

# IL CONTRIBUTO OPERATIVO DELLA GEOMATICA NEL MONITORAGGIO DEI GHIACCIAI ALPINI

**Umberto Morra di Cella (a)**

**E. Dall'Asta (b) - F. Diotri (a) - G. Forlani (b) - M. Isabellon (c) - R. Roncella (b)**

(a) - **Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta - A.O. Cambiamenti Climatici**

(b) - **Dip. di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e Architettura DICATeA, Università degli Studi di Parma**

(c) - **Dipartimento Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari DISAFA, Università degli Studi di Torino**

[u.morradicella@arpa.vda.it](mailto:u.morradicella@arpa.vda.it)



**XXI Conferenza Nazionale  
#ASITA2017**

21 - 23 Novembre 2017 -  
Salerno



# IL CONTRIBUTO OPERATIVO DELLA GEOMATICA NEL MONITORAGGIO DEI GHIACCIAI ALPINI

**Umberto Morra di Cella (a)**

**E. Dall'Asta (b) - F. Diotri (a) - G. Forlani (b) - M. Isabellon (c) - R. Roncella (b)**

(a) - **Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta - A.O. Cambiamenti Climatici**

(b) - **Dip. di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e Architettura DICATEA, Università degli Studi di Parma**

(c) - **Dipartimento Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari DISAFA, Università degli Studi di Torino**

[u.morradicella@arpa.vda.it](mailto:u.morradicella@arpa.vda.it)

**XXI Conferenza Nazionale**

**#ASITA2017**

21 - 23 Novembre 2017 -

Salerno



# IL CONTRIBUTO OPERATIVO DELLA GEOMATICA NEL MONITORAGGIO DEI GHIACCIAI ALPINI

**Umberto Morra di Cella (a)**

**E. Dall'Asta (b) - F. Diotri (a) - G. Forlani (b) - M. Isabellon (c) - R. Roncella (b)**

(a) - **Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta - A.O. Cambiamenti Climatici**

(b) - **Dip. di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e Architettura DICATEA, Università degli Studi di Parma**

(c) - **Dipartimento Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari DISAFA, Università degli Studi di Torino**

[u.morradicella@arpa.vda.it](mailto:u.morradicella@arpa.vda.it)

**XXI Conferenza Nazionale  
#ASITA2017**

21 - 23 Novembre 2017 -  
Salerno



# IL CONTRIBUTO OPERATIVO DELLA GEOMATICA NEL MONITORAGGIO DEI GHIACCIAI ALPINI

**Umberto Morra di Cella (a)**

**E. Dall'Asta (b) - F. Diotri (a) - G. Forlani (b) - M. Isabellon (c) - R. Roncella (b)**

(a) - **Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta - A.O. Cambiamenti Climatici**

(b) - **Dip. di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e Architettura DICATEA, Università degli Studi di Parma**

(c) - **Dipartimento Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari DISAFA, Università degli Studi di Torino**

[u.morradicella@arpa.vda.it](mailto:u.morradicella@arpa.vda.it)

**XXI Conferenza Nazionale  
#ASITA2017**

21 - 23 Novembre 2017 -  
Salerno



# IL CONTRIBUTO OPERATIVO DELLA GEOMATICA NEL MONITORAGGIO DEI GHIACCIAI ALPINI

## **Umberto Morra di Cella (a)**

**E. Dall'Asta (b) - F. Diotri (a) - G. Forlani (b) - M. Isabellon (c) - R. Roncella (b)**

(a) - **Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta - A.O. Cambiamenti Climatici**

(b) - **Dip. di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e Architettura DICATeA, Università degli Studi di Parma**

(c) - **Dipartimento Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari DISAFA, Università degli Studi di Torino**

[u.morradicella@arpa.vda.it](mailto:u.morradicella@arpa.vda.it)

**XXI Conferenza Nazionale  
#ASITA2017**

21 - 23 Novembre 2017 -  
Salerno





## MOTIVAZIONE

- I ghiacciai alpini sono particolarmente sensibili alle variazioni climatiche e le loro fluttuazioni sono un importante **indicatore del cambiamento climatico** (Haeberli, 2004; Stocker, 2014). **Monitoraggio istituzionale** (L.R. 45/1991 & L. 132/2016 - SNPA)
- Il loro ruolo è fondamentale nella formazione dei **deflussi superficiali** (effetto di modulazione per ritardo della fusione di neve e ghiaccio) con importanti implicazioni sul regime idrico e sulla disponibilità di acqua a fini potabili, irrigui, industriali e idroelettrici (Huss, 2017 e Casassa, 2009)
- La conoscenza dello stato attuale e dell'evoluzione futura dei ghiacciai rappresenta un elemento utilizzato nella definizione delle **politiche di adattamento** al *Climate Change* per le zone alpine (es. Piani di Tutela delle Acque)
- Il **monitoraggio** annuale basato su misure in situ è particolarmente oneroso e limitato da numerosi fattori quali la ridotta accessibilità e condizioni di sicurezza non sempre ottimali (Bhardwaj, 2015). In tutto il globo solo 440 ghiacciai su oltre 220.000 sono oggetto di monitoraggio (WGMS, 2015)

## PARAMETRI OSSERVATIVI

- I parametri osservati:
  - **superficie:** stato e variazioni

Gruppo montuoso <i>Mountain group</i>	Numero ghiacciai Nuovo Catasto <i>Number of glaciers New Inventory</i>	Numero ghiacciai Catasto CGI <i>Number of glaciers - CGI Inventory</i>	Area Nuovo Catasto (km <sup>2</sup> ) <i>Cumulative area - New Inventory (km<sup>2</sup>)</i>	Area Catasto CGI (km <sup>2</sup> ) <i>Cumulative area - CGI Inventory (km<sup>2</sup>)</i>	Variazione n° ghiacciai <i>Change in number of glaciers</i>	Variazione area (km <sup>2</sup> ) <i>Area change (km<sup>2</sup>)</i>	Variazione area (%) <i>Area change (%)</i>
GRAN PARADISO	40	48	23.38	34.32	-8	-10.94	-32%
GRANDE SASSIERE-RUTOR	68	59	28.53	42.44	9	-13.91	-33%
MONTE BIANCO	31	31	36.82	41.15	0	-4.33	-11%
GRAND COMBIN	17	18	4.03	7.84	-1	-3.81	-48%
CERVINO	24	33	15.88	26.62	-9	-10.74	-40%
MONTE ROSA	12	15	25.09	28.54	-3	-3.45	-12%
<b>TOTAL</b>	<b>192</b>	<b>204</b>	<b>133.73</b>	<b>180.91</b>	<b>-12</b>	<b>-47.18</b>	<b>-26%</b>

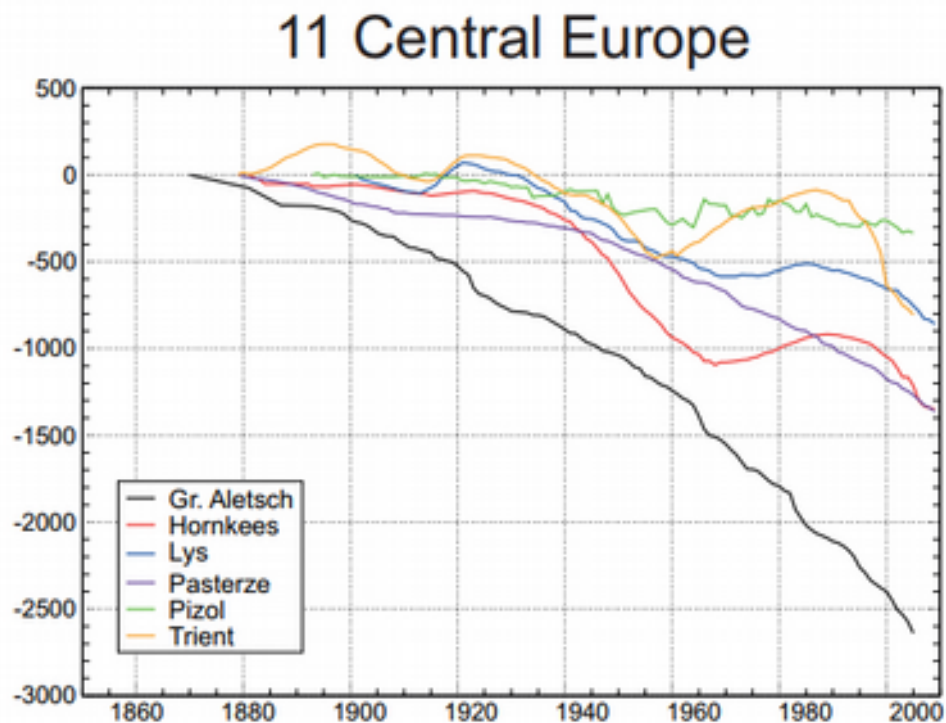
Tab.1

Distribuzione, area e variazioni dei ghiacciai valdostani suddivisi per gruppi montuosi. Le variazioni prendono in considerazione l'intero campione, non solo i ghiacciai comuni ai due catasti  
Area and changes affecting the Aosta Valley glaciers sorted according to the mountain groups where they are located (the whole sample is considered, not only the glaciers common to the two records of data)

## PARAMETRI OSSERVATIVI

- I parametri osservati:
  - **superficie:** stato e variazioni
  - **variazioni frontali:** arretramento e avanzamento

IPCC (2013) – Climate Change 2013:  
The Physical Science Basis  
IPCC Working Group I Contribution to AR5  
Figure 4.9 [...] Long-term cumulative glacier length changes

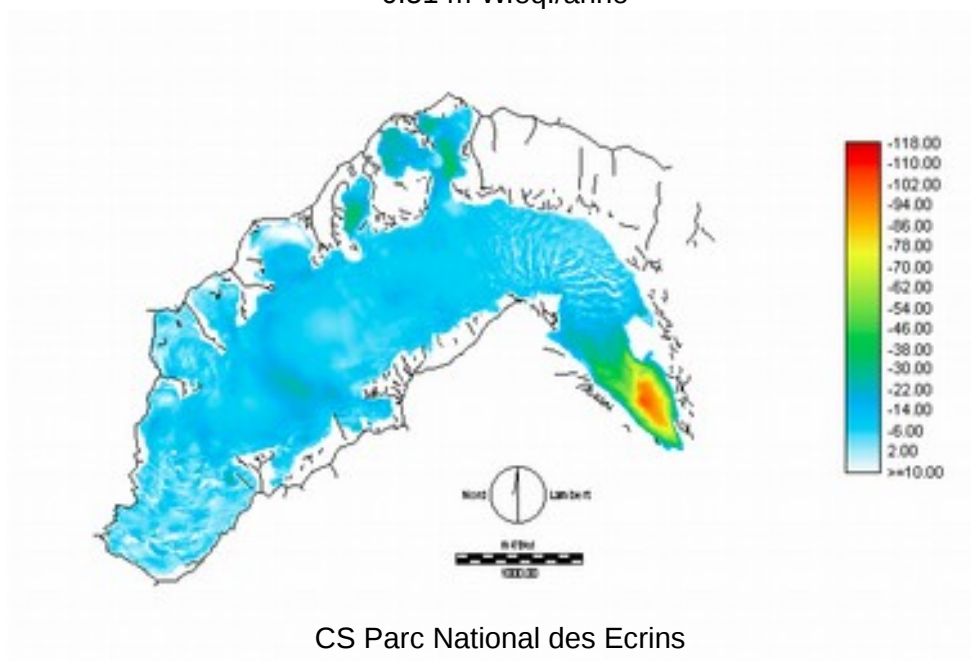




## PARAMETRI OSSERVATIVI

- I parametri osservati:
  - **superficie:** stato e variazioni
  - **variazioni frontali:** arretramento e avanzamento
  - **variazioni di volume:** bilancio di massa

Variazioni di quota del Glacier Blanc (1981-2002)  
- 0.51 m W.eq./anno



CS Parc National des Ecrins  
(2007, M. Thibert, comm. pers.)

## PARAMETRI OSSERVATIVI

**Table 4.3** | Overview of methods used to determine changes in glacier length, area and volume mass along with some typical characteristics. The techniques are not exclusive. The last three columns provide only indicative values.

Parameter	Method	Technique	Typical Accuracy	Number of Glaciers	Repeat Interval	Earliest Data
Length change	Various	Reconstruction	10 m	Dozens	Decadal – centuries	Holocene
	Field	<i>In situ</i> measurement	1 m	Hundreds	Annual	19th century
	Remote sensing	Photogrammetric survey	Two image pixels (depending on resolution)	Hundreds	Annual	20th century
Area change	Maps	Cartographic	5% of the area	Hundreds	Decadal	19th century
	Remote sensing	Image processing	5% of the area	Thousands	Sub-decadal	20th century
Volume change	Remote sensing	Laser and radar profiling	0.1 m	Hundreds	Annual	21st century
	Remote sensing	DEM differencing	0.5 m	Thousands	Decadal	20th century
Mass change	Field	Direct mass balance measurement	0.2 m	Hundreds	Seasonal	20th century
	Remote sensing	Gravimetry (GRACE)	Dependent on the region	Global	Seasonal	21st century

EEA, Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016.

## PARAMETRI OSSERVATIVI

**Table 4.3** | Overview of methods used to determine changes in glacier length, area and volume mass along with some typical characteristics. The techniques are not exclusive. The last three columns provide only indicative values.

Parameter	Method	Technique	Typical Accuracy	Number of Glaciers	Repeat Interval	Earliest Data
Length change	Various	Reconstruction	10 m	Dozens	Decadal – centuries	Holocene
	Field	<i>In situ</i> measurement	1 m	Hundreds	Annual	19th century
	Remote sensing	Photogrammetric survey	Two image pixels (depending on resolution)	Hundreds	Annual	20th century
Area change	Remote sensing	Cartographic	5% of the area	Hundreds	Decadal	19th century
		Image processing	5% of the area	Thousands	Sub-decadal	20th century
Volume change	Remote sensing	Laser and radar profiling	0.1 m	Hundreds	Annual	21st century
	Remote sensing	DEM differencing	0.5 m	Thousands	Decadal	20th century
Mass change	Field	Direct mass balance measurement	0.2 m	Hundreds	Seasonal	20th century
	Remote sensing	Gravimetry (GRACE)	Dependent on the region	Global	Seasonal	21st century

EEA, Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016.

- *In situ* measurement
- Photogrammetric survey
- Image processing
- DEM differencing

## IL BILANCIO DI MASSA: generalità

- Il bilancio di massa glaciale (Khun, 1981) misura le variazioni di massa del ghiacciaio sulla base degli apporti (neve da **precipitazione**, apporti da vento, ...) e delle perdite (**fusione**, evaporazione, sublimazione, ...)

$$\partial V / \partial a = M_a - M_m \pm M_b - M_c$$

- $M_a$  = annual accumulation (snow)
- $M_m$  = annual ablation (surface melt)
- $M_b$  = bottom melting
- $M_c$  = calving

Net surface mass balance

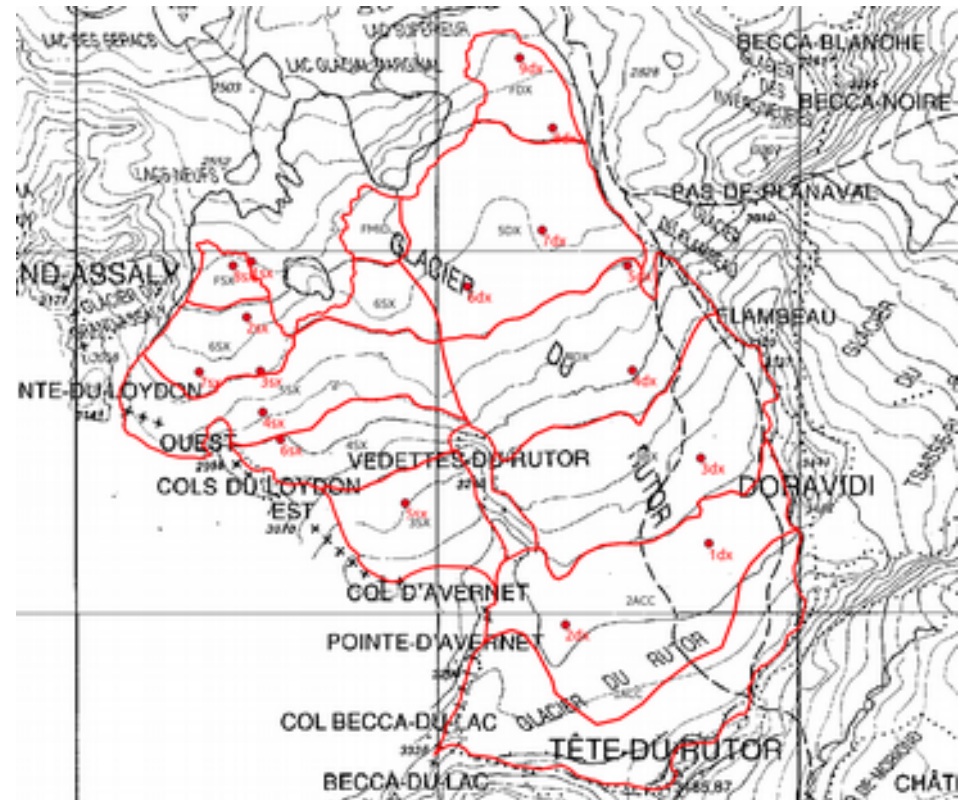
$$B_n = M_a - M_m$$

## BILANCIO DI MASSA - metodo tradizionale (glaciologico)

- Misura degli apporti invernali (spessore e densità del manto nevoso) e misura della fusione estiva (abbassamento della superficie) su paline infisse nel ghiacciaio distribuite lungo un gradiente altitudinale e rappresentativi di (+/-) ampi settori

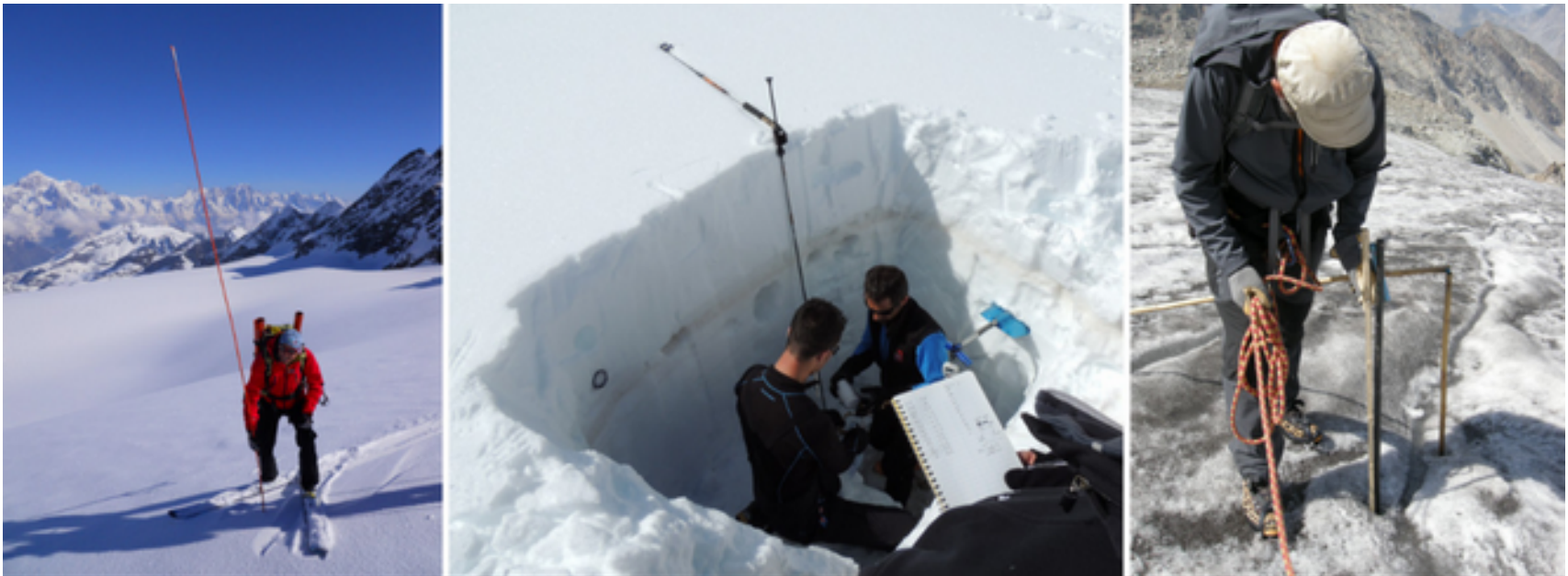


Misura di ablazione  
Ghiacciaio del Rutor  
(La Thuile, AO)  
20 settembre 2016



## BILANCIO DI MASSA - metodo tradizionale (glaciologico)

- Misura degli apporti invernali (spessore e densità del manto nevoso) e misura della fusione estiva (abbassamento della superficie) su paline infisse nel ghiacciaio distribuite lungo un gradiente altitudinale e rappresentativi di (+/-) ampi settori



Misura di altezza e densità del manto nevoso  
Ghiacciaio del Rutor (La Thuile, AO)  
16 maggio 2017


Misura di ablazione  
Ghiacciaio del Timorion  
(Gran Paradiso, AO)  
31 ottobre 2016


## **BILANCIO DI MASSA - metodo tradizionale (glaciologico)**

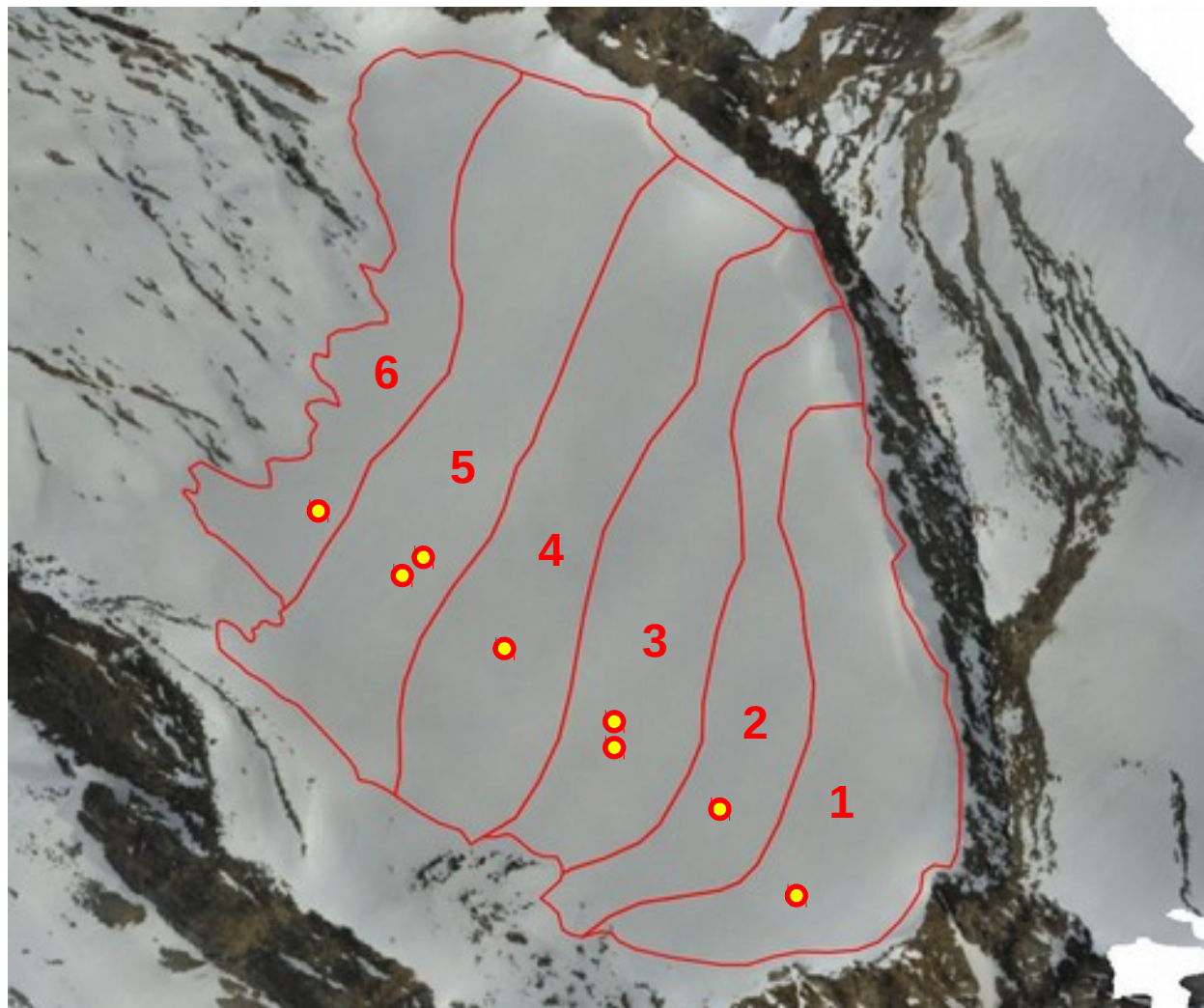
- Ghiacciaio di Timorion (Parco Nazionale Gran Paradiso – Valle d'Aosta)
- Quota max: 3.450 m / Quota minima: 3.150 m / Superficie: 0,44 Km<sup>2</sup>



## BILANCIO DI MASSA - metodo tradizionale (glaciologico)

 paline ablatometriche

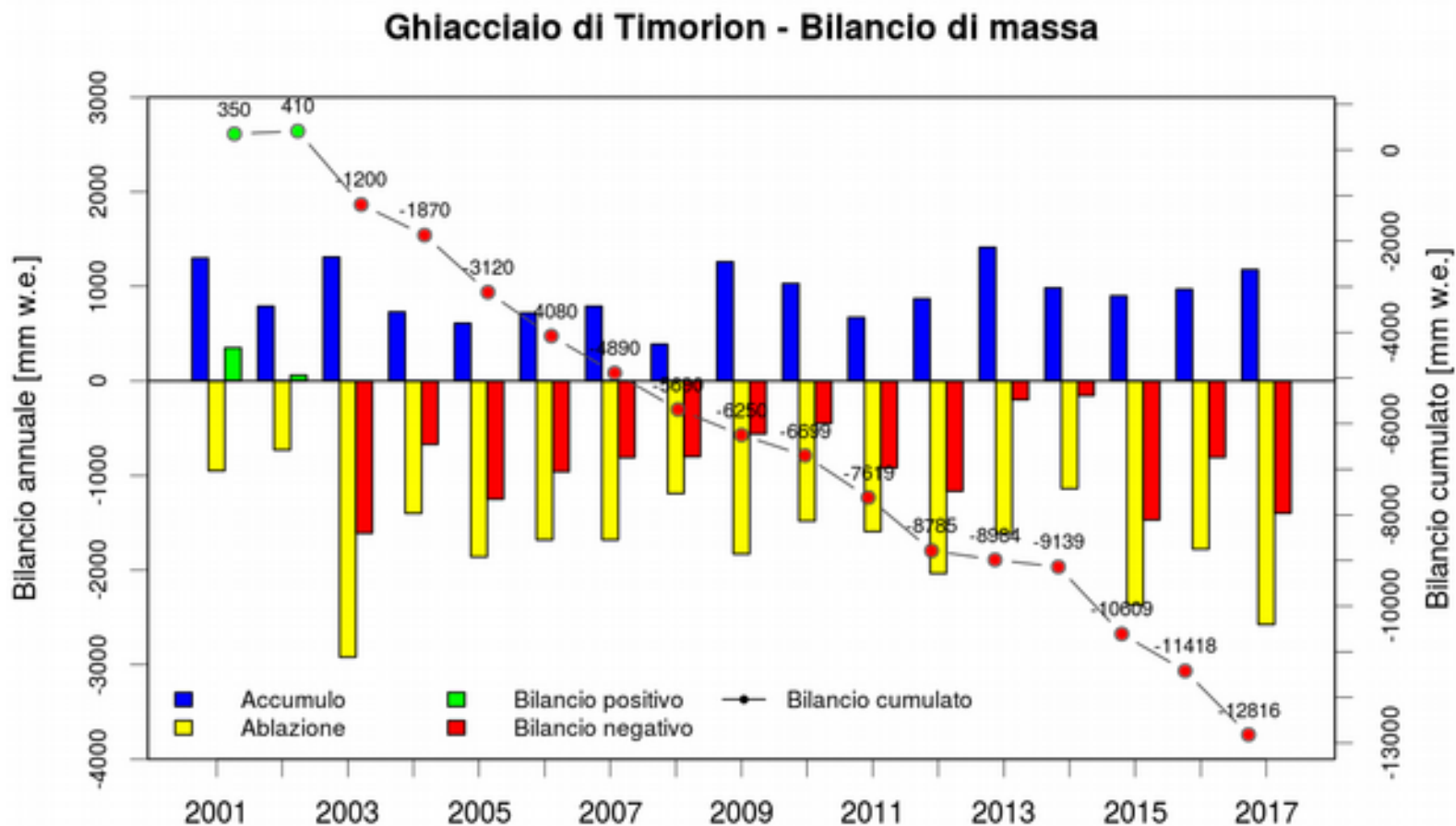
 settori «omogenei»



Ortomosaico su base immagini UAV  
Rilievo con SenseFly ebee RTK  
01 giugno 2016



## BILANCIO DI MASSA - metodo tradizionale (glaciologico)



## **BILANCIO DI MASSA: evoluzioni delle condizioni...**

- percorribilità della superficie dei ghiacciai sempre più limitata □ movimentazione onerosa



Ghiacciaio del Rutor (La Thuile – AO) – 29 settembre 2017

## BILANCIO DI MASSA: evoluzioni delle condizioni...

- sicurezza degli operatori non sempre «garantita»

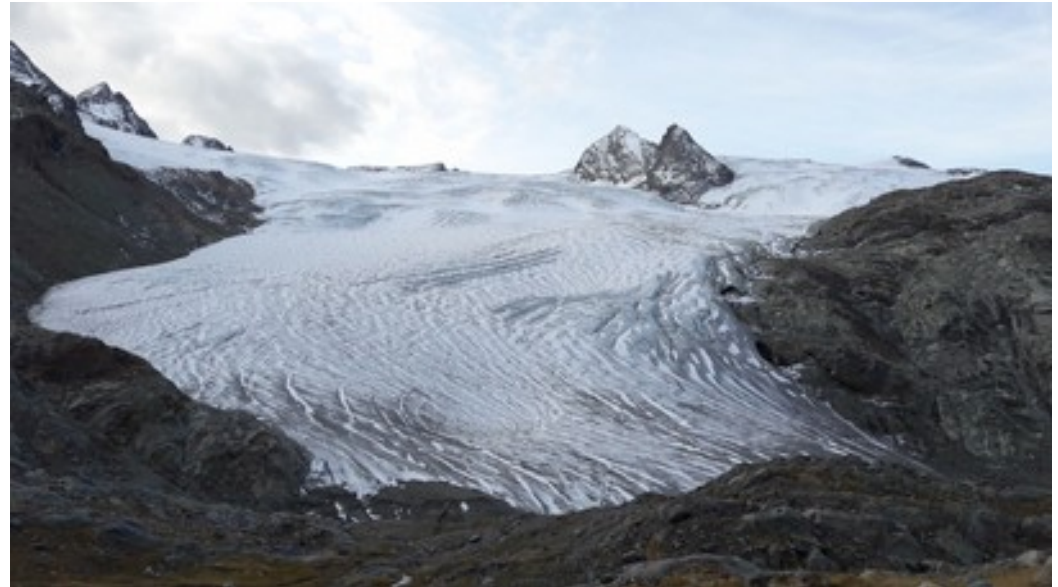


In alto: crollo di roccia su un ghiacciaio della Val Ferret (Mont Dolent, AO) 20 ottobre 2017

A sinistra: misure di ablazione in zona crepacciata sul Ghiacciaio del Petit Grapillon (Mont Dolent, AO) 20 ottobre 2017

## BILANCIO DI MASSA: evoluzioni delle condizioni...

- importanti cambiamenti della superficie possono determinare la perdita dei punti di riferimento e limitare la disponibilità di dati



In alto: lobo frontale destro del Ghiacciaio del Rutor (La Thuile, AO) 29 settembre 2017. L'arretramento frontale medio di -30 m/anno richiede continui interventi sulle paline ablatometriche

A sinistra: palina ablatometrica «intercettata» da un crepaccio e della quale è perso il dato stagionale Ghiacciaio del Timorion (Gran Paradiso, AO) 28 luglio 2017

## **BILANCIO DI MASSA: ... nuove necessità**

- aumentare la precisione del monitoraggio e adeguarlo a nuove condizioni
- ridurre l'impiego di risorse umane e la presenza di operatori sul terreno (sicurezza)



- **dataset più numerosi** (da dato puntuale a dato distribuito):
  - ✓ misure in situ: rilievi GNSS
  - ✓ misure remote: fotogrammetria
- **dati telerilevati** per analisi multitemporale di DEMs e produzione di ortomosaici:
  - stereo-images satellite based (es. ASTER, Spot5, Pléiades, ...)
  - tecniche DInSAR (es. Cosmo SKY-Med, Sentinel 1, ...)
  - fotogrammetria (area tradizionale, UAV, terrestre)

## **BILANCIO DI MASSA: ... nuove necessità**

- aumentare la precisione del monitoraggio e adeguarlo a nuove condizioni
- ridurre l'impiego di risorse umane e la presenza di operatori sul terreno (sicurezza)



- **dataset più numerosi** (da dato puntuale a dato distribuito):

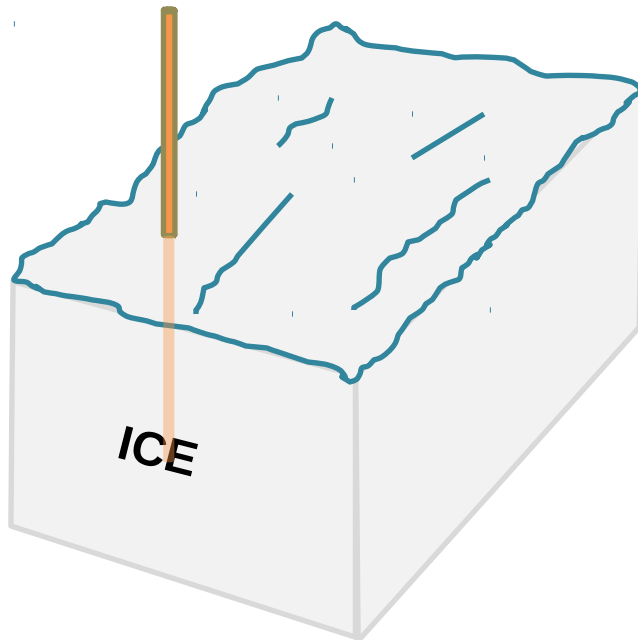
- ✓ misure in situ: rilievi GNSS
- ✓ misure remote: fotogrammetria

- **dati telerilevati** per analisi multitemporale di DEMs e produzione di ortomosaici:
  - stereo-images satellite based (es. ASTER, Spot5, Pléiades, ...)
  - tecniche DInSAR (es. Cosmo SKY-Med, Sentinel 1, ...)
  - fotogrammetria (area tradizionale **UAV**, terrestre)

## BILANCIO DI MASSA 2016/17: GNSS + UAV

- misura della variazione della superficie del ghiacciaio 2016 – 2017 (fine stagione estiva)

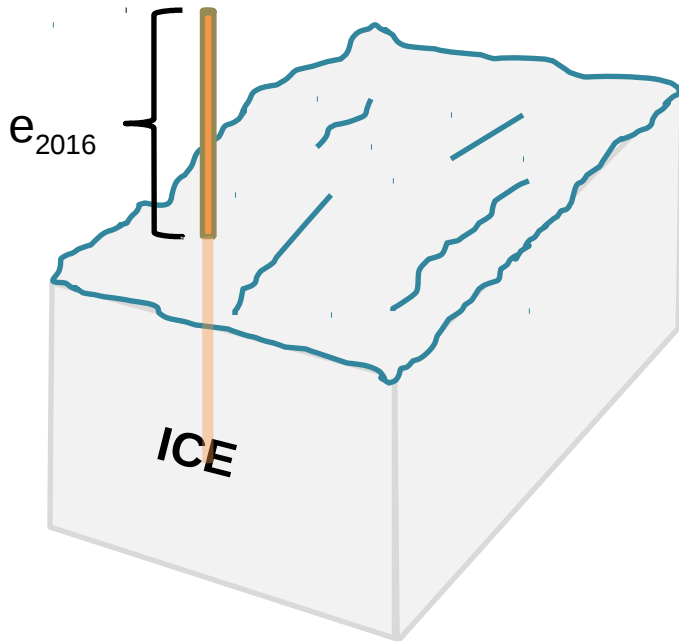
sett 2016



## BILANCIO DI MASSA 2016/17: GNSS + UAV

- misura della variazione della superficie del ghiacciaio 2016 – 2017 (fine stagione estiva)

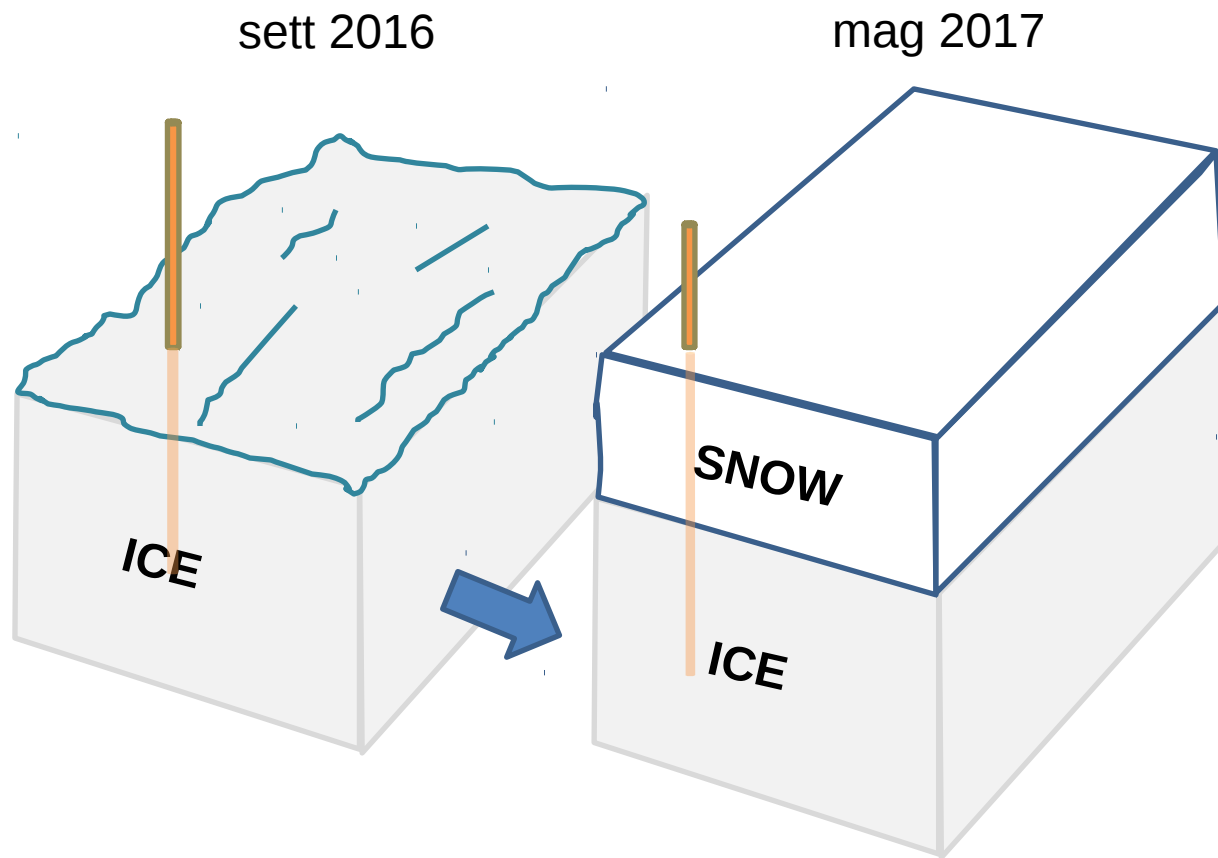
sett 2016





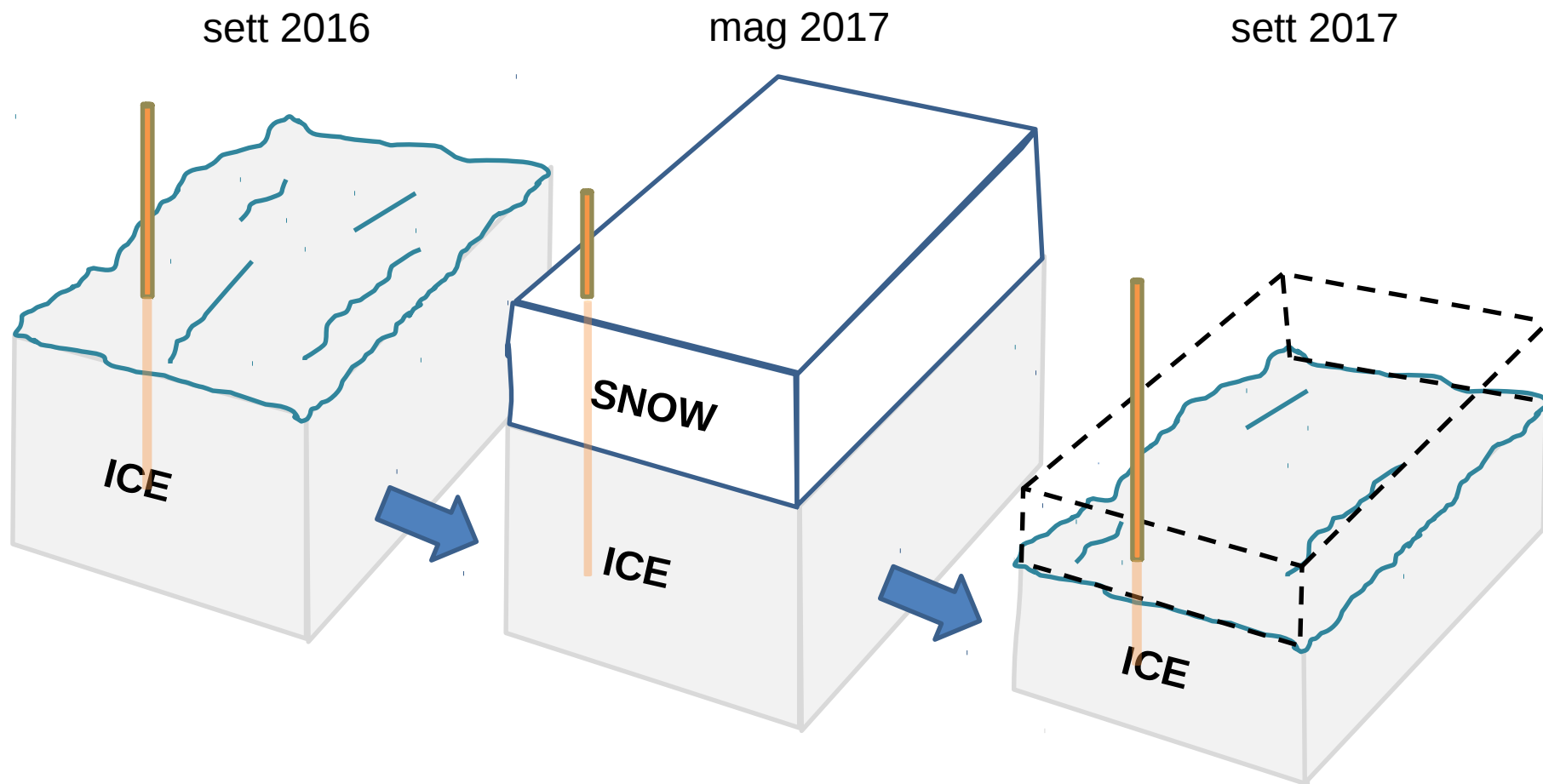
## BILANCIO DI MASSA 2016/17: GNSS + UAV

- misura della variazione della superficie del ghiacciaio 2016 – 2017 (fine stagione estiva)



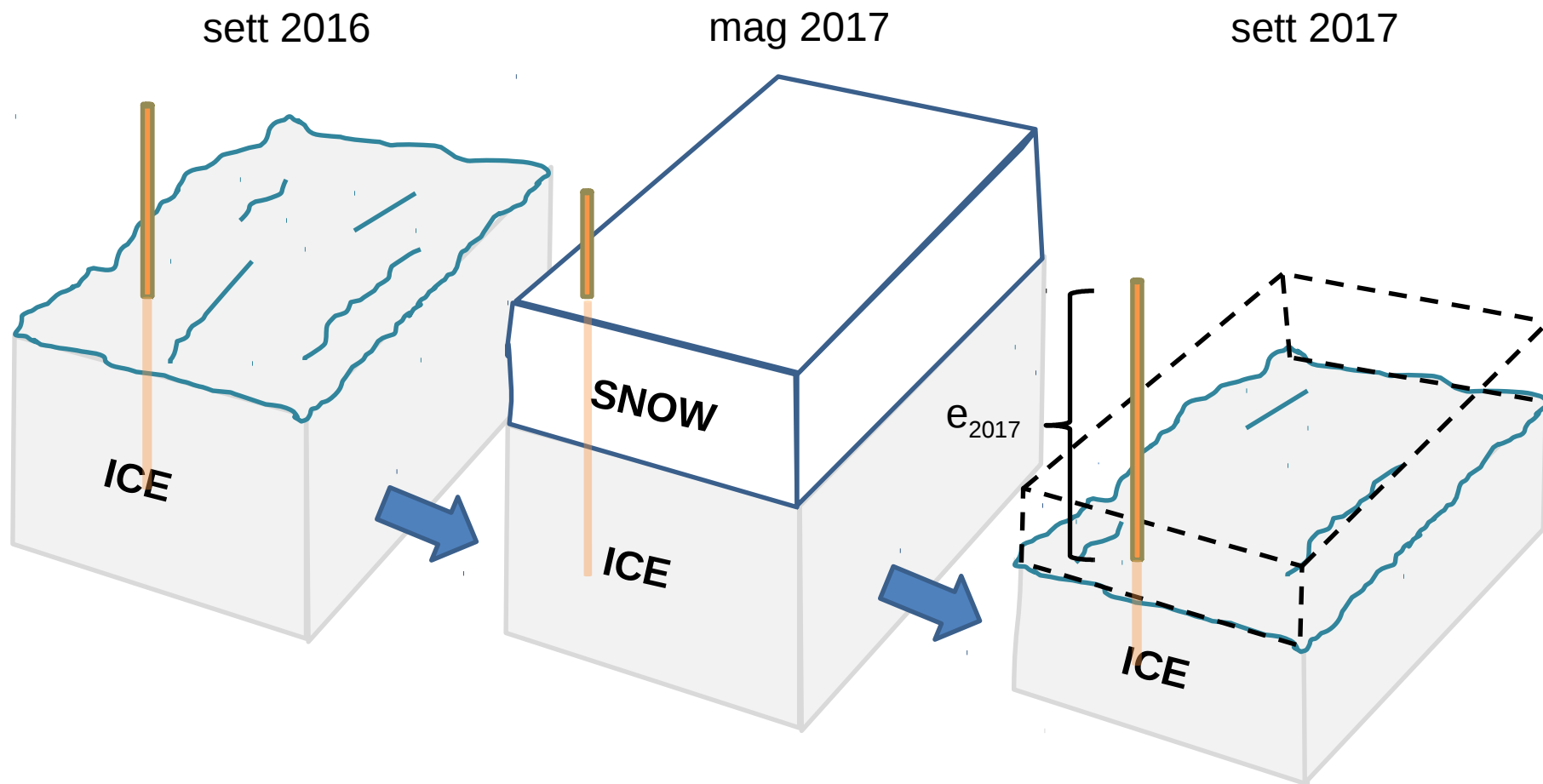
## BILANCIO DI MASSA 2016/17: GNSS + UAV

- misura della variazione della superficie del ghiacciaio 2016 – 2017 (fine stagione estiva)



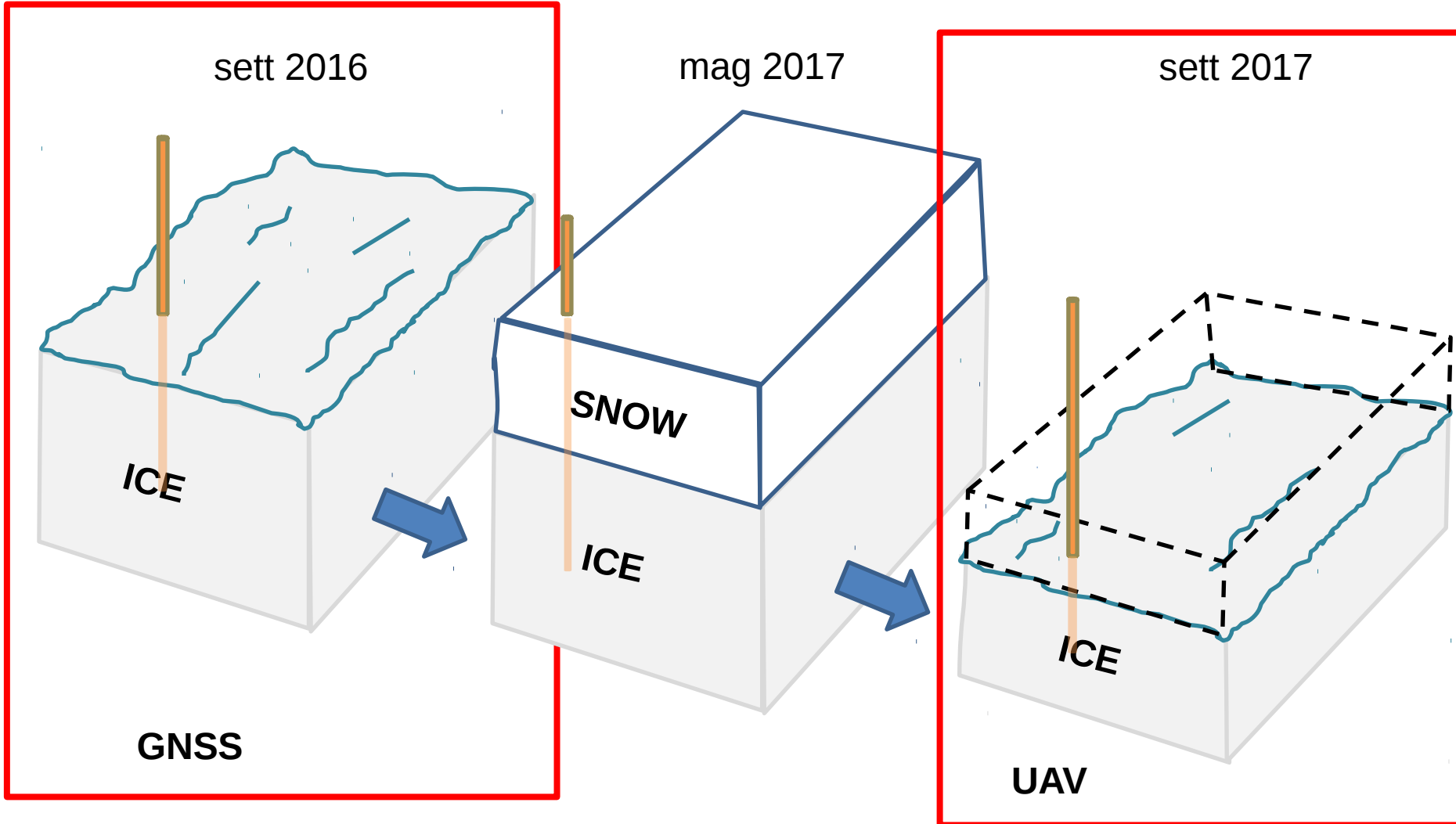
## BILANCIO DI MASSA 2016/17: GNSS + UAV

- misura della variazione della superficie del ghiacciaio 2016 – 2017 (fine stagione estiva)



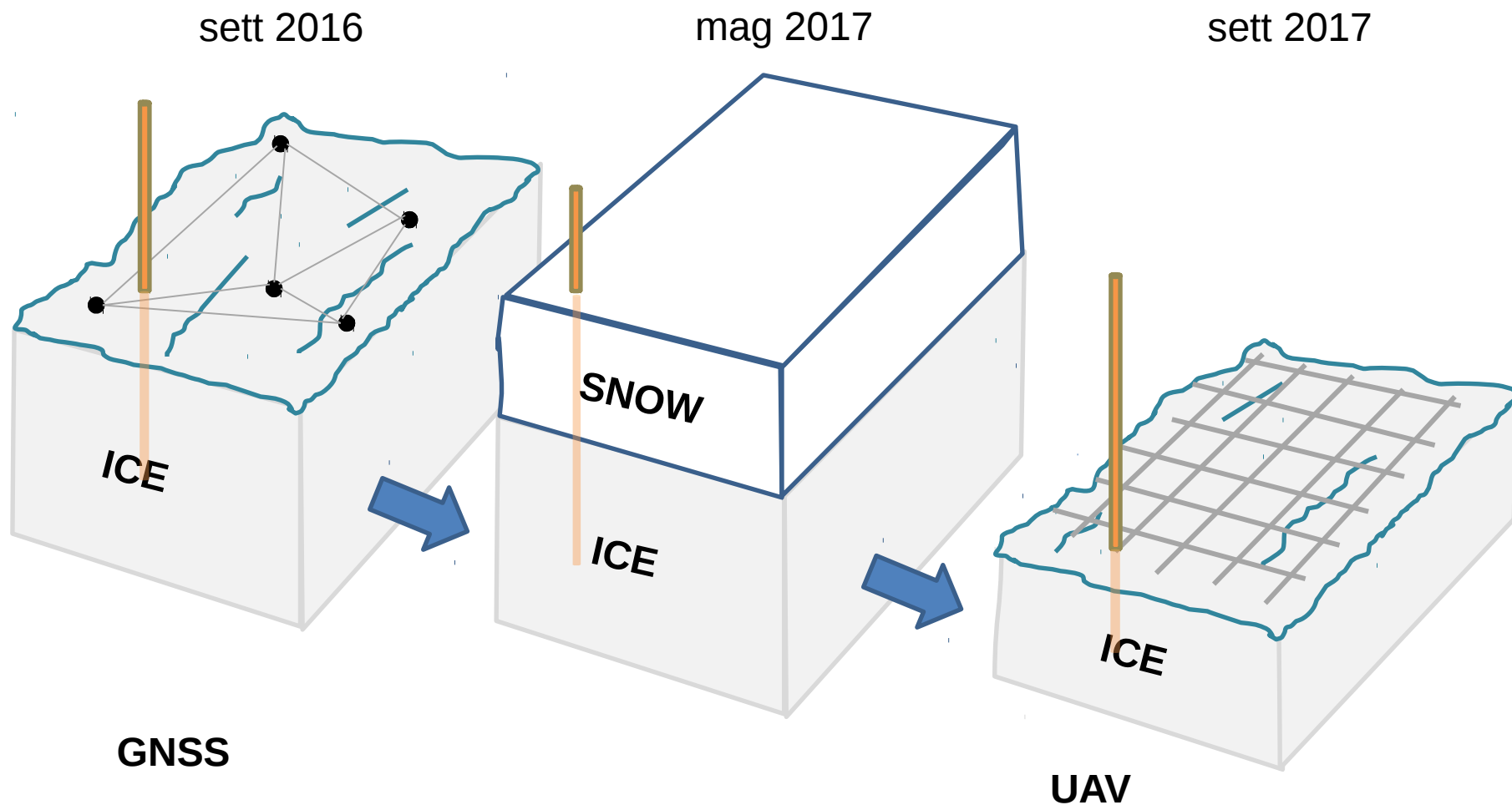
## BILANCIO DI MASSA 2016/17: GNSS + UAV

- misura della variazione della superficie del ghiacciaio 2016 – 2017 (fine stagione estiva)



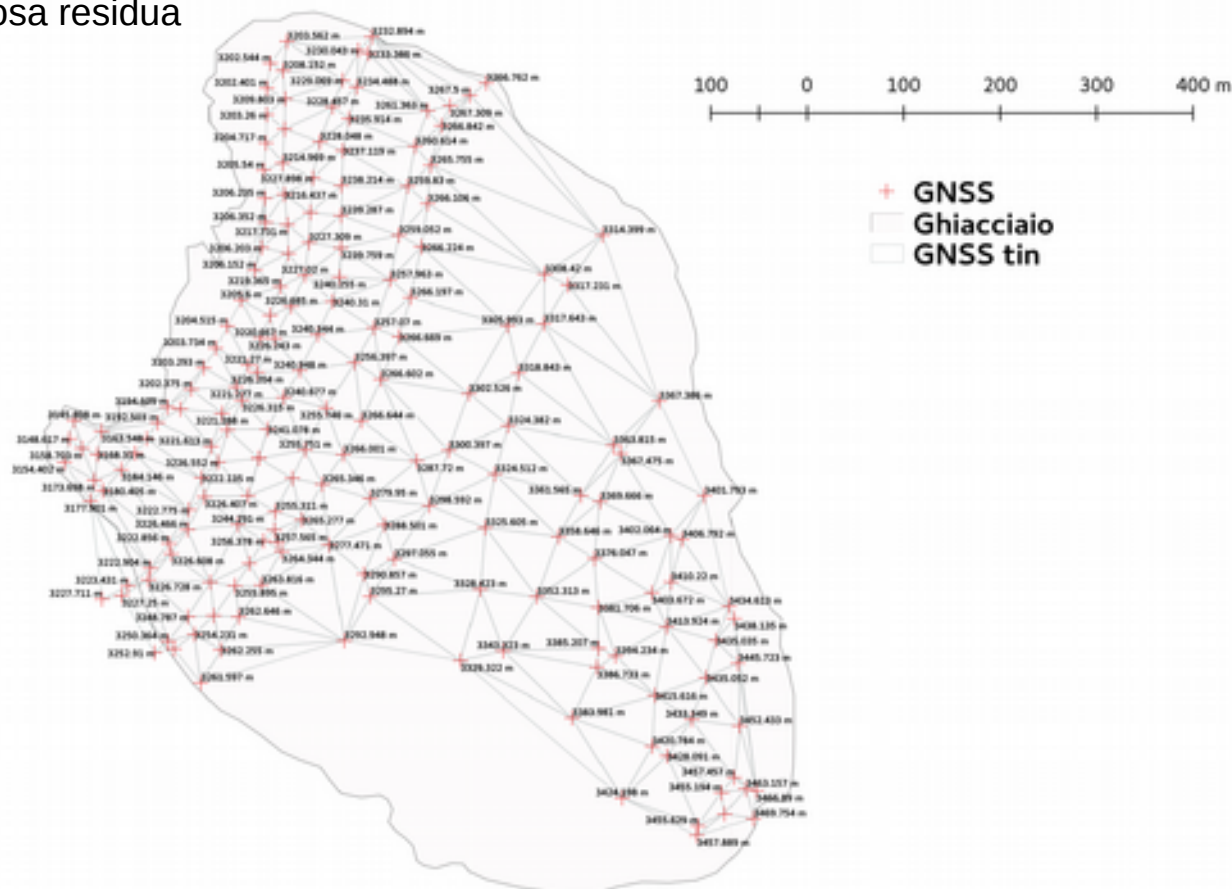
## BILANCIO DI MASSA 2016/17: GNSS + UAV

- misura della variazione della superficie del ghiacciaio 2016 – 2017 (fine stagione estiva)



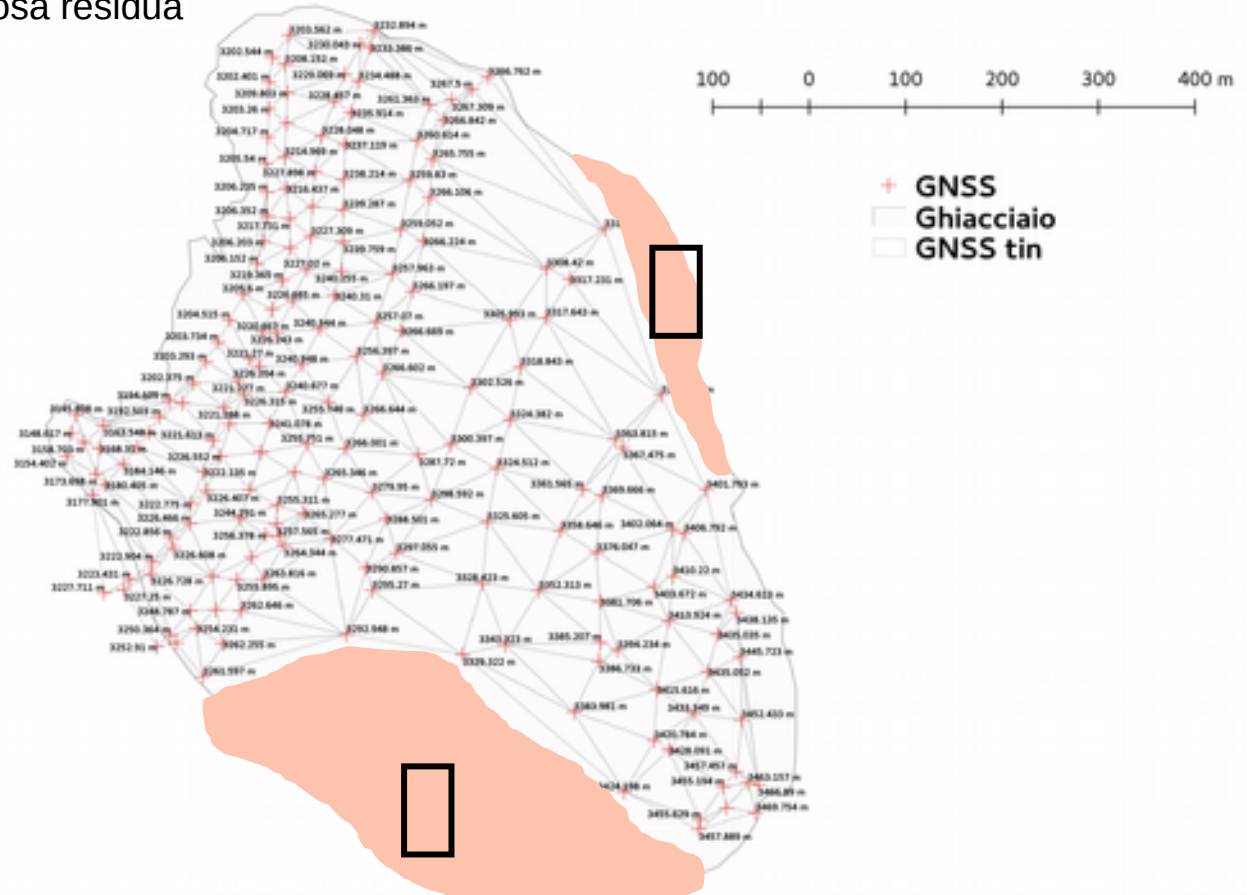
## BILANCIO DI MASSA 2016/17: rilievo superficie 2016 (GNSS – 31/10/2016)

- Ghiacciaio di Timorion
- rilievo RTK in modalità base-rover
- baselines < 1 km
- connessione modem radio UHF (assenza segnale GSM/GPRS)
- totale assenza di copertura nevosa residua
- **190 punti**



## BILANCIO DI MASSA 2016/17: rilievo superficie 2016 (GNSS – 31/10/2016)

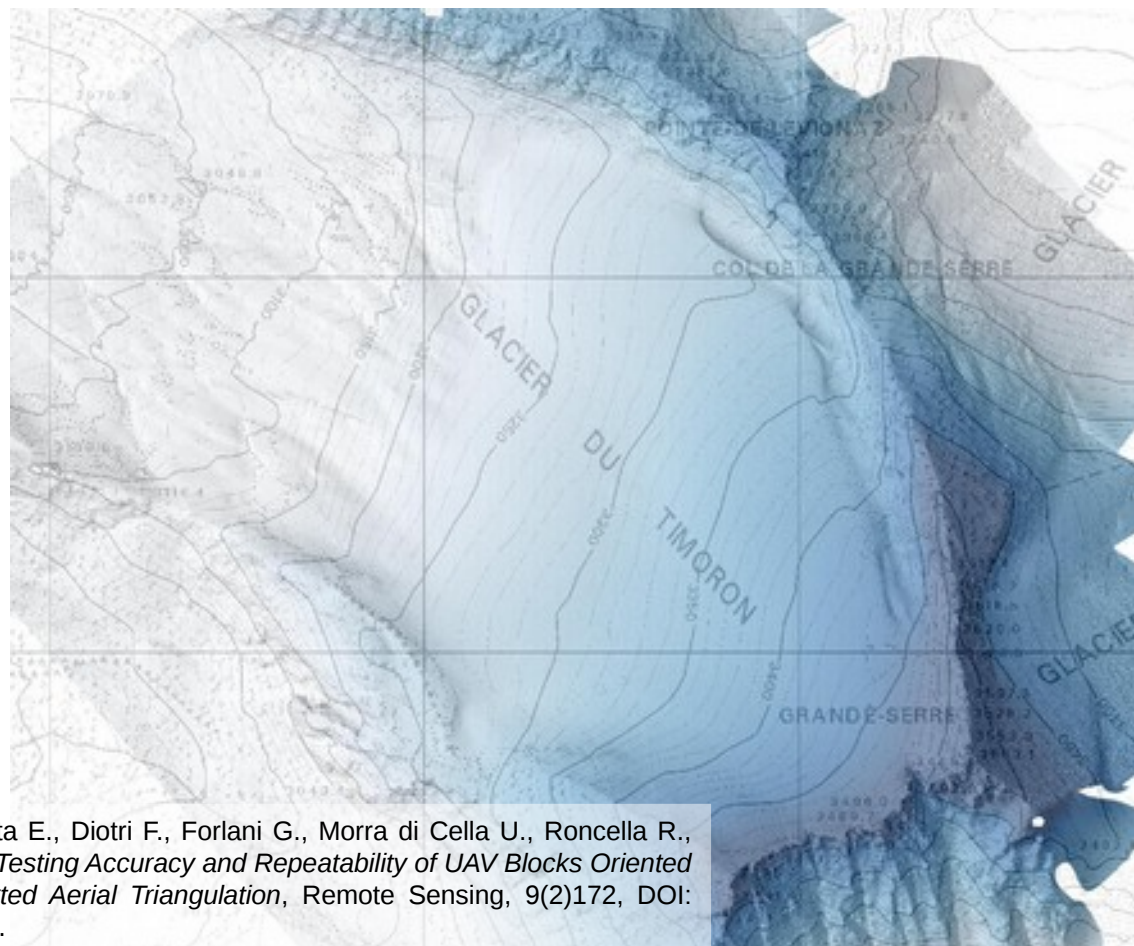
- Ghiacciaio di Timorion
- rilievo RTK in modalità base-rover
- baselines < 1 km
- connessione modem radio UHF (assenza segnale GSM/GPRS)
- totale assenza di copertura nevosa residua
- **190 punti**



## BILANCIO DI MASSA 2016/17: rilievo superficie 2017 (UAV – 22/09/2017)

- Ghiacciaio di Timorion
- 235 immagini
- quota media di volo: 130 m (GSD: 3 cm)
- SenseFly ebee RTK + camera S.O.D.A.
- overlap longitudinale: 80%
- overlap laterale: 70%
- base station GNSS: Geomax Zenith20
- **1 GCP vicino all'area di TO**

**Accuratezza e ripetibilità di blocchi APR con orientamento assistito da GNSS**  
ASITA2017 - Sessione 11



Benassi F., Dall'Asta E., Diotri F., Forlani G., Morra di Cella U., Roncella R., Santise M. (2017), *Testing Accuracy and Repeatability of UAV Blocks Oriented with GNSS-Supported Aerial Triangulation*, Remote Sensing, 9(2)172, DOI: 10.3390/rs9020172.



## BILANCIO DI MASSA 2016/17: risultati

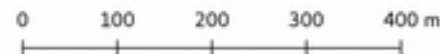
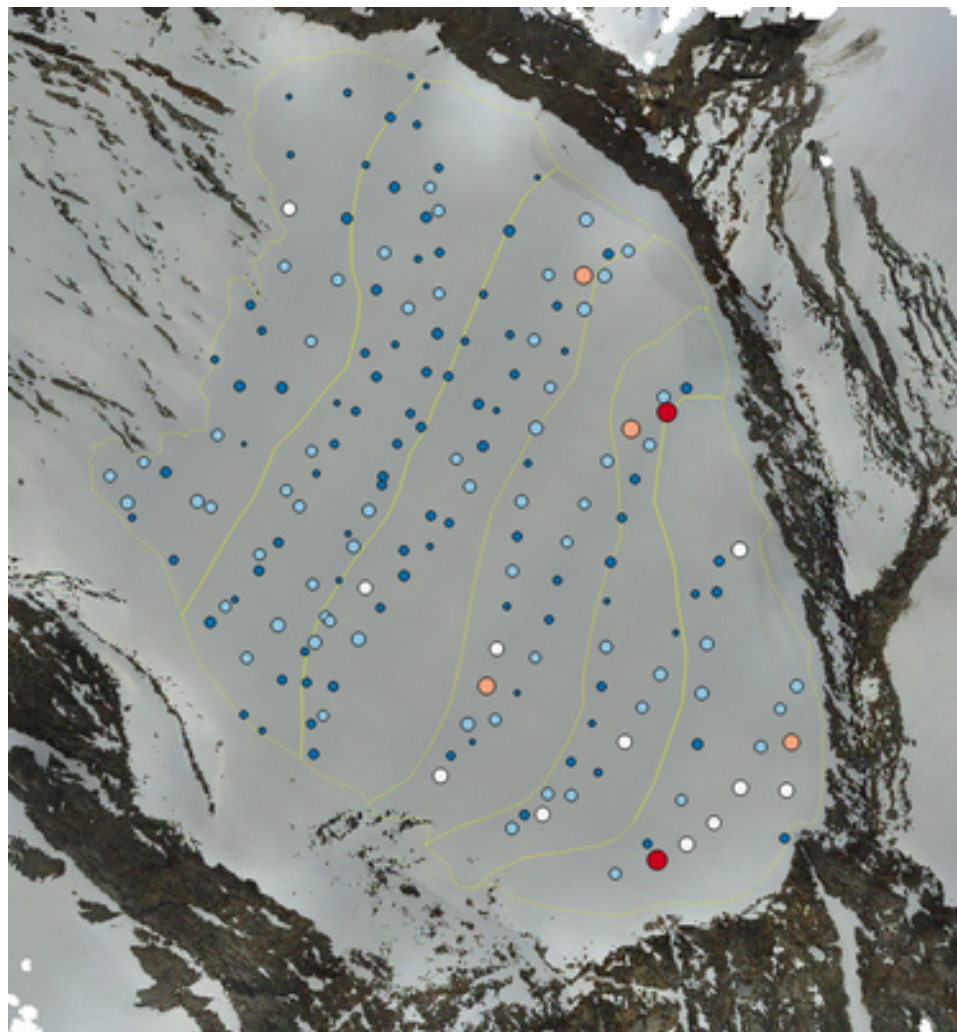
Settore	Metodo tradizionale			GNSS - UAV			
	N.	$\Delta$ ice (m w. eq.)	Ablazione (mc w. eq.)	N.	$\Delta$ ice (m w. eq.)	StDev (m w. eq.)	Ablazione (m w. eq.)
1	1	0	0	12	- 0,838	- 0,593	64.448
2	1	- 0,950	45.957	9	- 0,982	- 0,619	52.204
3	2	- 1,200	76.406	11	- 1,126	- 1,033	78.785
4	1	- 1,650	126.500	15	- 1,158	- 0,702	97.560
5	2	- 1,900	165.150	64	- 1,577	- 0,625	150.631
6	1	- 3,600	211.445	61	- 2,387	- 0,603	154.066
<b>Totali</b>			<b>625.460</b>				<b>533.247</b>

Tradizionale: -1,408 m w. eq.

GNSS + UAV: -1,20 m w. eq.

$\Delta$ :  $\approx$  15%

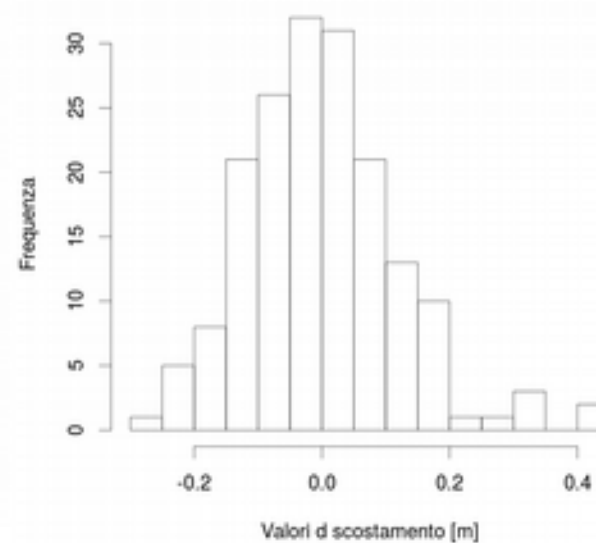
## BILANCIO DI MASSA 2016/17: accumuli (Hs manuale vs. $\Delta$ UAV<sub>06/2017</sub> – GNSS<sub>10/2016</sub>)



### GNSS UAV validazione [175]

- 0.00 - 0.09 [96]
- 0.09 - 0.18 [62]
- 0.18 - 0.27 [11]
- 0.27 - 0.36 [4]
- 0.36 - 0.45 [2]
- Settori di misura

### Scostamento GNSS RTK - UAV RTK



## VARIAZIONI FRONTALI: metodo tradizionale

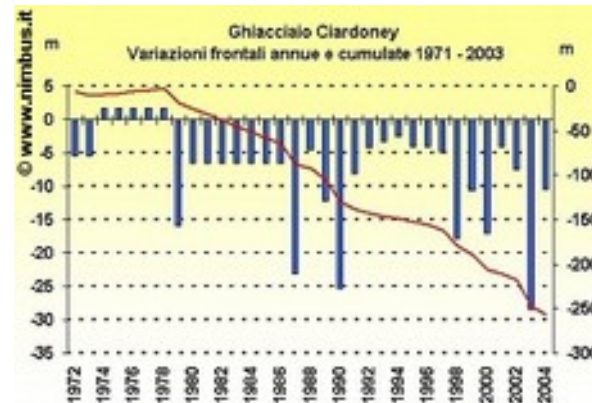
- misura diretta della posizione della fronte glaciale da caposaldo e lungo una/più direzione/i definita/i (ritiro differenziale, inaccessibilità della fronte) □ misure indirette



Ghiacciaio del Ciardoney (Gran Paradiso)  
(Fonte SMI)

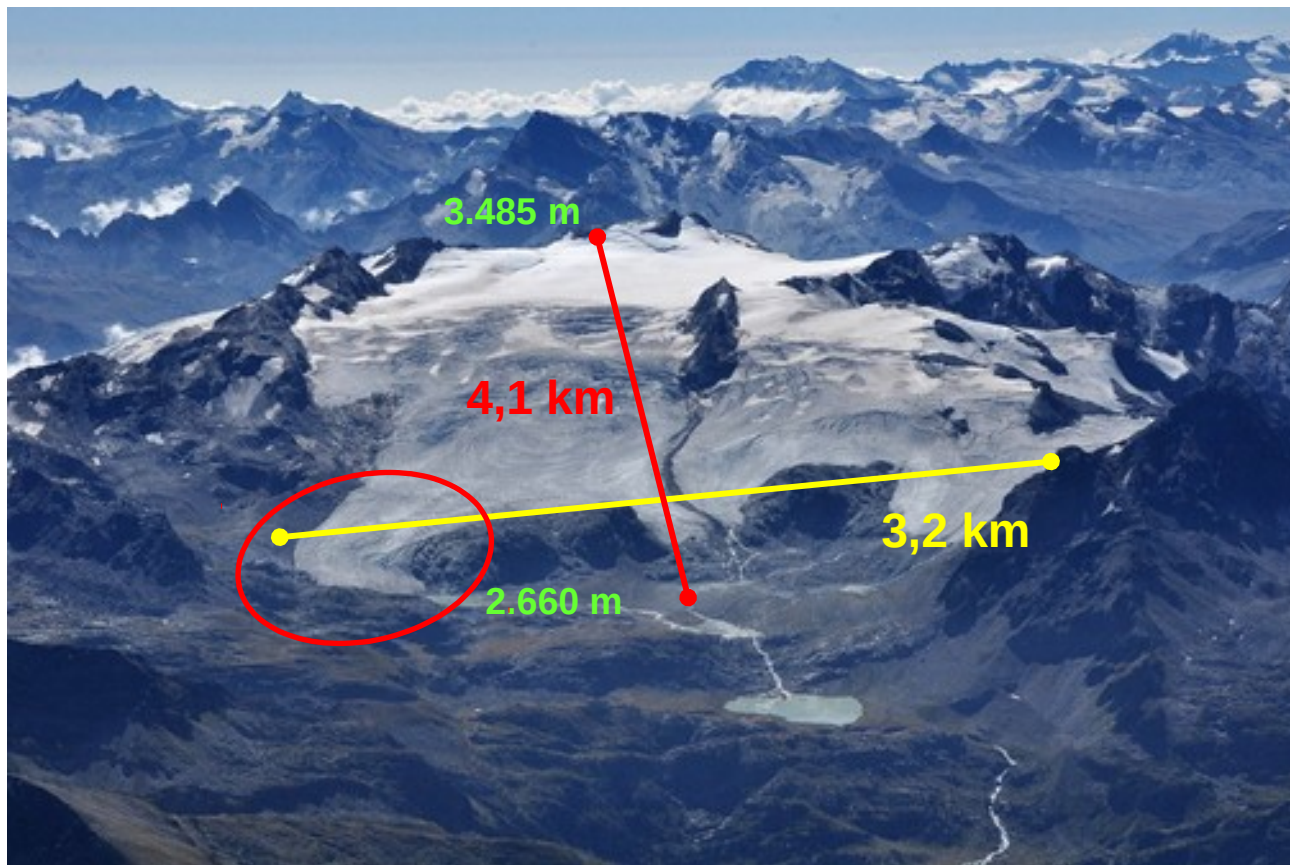


(Sopra) Ghiacciaio di Pré de Bard (Val Ferret, AO) (Foto: SMI)



## VARIAZIONI FRONTALI: fotogrammetria aerea (immagini da UAV)

- misura indiretta della posizione della fronte glaciale tramite digitalizzazione di ortomosaici prodotti da rilievi periodici UAV □ rilievo distribuito ad alta/altissima risoluzione

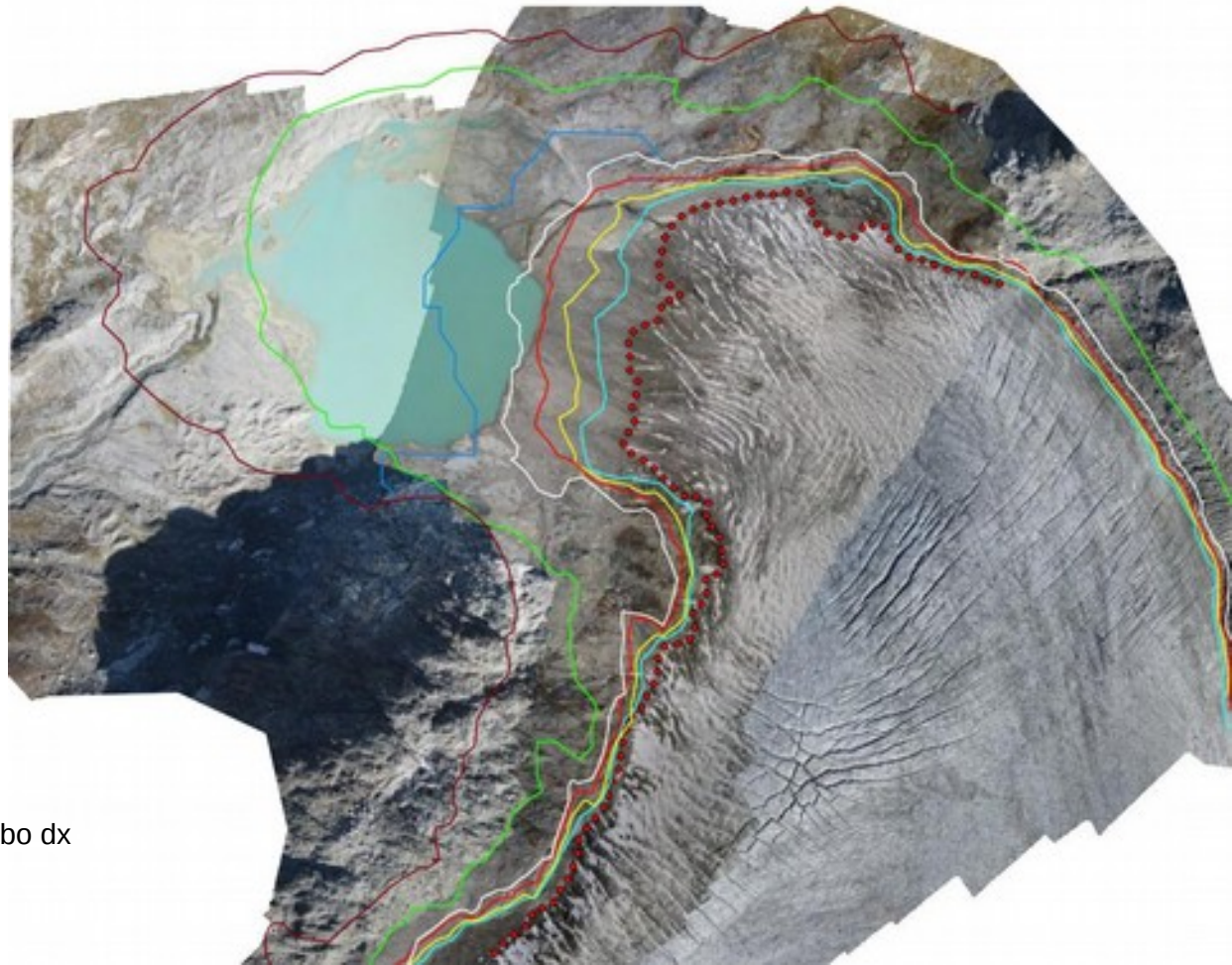


Ghiacciaio del Rutor (La Thuile, AO) (Foto: FMS)

## VARIAZIONI FRONTALI: fotogrammetria aerea (immagini da UAV)

- misura indiretta della posizione della fronte glaciale tramite digitalizzazione di ortomosaici prodotti da **rilievi periodici UAV** □ rilievo distribuito ad alta/altissima risoluzione

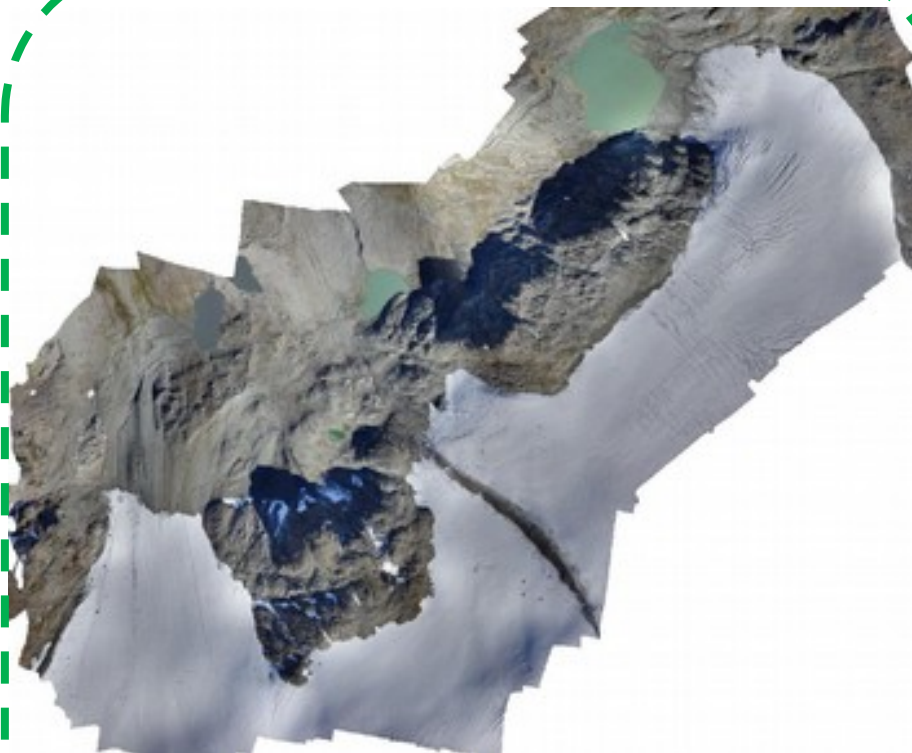
- 1999\_ortofoto\_IT2000
- 2005\_ortofoto\_RAVA
- 20100930\_RU\_frente\_GPS
- - - 20110929\_GPS
- 20120920\_GPS
- 20130809\_uav
- 20140929\_uav
- 20150925\_uav
- 20160920\_uav
- 20170929\_RU\_frente\_uav\_23032



Ghiacciaio del Rutor – variazioni fronte lobo dx  
(1999 – 2017)

## VARIAZIONI FRONTALI: fotogrammetria aerea (immagini da UAV)

- misura indiretta della posizione della fronte glaciale tramite digitalizzazione di ortomosaici prodotti da **rilievi periodici UAV** □ rilievo distribuito ad alta/altissima risoluzione



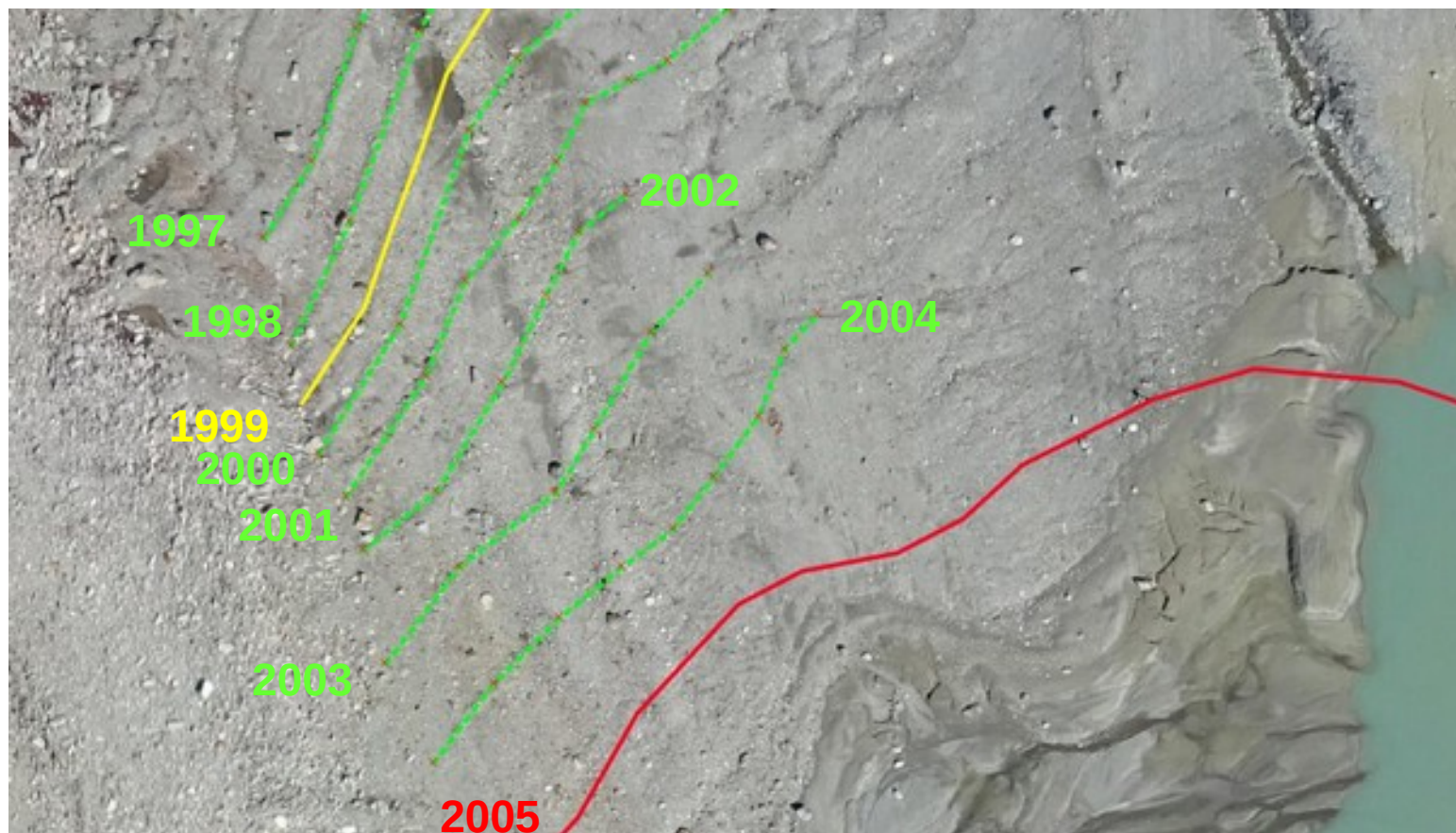
Ghiacciaio del Rutor – rilievo 09/2016  
SenseFly ebee RTK – 2 missioni (2 GCPs)  
tempo totale di volo: 39'

Ghiacciaio del Rutor – rilievo 09/2017  
DJI PH4 PRO – 5 missioni (10 GCPs)  
tempo totale di volo: 92'  
tot tempo trasferimento fra TO: 2h 15'



## VARIAZIONI FRONTALI: fotogrammetria aerea (immagini da UAV)

- ricostruzione dell'arretramento glaciale nell'immediato passato (in verde la posizione individuata su immagini UAV, giallo ortomosaico IT2000, in rosso ortomosaico RAVA2006)



Ghiacciaio del Rutor – rilievo UAV 09/2016  
SenseFly ebee RTK



## CONCLUSIONI (1)

- ✓ Il monitoraggio della dinamica evolutiva dei ghiacciai è attività essenziale nella conoscenza dell'impatto del *Climate Change* sul territorio
- ✓ Alla scala locale e regionale non può che basarsi su informazioni ad alta risoluzione (spaziale e temporale)
- ✓ Le tecniche geomatiche (in particolare la fotogrammetria UAV):
  - ❖ forniscono un reale contributo al monitoraggio in termini di:
    - **qualità dell'informazione** (esaustività, accuratezza)
    - **riduzione dei costi** nella fase di esercizio
    - **sicurezza** delle operazioni
    - **complemento ad altre tecniche**
  - ❖ consentono il reperimento di informazioni su elementi altrimenti «persi» e, in alcuni casi, «effimeri» in relazione alle loro caratteristiche geometriche e alle dinamiche degli ambienti di alta quota



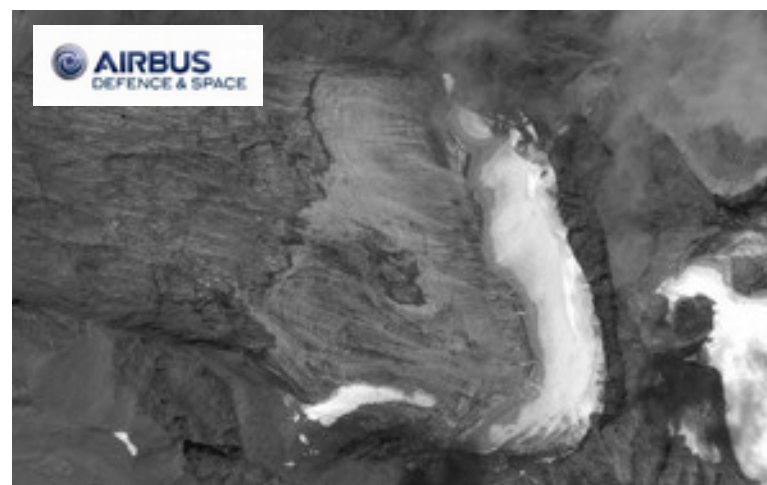
## CONCLUSIONI (2)

- ✓ In particolare la fotogrammetria UAV rappresenta l'unica tecnica disponibile attualmente per alcune **applicazioni di monitoraggio** in relazione a:
- versatilità nel momento di acquisizione
  - elevata risoluzione geometrica e sufficiente precisione
  - costi limitati

Ghiacciaio del Rutor – lobo sx



Ghiacciaio di Timorion – Pléiades 21 agosto 2017

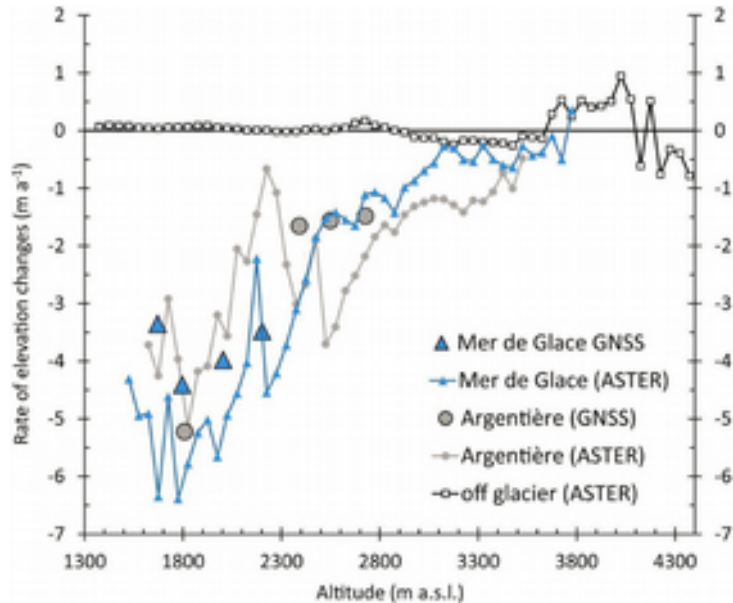


## CONCLUSIONI (2)

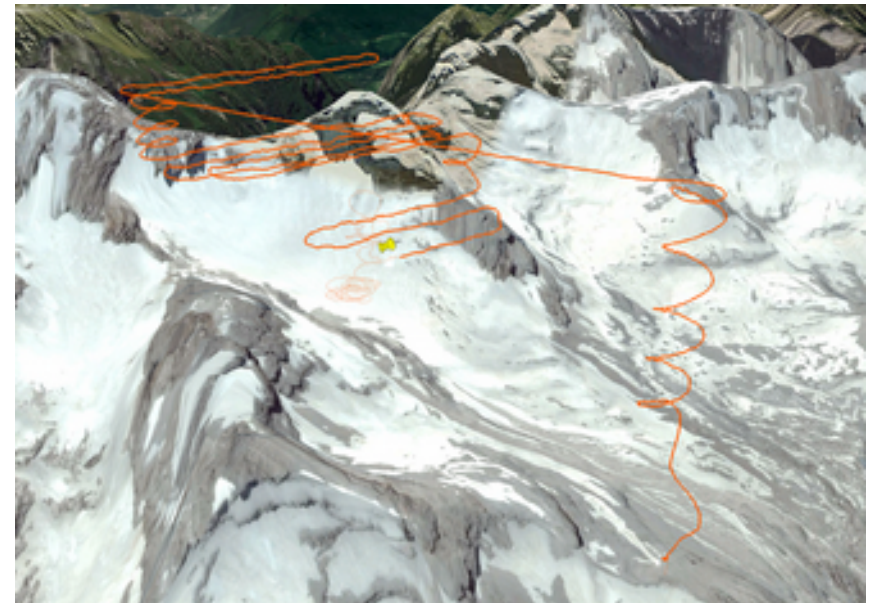
✓ In particolare la fotogrammetria UAV rappresenta l'unica tecnica disponibile attualmente per alcune **applicazioni di monitoraggio** in relazione a:

- versatilità nel momento di acquisizione
- elevata risoluzione geometrica e sufficiente precisione
- costi limitati

*Berthier E. et al. (2016)*



*Ghiacciaio di Agola (Dolomiti Bellunesi – TN) agosto 2014*





**XXI Conferenza  
Nazionale  
#ASITA2017**

*U. Morra di Cella, E. Dall'Asta, F. Diotri , G. Forlani , M. Isabellon, R. Roncella  
Il contributo operativo della geomatica nel monitoraggio dei ghiacciai alpini*



[www.arpa.vda.it/climate\\_change/](http://www.arpa.vda.it/climate_change/)





**XXI Conferenza  
Nazionale  
#ASITA2017**

*U. Morra di Cella, E. Dall'Asta, F. Diotri, G. Forlani, M. Isabellon, R. Roncella  
Il contributo operativo della geomatica nel monitoraggio dei ghiacciai alpini*



## CONTENUTI

- ✓ Motivazione
- ✓ Parametri osservativi
- ✓ Il bilancio di massa
  - metodo tradizionale
  - GNSS + UAV
- ✓ Variazioni frontali
  - metodo tradizionale
  - UAV
- ✓ Conclusioni e prospettive



**XXI Conferenza  
Nazionale  
#ASITA2017**

U. Morra di Cella, E. Dall'Asta, F. Diotri, G. Forlani, M. Isabellon, R. Roncella  
Il contributo operativo della geomatica nel monitoraggio dei ghiacciai alpini



## PARAMETRI OSSERVATIVI

- I parametri osservati:
  - **superficie:** stato e variazioni
  - **variazioni frontali:** arretramento e avanzamento
  - **variazioni di volume:** bilancio di massa
- A livello planetario il monitoraggio dei ghiacciai è coordinato dal *World Glacier Monitoring Service* (WGMS - [www.wgms.ch](http://www.wgms.ch))

**world glacier monitoring service**

under the auspices of: ICSU (WDS), IUGG (IACS), UNEP, UNESCO, WMO

**wgms**  
+ + + +

## IL BILANCIO DI MASSA: generalità

- Il bilancio di massa glaciale (Khun, 1981) misura le variazioni di massa del ghiacciaio sulla base degli apporti (neve da **precipitazione**, apporti da vento, ...) e delle perdite (**fusione**, evaporazione, sublimazione, ...)

$$\partial V / \partial a = M_a - M_m \pm M_b - M_c$$

- $M_a$  = annual accumulation (snow)
- $M_m$  = annual ablation (surface melt)
- $M_b$  = bottom melting
- $M_c$  = calving

Net surface mass balance

$$B_n = M_a - M_m$$

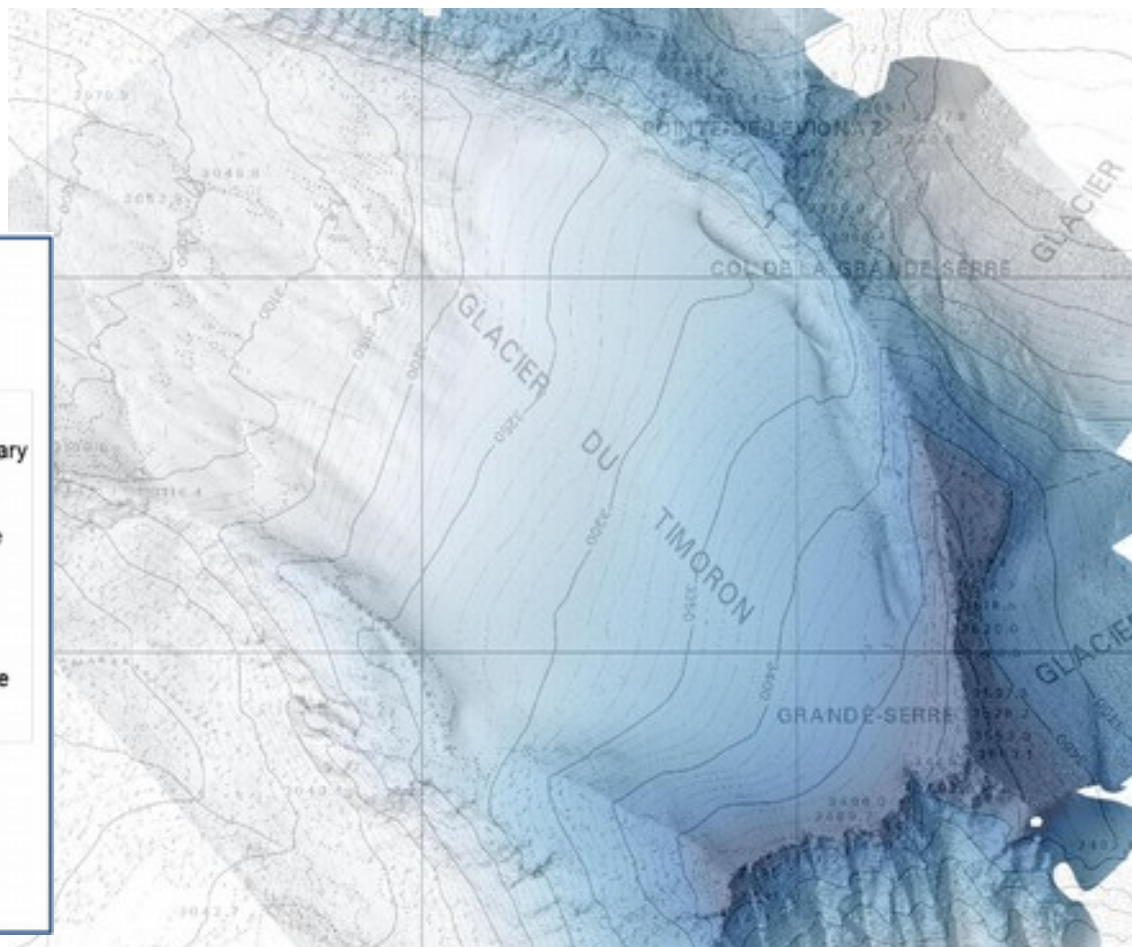
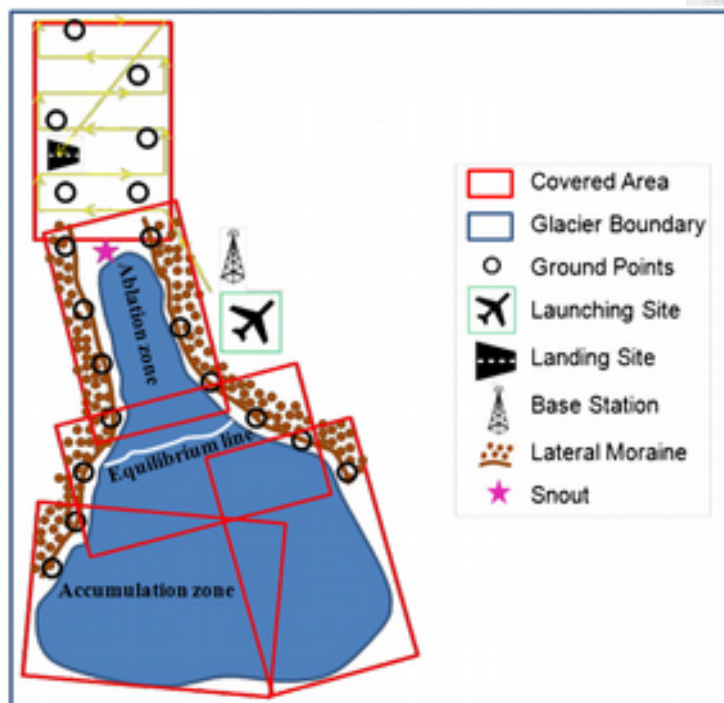
## **IL BILANCIO DI MASSA: generalità**

- Il monitoraggio del bilancio di massa in numerose aree montuose del pianeta fornisce gli elementi utili alle valutazioni dell'impatto del *global change* in differenti climi [*Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013*]
- La rappresentatività spaziale delle misure rimane tuttavia un elemento di criticità [*Carturan et al., 2016*]
- Al momento, in tutto il globo, solo 440 ghiacciai su oltre 220.000 sono oggetto di monitoraggio [*World Glacier Monitoring Service (WGMS), 2015*]
- La risposta dei ghiacciai al *global change* è funzione delle (i) condizioni climatiche regionali e di (ii) fattori locali (es. topografia) [*Huss et al., 2012*].
- Valutazioni locali dell'impatto del global warming sulla criosfera e la definizione di strategie di adattamento non può prescindere da monitoraggi nelle zone di interesse: disponibilità idrica ai fini idropotabili, irrigui, idroelettrici, e programmazione di investimenti a medio-lungo termine non possono basarsi su scenari «medi»

## BILANCIO DI MASSA: rilievo UAV – 22/09/2017

- Ghiacciaio di Timorion
- 235 immagini
- quota media di volo: 130 m (GSD: 3 cm)
- SenseFly ebee RTK + camera S.O.D.A.
- overlap longitudinale: 80%
- overlap laterale: 70%
- base station GNSS: Geomax Zenith20
- **1 GCP vicino all'area di TO**

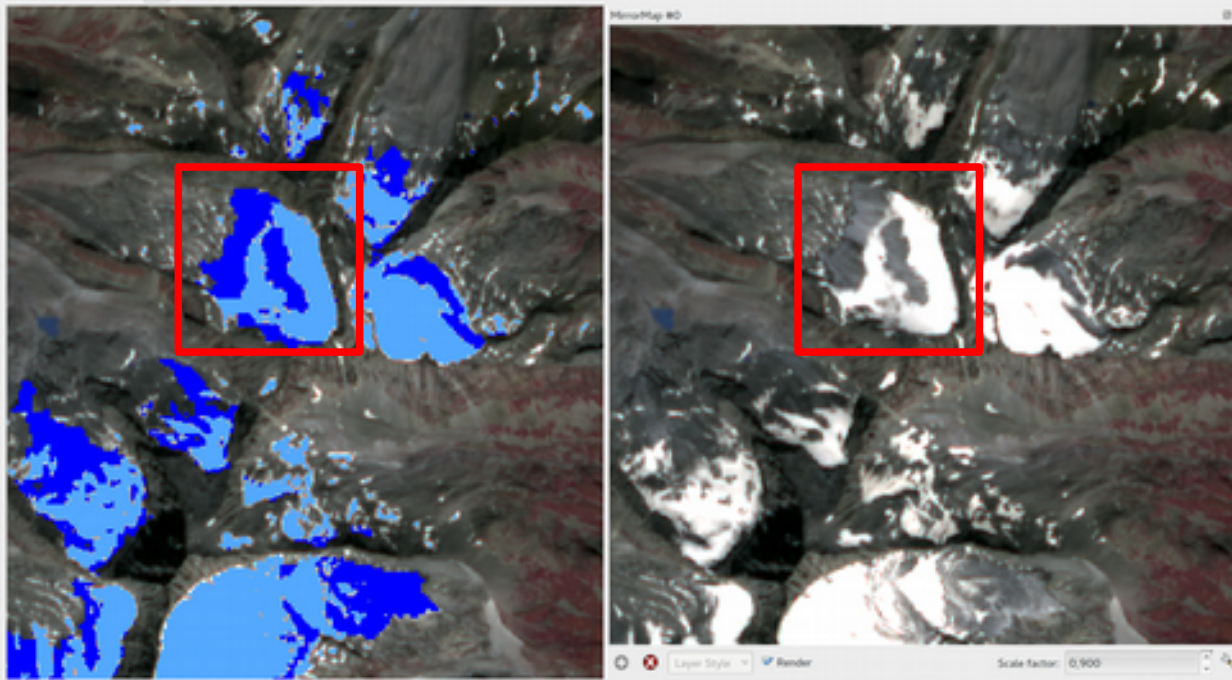
A. Bhardwaj et al. (2016) *UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and future prospects*. Remote Sensing of Environment 175 (2016) 196–204





## ebee RTK

- La sperimentazione con l'eBee RTK ha dimostrato una accuratezza planimetrica di restituzione, sia pur per target ottimali e collimazioni multiple, poco superiore a 2 cm, comparabile a quella dell'appoggio a terra. In altimetria l'accuratezza può essere marcatamente inferiore, **per l'incertezza di stima della focale**; l'impiego di **almeno un GCP riporta però gli errori in quota al disotto di 4 cm**, valori non lontani da quelli conseguiti usando i GCP.



le di DEMs o profili)

i del ghiacciaio, distribuiti

settori