

**Zeitschrift:** Bollettino della Società ticinese di scienze naturali  
**Herausgeber:** Società ticinese di scienze naturali  
**Band:** 95 (2007)

**Artikel:** Misura del movimento superficiale dei ghiacciati ticinesi con interferometria radar da satellite  
**Autor:** Strozzi, Tazio / Valenti, Griogio  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1003190>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 01.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

---

# Misura del movimento superficiale dei ghiacciai ticinesi con interferometria radar da satellite

Tazio Strozzi<sup>1</sup> e Giorgio Valenti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gamma Remote Sensing, Worbstrasse 225, 3073 Gümligen ([strozzi@gamma-rs.ch](mailto:strozzi@gamma-rs.ch))

<sup>2</sup> Dipartimento del Territorio, Sezione forestale Cantonale, Ufficio pericoli naturali, incendi e progetti, Palazzo amministrativo 2, 6500 Bellinzona ([giorgio.valenti@ti.ch](mailto:giorgio.valenti@ti.ch))

---

**Riassunto:** Lo spostamento superficiale dei tre maggiori ghiacciai ticinesi Adula, Basodino e Cavagnoli è stato misurato con la tecnica dell'interferometria radar da satellite utilizzando dati ERS-1/2. L'analisi ha mostrato movimenti superficiali di qualche centimetro al giorno per i ghiacciai dell'Adula nel mese di marzo del 1996 e del Basodino nel mese di marzo del 1999. Per il ghiacciaio del Cavagnoli il movimento superficiale in un giorno nel mese di marzo del 1999 non è invece risultato significativo.

## Estimation of the surface motion of glaciers in Ticino, Southern Switzerland, with satellite radar interferometry

**Abstract:** A satellite radar interferometric analysis was performed with ERS-1/2 data in Ticino, Switzerland, in order to estimate the surface displacement of the three major glaciers Adula, Basodino and Cavagnoli. The displacement maps of Adula and Basodino glaciers indicate surface movements on the order of some centimeters in one day in March 1996 and March 1999, respectively. On the other hand, displacement in one day in March 1999 over Cavagnoli glacier was found negligible.

**Keywords:** Glacier, radar, satellite

---

## INTRODUZIONE

Numerosi studi su ghiacciai artici e antartici hanno dimostrato l'immenso potenziale della tecnica dell'interferometria radar da satellite per monitorare lo spostamento superficiale del ghiaccio con risoluzione centimetrica. Ci limitiamo qui a elencare i lavori di GOLDSTEIN *et al.* (1993) in Antartide, di JOUGHIN *et al.* (1996), RIGNOT *et al.* (1997) e MOHR *et al.* (1998) in Groenlandia, e di LUCKMAN *et al.* (2002) nell'arcipelago delle Svalbard. Malgrado sia disponibile sull'Europa centrale un archivio con numerose acquisizioni radar dei satelliti ERS-1 e ERS-2 dell'Ente Spaziale Europeo ESA, i lavori effettuati su ghiacciai alpini sono invece ancora molto limitati (ROTT *et al.* 1999, STROZZI *et al.* 2002). In questo contributo viene discussa un'analisi del movimento superficiale dei maggiori ghiacciai ticinesi (VALEGGIA *et al.*, 2006) con l'interferometria radar da satellite.

## MATERIALE E METODI

Le immagini radar utilizzate in questo studio sono state acquisite dai satelliti ESA ERS-1 e ERS-2 in orbita cir-

comulare attorno alla Terra a un'altezza di circa 800 km. L'analisi coerente di segnali acquisiti successivamente lungo l'orbita, procedimento detto di apertura sintetica, permette di ottenere una risoluzione al suolo di circa 25 m. Nell'approccio interferometrico due immagini radar acquisite da configurazioni orbitali leggermente diverse in tempi differenti vengono combinate per analizzare la differenza di fase dei segnali (BAMLER & HARTL 1998, ROSEN *et al.* 2000). La fase interferometrica è sensibile sia alla topografia sia allo spostamento avvenuto nell'intervallo di tempo tra le due acquisizioni, con effetti atmosferici e perdita di correlazione del segnale quali fonti principali di rumore. L'uso di un modello digitale del terreno (DHM25 © 2003 swisstopo nel nostro caso) permette la stima del contributo di fase dovuto alla topografia, che sottratto dall'interferogramma consente di ottenere una mappa di spostamento (WEGMÜLLER *et al.* 1999, STROZZI *et al.* 2001). Le coppie di immagini utilizzate per lo studio dei ghiacciai vengono scelte con disturbi atmosferici, analizzati sulle aree non soggette a movimento, molto moderati e con un intervallo di un giorno in inverno per massimizzare la correlazione di fase. Le immagini considerate in questo studio sono state

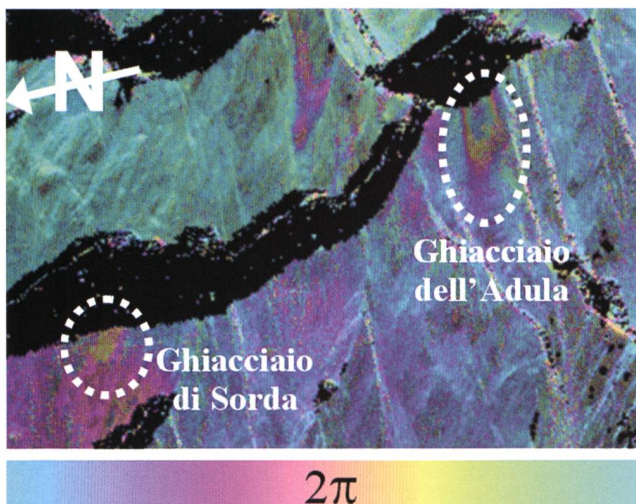


Fig. 1 - Interferogramma radar differenziale ERS-1/2 del 7 e 8 marzo 1996 acquisito in orbita discendente con linea di base di 34 m.

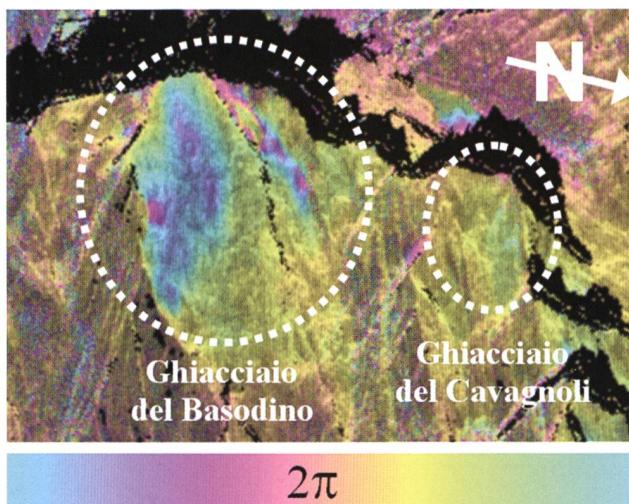


Fig. 2 - Interferogramma radar differenziale ERS-1/2 del 13 e 14 marzo 1999 acquisito in orbita ascendente con linea di base di 16 m.

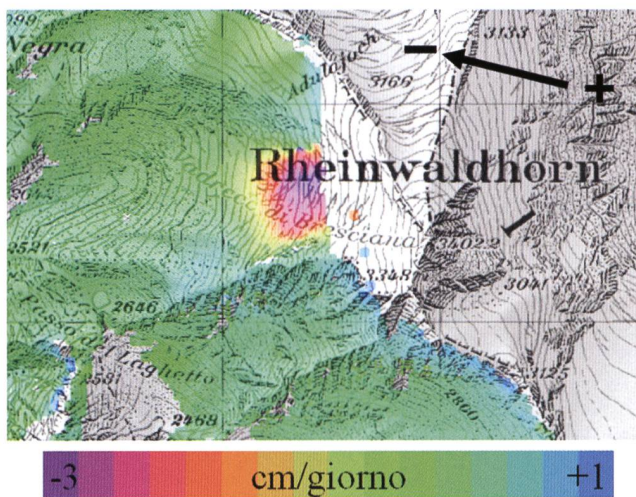


Fig. 3 - Mappa di movimento superficiale nella direzione di osservazione del satellite (indicata dalla freccia con angolo di incidenza di 23° dal nadir) calcolata a partire dall'interferogramma di fig. 1.

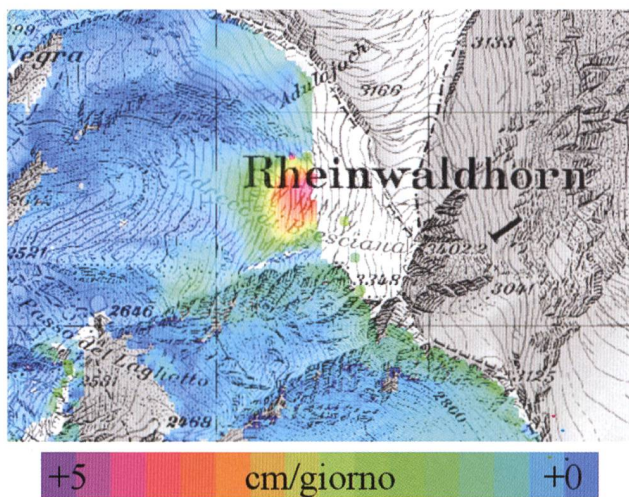


Fig. 4 - Mappa di movimento superficiale lungo la linea di massimo pendio calcolata a partire dall'interferogramma di fig. 1.

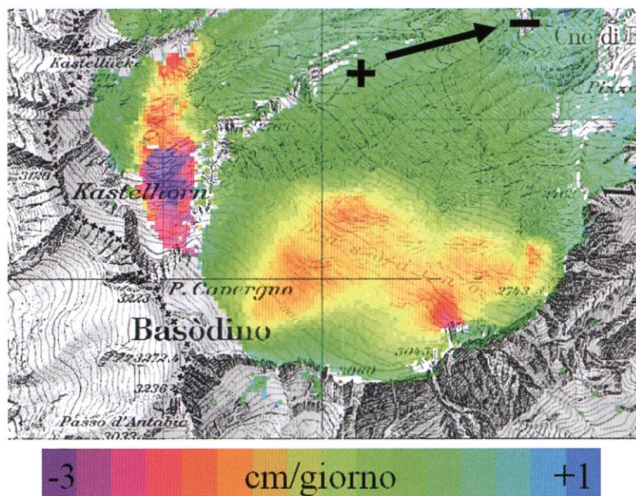


Fig. 5 - Mappa di movimento superficiale nella direzione di osservazione del satellite (indicata dalla freccia con angolo di incidenza di 23° dal nadir) calcolata a partire dall'interferogramma di fig. 2.

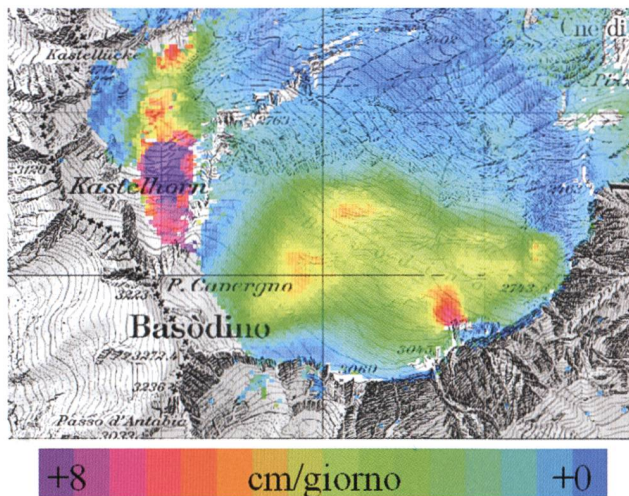


Fig. 6 - Mappa di movimento superficiale lungo la linea di massimo pendio calcolata a partire dall'interferogramma di fig. 2.

acquisite dai radar a bordo dei satelliti ESA ERS-1 e ERS-2 il 7 e 8 marzo 1996 in orbita discendente e il 13 e 14 marzo 1999 in orbita ascendente. I dati radar in orbita discendente illuminano in modo favorevole i versanti orografici sinistri della vallate che scendono da nord a sud, quelli in orbita ascendente sono invece più adatti per lo studio dei lati orografici sinistri di vallate orientate prevalentemente da nord a sud. La distanza tra le orbite di acquisizione delle coppie interferometriche (detta linea di base) è molto piccola, così che la sensibilità alla topografia è ridotta a la rimozione del segnale legato alla topografia con il modello di elevazione digitale del terreno può avvenire in modo ottimale. Gli interferogrammi, definiti differenziali dopo la sottrazione del contributo legato alla topografia, sono presentati nella geometria originale di acquisizione nella fig. 1 per la zona del ghiacciaio dell'Adula e nella fig. 2 per la zona del ghiacciaio del Basodino. Un ciclo di fase di  $2\pi$ , che corrisponde a uno spostamento nella direzione di osservazione del satellite di mezza lunghezza d'onda del segnale (2.8 cm nel caso dei dati ERS), è rappresentato in cicli di colore. Le frange interferometriche in corrispondenza dei ghiacciai Adula e Sorda nella fig. 1 e Basodino nella fig. 2 risultano evidenti. Nella fig. 1 è pure visibile il segnale dovuto al movimento di un ghiacciaio nel Canton Grigioni. Al

contrario, nell'area del ghiacciaio del Cavagnoli nella fig. 2 non si riscontrano movimenti significativi (alcuni millimetri) in un giorno. La correlazione di fase è generalmente molto alta per entrambi gli interferogrammi invernali. I segnali che si vedono in alto nella fig. 2, in Val Formazza, risultano da un'imprecisa compensazione della topografia in Italia dovuta a una qualità inferiore del modello digitale di elevazione svizzero preso in considerazione per questo studio.

## RISULTATI

Il calcolo delle mappe di spostamento superficiale del ghiaccio a partire dagli interferogrammi differenziali richiede la risoluzione delle ambiguità di fase di  $2\pi$ , procedimento detto «phase unwrapping» in inglese (ROSEN *et al.* 1994, WERNER *et al.* 2002). Nelle figg. 3 e 5 le mappe di movimento superficiale del ghiaccio nella direzione di osservazione del satellite sono rappresentate con scale di colori da +1 a -3 cm, dove per convenzione il segno positivo è associato allo spostamento che avviene verso il satellite. Le mappe di spostamento sono state trasformate dalla geometria originale radar al sistema svizzero di coordinate geografiche e sovrapposte a una carta



Fig. 7 – Il Ghiacciaio del Basodino a inizio settembre 2006 (foto U. Bläsi).

topografica a scala 1:50'000. Le aree non visibili dal radar sul satellite sono state mascherate.

Per i ghiacciai alpini che non sono strettamente confinati all'interno di valli si può ragionevolmente assumere che il ghiaccio si muova nella direzione di massima pendenza. Le mappe di spostamento rappresentate alle figg. 4 e 6 sono state calcolate con questa ipotesi utilizzando il modello di elevazione digitale del terreno DHM25 per la stima della linea di massimo pendio. Il risultato della fig. 4 indica che per il ghiacciaio dell'Adula lo spostamento superficiale massimo del ghiaccio era di circa 4 cm al giorno nel mese di marzo del 1996. Purtroppo la zona più elevata del ghiacciaio risulta mascherata dalla topografia nella speciale geometria di osservazione del radar. È interessante notare che nell'area dove si misurava la velocità massima di spostamento nel 1996 il ghiaccio nel 2005 era praticamente scomparso. Per il ghiacciaio del Basodino (fig. 7) lo spostamento massimo in un giorno nel mese di marzo del 1999 era di circa 9 cm per la parte occidentale e di circa 4 cm per la zona orientale. Per entrambe le aree del Basodino si vede molto bene la forma tipica dello spostamento di ghiacciai alpini, con il massimo della velocità attorno alla zona centrale.

## DISCUSSIONE

Il movimento superficiale dei ghiacciai Adula e Basodino durante un giorno in inverno è stato determinato con la tecnica dell'interferometria radar da satellite. Le mappe presentate in questo studio permettono una visione d'insieme del movimento avvenuto su quasi tutta la superficie dei corpi ghiacciati. Carte simili a quelle ottenute per l'Adula e il Basodino sono facilmente derivabili anche per molti altri ghiacciai delle Alpi Europee con immagini acquisite sporadicamente dai satelliti ERS-1/2 con un intervallo di tempo di un giorno tra aprile 1995 e marzo 2000. Al momento e per il prossimo futuro, purtroppo, non sono invece previste altre missioni radar interferometriche con intervalli di tempo e frequenze del segnale favorevoli allo studio dei movimenti dei ghiacciai.

## RINGRAZIAMENTI

Dati ERS per gentile concessione A03-178 e C1P.2338 (© ESA, analisi GAMMA). DHM25 © 2003 swisstopo. Si ringrazia il signor Urs Bläsi, pilota d'aliante, per la foto del Ghiacciaio del Basodino.

## BIBLIOGRAFIA

BAMLER R. & HARTL P., 1998. Synthetic aperture radar interferometry. *Inverse Problems*, 14: R1-R54.  
 GOLDSTEIN R., ENGELHARD R., KAMB B. & FROLICH R., 1993. Satellite radar interferometry for monitoring ice sheet motion: application to an Antarctic ice stream. *Science*, 262: 1525-1530.

JOUGHIN I., TULACZYK S., FAHNESTOCK M. & KWOK R., 1996. A mini-surge on the Ryder Glacier, Greenland, observed by satellite radar interferometry. *Science*, 274(5285): 228-230.  
 LUCKMAN A., MURRAY T. & STROZZI T., 2002. Surface flow evolution throughout a glacier surge measured by satellite radar interferometry. *Geophysical Research Letters*, 29(23): 2095, doi:10.1029/2001GL014570.  
 MOHR J.J., REEH N. & MADSEN S., 1998. Three-dimensional glacial flow and surface elevation measured with radar interferometry. *Nature*, 391(6664): 273-276.  
 RIGNOT E., GOCINEMI S., KRABILL W. & EKHOLOM S., 1997. North and Northeast Greenland ice discharge from satellite radar interferometry. *Science*, 276(5314): 934-937.  
 ROSEN P., WERNER C. & HIRAMATSU A., 1994. Two-dimensional phase unwrapping of SAR interferograms by charge connection through neutral trees. *Proceedings of IGARSS'94*, Pasadena, USA.  
 ROSEN P., HENSLEY S., JOUGHIN I., LI F., MADSEN S., RODRIGUEZ E. & GOLDSTEIN R., 2000. Synthetic aperture radar interferometry. *Proceedings of the IEEE*, 88(3): 333-382.  
 ROTT H. & SIEGEL A., 1999. Analysis of Mass Movement in Alpine Terrain by Means of SAR Interferometry. *Proceedings of IGARSS'99*, Hamburg, Germany.  
 STROZZI T., WEGMÜLLER U., TOSI L., BITELLI G. & SPRECKELS V., 2001. Land Subsidence Monitoring with Differential SAR Interferometry. *PE&RS (Photogrammetric Engineering & Remote Sensing)*, 67(11): 1261-1270.  
 STROZZI T., GUDMUNDSSON G.H. & WEGMÜLLER U., 2002. Estimation of the surface displacement of Swiss alpine glaciers using satellite radar interferometry. *Proceedings of EARSeL-LISSIG-Workshop Observing our Cryosphere from Space*, Bern, Switzerland.  
 VALEGGIA C., KAPPENBERGER G., VALENTI G., BAUDER A., CASARTELI G., STROZZI T., CORTI G., MARTINI O., EISEN O., SPINEDI F. & WEISS S., 2006. La misurazione dei ghiacciai in Ticino. Estratto del quaderno «Dati» N. 2, Ufficio di statistica del Cantone Ticino.  
 WEGMÜLLER U., STROZZI T. & WERNER C., 1998. Characterization of differential interferometry approaches. *Proceedings of EUSAR'98*, Friedrichshafen, Germany.  
 WERNER C., WEGMÜLLER U., STROZZI T. & WIESMANN A., 2002. Processing strategies for phase unwrapping for INSAR applications, *Proceedings of EUSAR'02*, Cologne, Germany.