liquefazione e l'erosione del suolo.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bras, R. L. (1990). Snowpack and snowmelt. Hydrology: an introduction to hydrologic science. Addison-Wesley Publishing Company, 247-281.
- Brun, E., Martin, E., Simon, V., Gendre, C., & Coleou, C. (1989). An energy and mass model of snow cover suitable for operational avalanche forecasting. *Journal of Glaciology*, 35(12), 1.
- Ceaglio, E., Freppaz, M., Filippa, G., Ferraris, S., Segor, V., & Zanini, E. (2012). Analisi dei fattori predisponenti lo scivolamento del manto nevoso. *Neve e Valanghe*. (Ceaglio et al., 2012a)
- Ceaglio, E., Freppaz, M., Filippa, G., Ferraris, S., Zanini, E., & Segor, V. (2012). A characterization of snow gliding and potential predisposing factors in a full-depth slab avalanche release area (Valle d'Aosta, NW Italian Alps). *ISSW*. (Ceaglio et al., 2012b)
- Clarke, J., & McClung, D. (1999). Full-depth avalanche occurrences caused by snow gliding, Coquihalla, British Columbia, Canada. *Journal of Glaciology*, 45(151), 539-546.
- Colbeck, S. C. (1975). A theory for water flow through a layered snowpack. *Water Resources Research*, 11(2), 261-266.
- Gropelli, B., Soncini, A., Bocchiola, D., & Rosso, R. (2011). Evaluation of future hydrological cycle under climate change scenarios in a mesoscale Alpine watershed of Italy. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 11(6).
- Höller, P., Fromm, R., & Leitinger, G. (2008). Snow forces on forest plants due to creep and glide. *Forest ecology and management*, 257(2), 546-552.
- Jones, A. (2004). Review of glide processes and glide avalanche release. *Avalanche News*, 69(7).
- Kondo, J., & Yamazaki, T. (1990). A prediction model for snowmelt, snow surface temperature and freezing depth using a heat balance method. *Journal of applied meteorology*, 29(5), 375-384.
- Leitinger, G., Höller, P., Tasser, E., Walde, J., & Tappeiner, U. (2008). Development and validation of a spatial snow-glide model. *Ecological Modelling*, 211(3), 363-374.
- Martinec, J. (1960). The degree-day factor for snowmelt runoff forecasting. *IUGG General Assembly of Helsinki, IAHS Commission of Surface Waters*, (51), 468-477.
- McClung, D. M., & Clarke, G. K. (1987). The effects of free water on snow gliding. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012), 92(B7), 6301-6309.
- Mockus, V. (1964). *National Engineering Handbook*. Chapter 11: Snowmelt.