

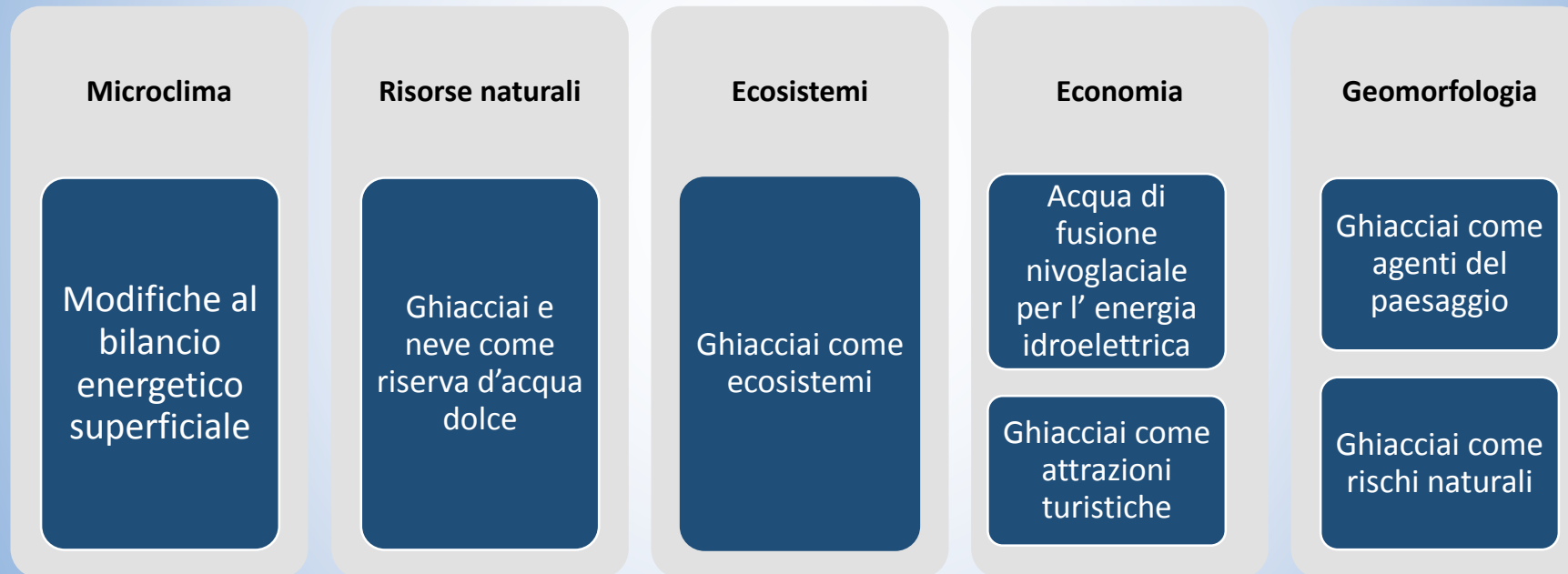


# Telerilevamento nel parco dello Stelvio: risultati ottenuti in ambito criosferico e prospettive per il futuro

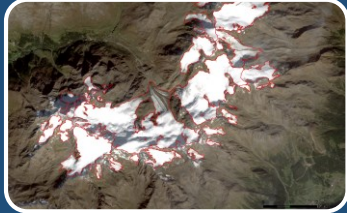
Davide Fugazza, Roberto Sergio Azzoni,  
Antonella Senese, Guglielmina Adele Diolaiuti

# La criosfera del parco dello Stelvio

Lo stato di salute dei ghiacciai ha impatti profondi sugli ecosistemi e le comunità antropiche

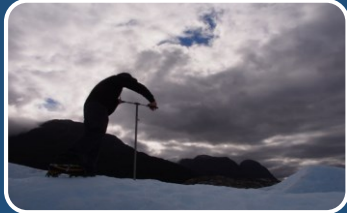


# Applicazioni del telerilevamento della criosfera



Evoluzione dei ghiacciai

Catasto dei ghiacciai Italiani da Sentinel-2



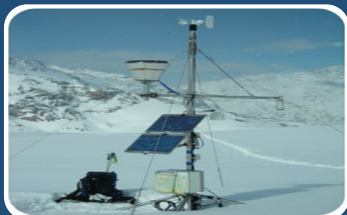
Bilancio di massa

Rilievi UAV del ghiacciaio dei Forni



Dinamica glaciale e rischi

Cartografia strutturale del ghiacciaio dei Forni

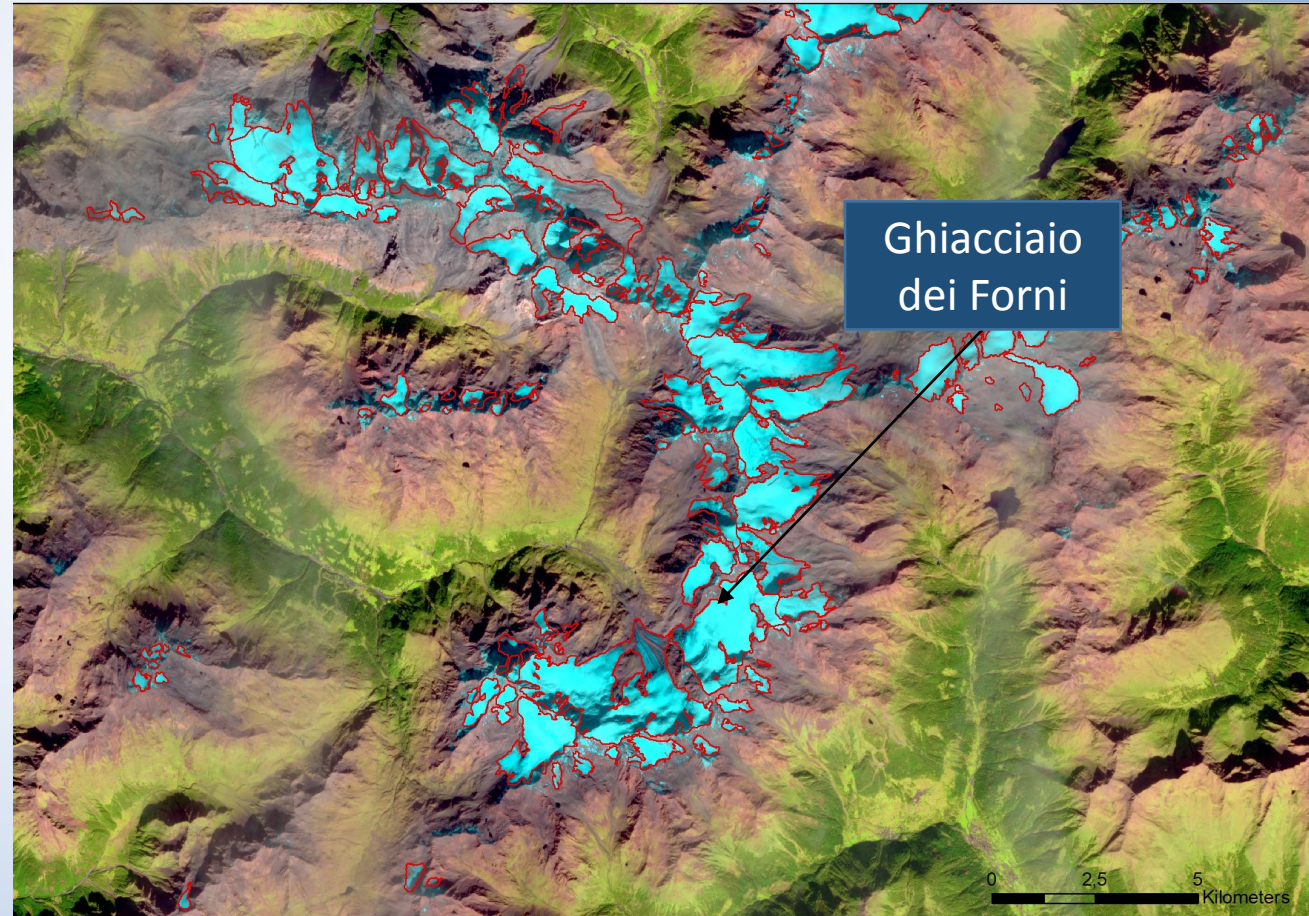


Bilancio energetico

Evoluzione spaziotemporale dell'albedo e copertura detritica

# Il catasto dei ghiacciai Sentinel-2 2015/2016

- Nuovo catasto dei ghiacciai realizzato con immagini Sentinel-2
- Metodo semiautomatico basato su indici spettrali
- Correzione manuale per le aree di detrito



# Evoluzione dei ghiacciai del parco dello Stelvio

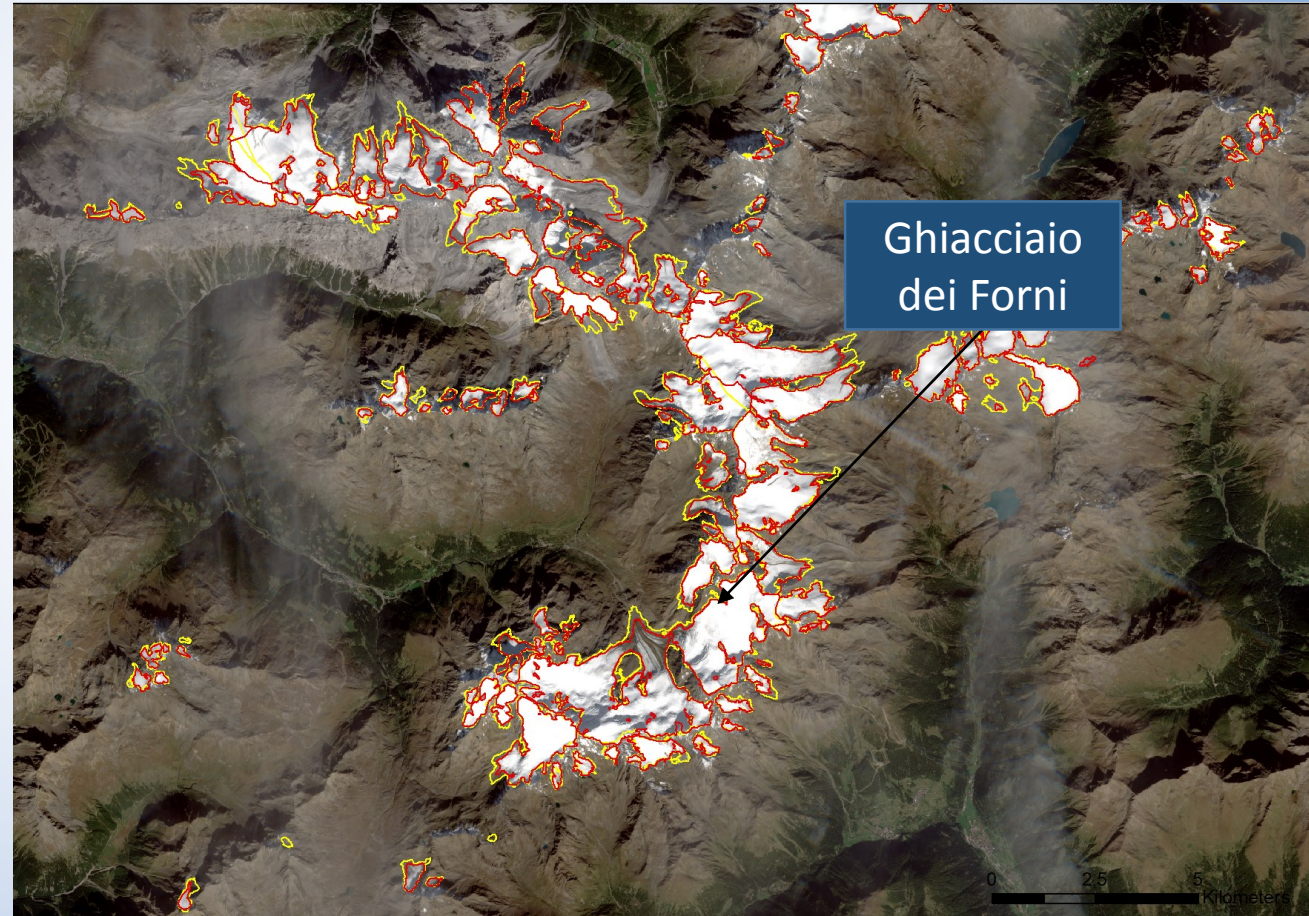
Area dei ghiacciai del parco  
nel precedente catasto  
(2007-2011):

72.21 km<sup>2</sup>

Area dei ghiacciai del parco  
nel nuovo catasto (2016):

64.30 km<sup>2</sup>

Differenza: -7,91 km<sup>2</sup>



# Il Ghiacciaio dei Forni

Uno dei principali ghiacciai Italiani (10.50 km<sup>2</sup> nel 2016)



# Il ritiro del ghiacciaio dei Forni



# Bilancio di massa di un ghiacciaio

Differenza tra accumulo e ablazione

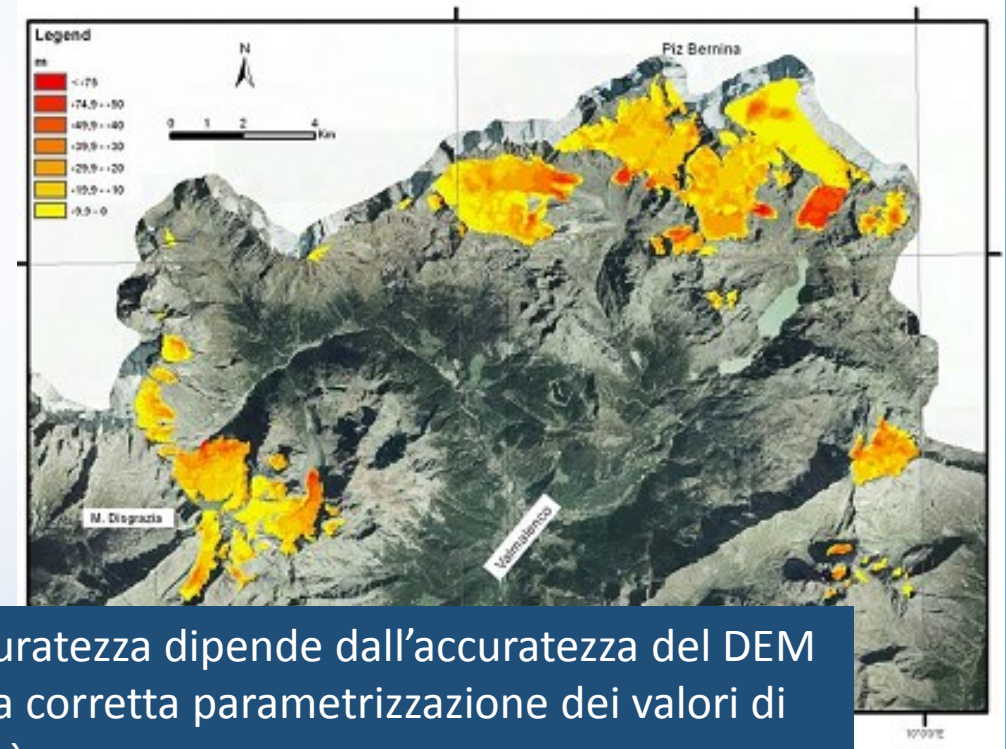
$$B = A - M$$

## Metodo manuale



Le misure puntuali sono interpolate ma qual è la precisione?

## Metodo geodetico



L'accuratezza dipende dall'accuratezza del DEM e dalla corretta parametrizzazione dei valori di densità

# Rilievi UAV del ghiacciaio dei Forni

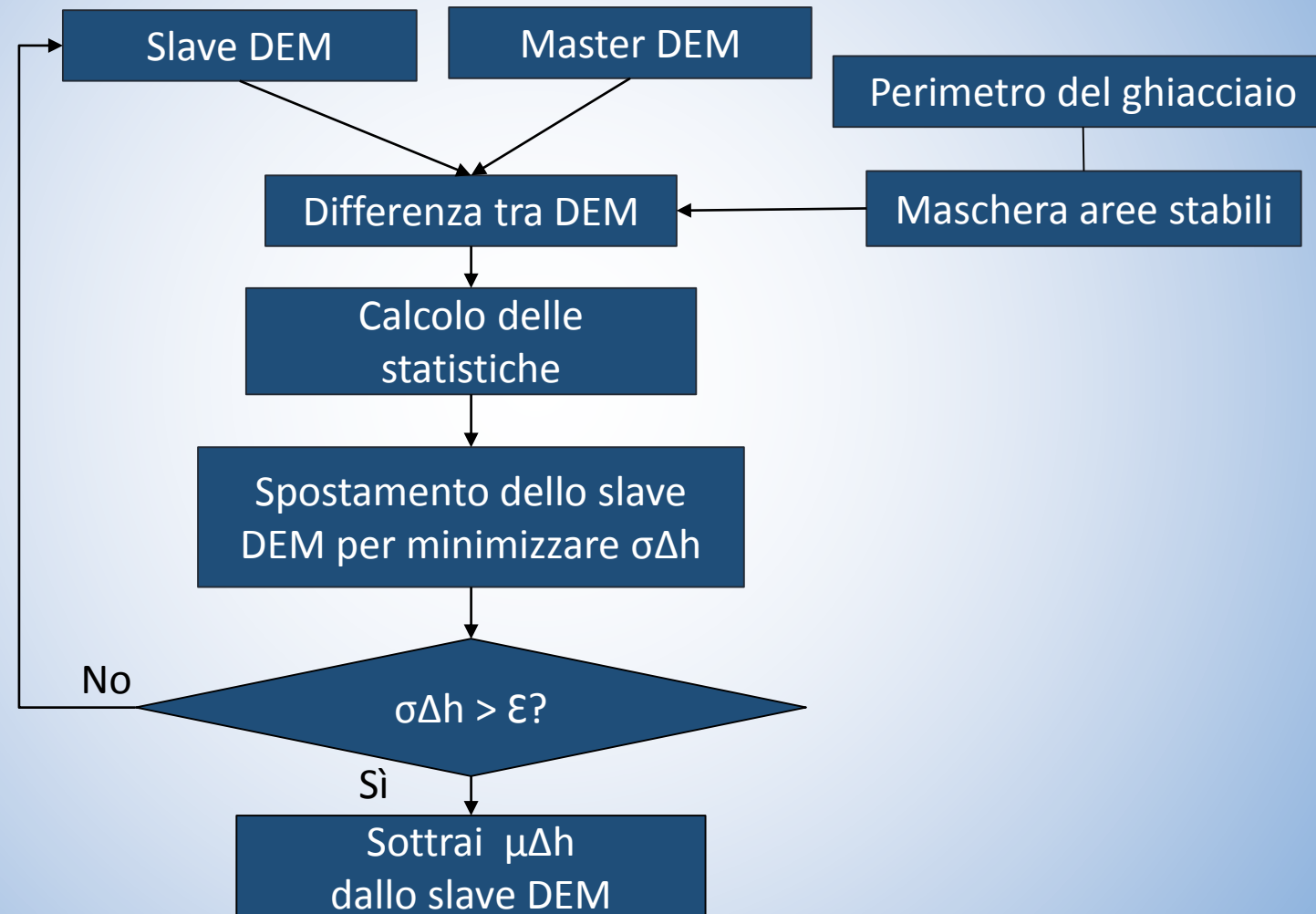
E' possibile usare gli UAV per calcolare in maniera accurata le variazioni di spessore (prerequisito per il calcolo geodetico del bilancio di massa)?

- Primo volo UAV su un ghiacciaio Alpino (2014)
- Calcolo delle variazioni di spessore 2007 – 2014- 2016



Publicato come: Fugazza, D., Scaioni, M., Corti, M., D'Agata, C., Azzoni, R. S., Cernuschi, M., Smiraglia, C., and Diolaiuti, G. A. (2018). "Combination of UAV and Terrestrial Photogrammetry to Assess Rapid Glacier Evolution and Map Glacier Hazards". In: *Natural Hazards and Earth System Science* 18.4, pp. 1055–1071.

# Co-registrazione dei DEM



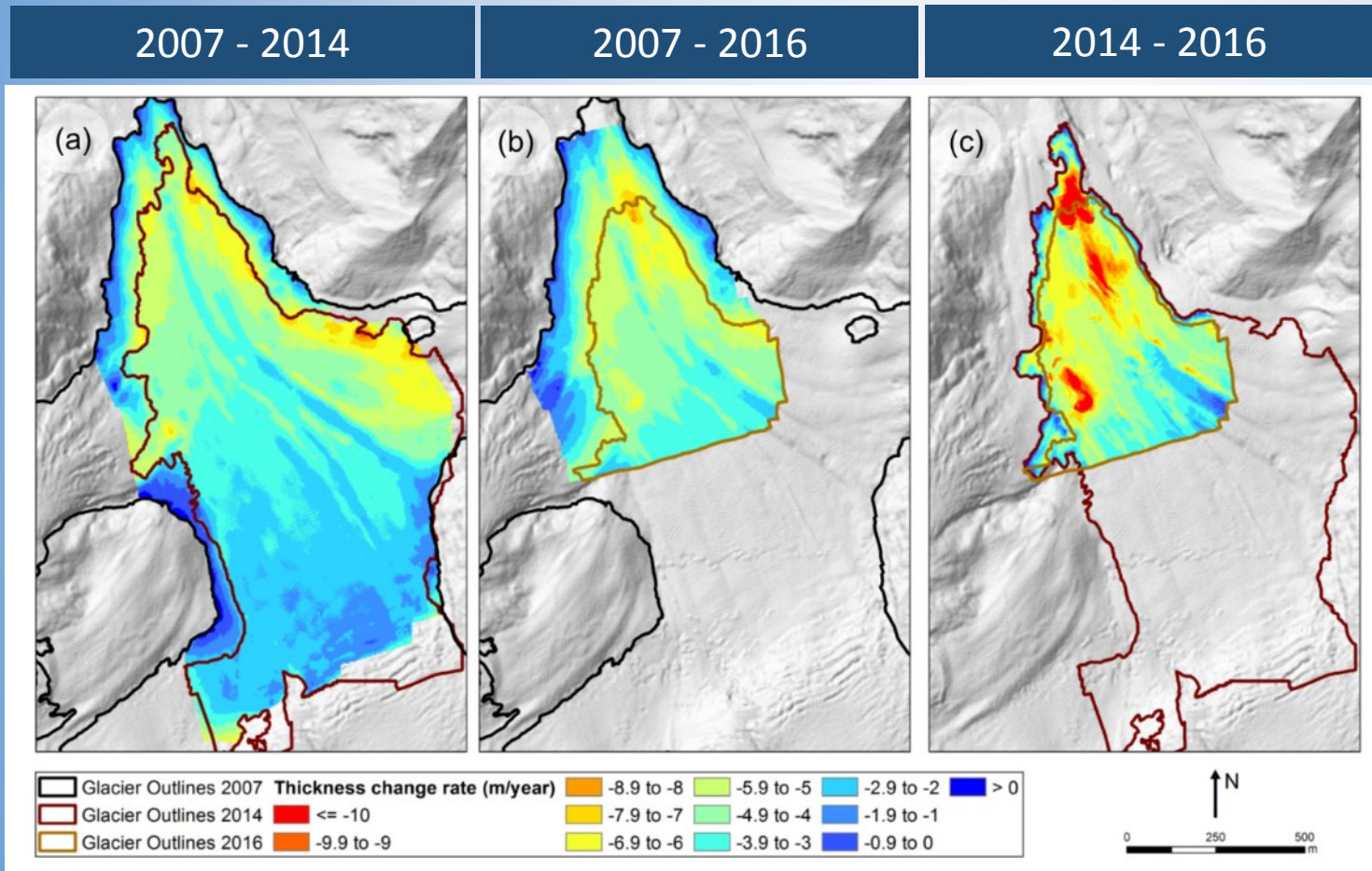
# Co-registrazione dei DEM

| Coppia di DEM | $\sigma_{\Delta H}$ originale | $\mu_{\Delta H}$ originale | $\sigma_{\Delta H}$ post-coregistrazione |
|---------------|-------------------------------|----------------------------|--|
| 2007-2014     | 2.60                          | 1.96                       | 1.70                                     |
| 2007-2016     | 3.48                          | -0.43                      | 2.60                                     |
| 2014-2016     | 3.21                          | -2.92                      | 2.22                                     |

dallo slave DEM

ghiaccio  
stabili

# Variazioni di spessore della lingua d'ablazione



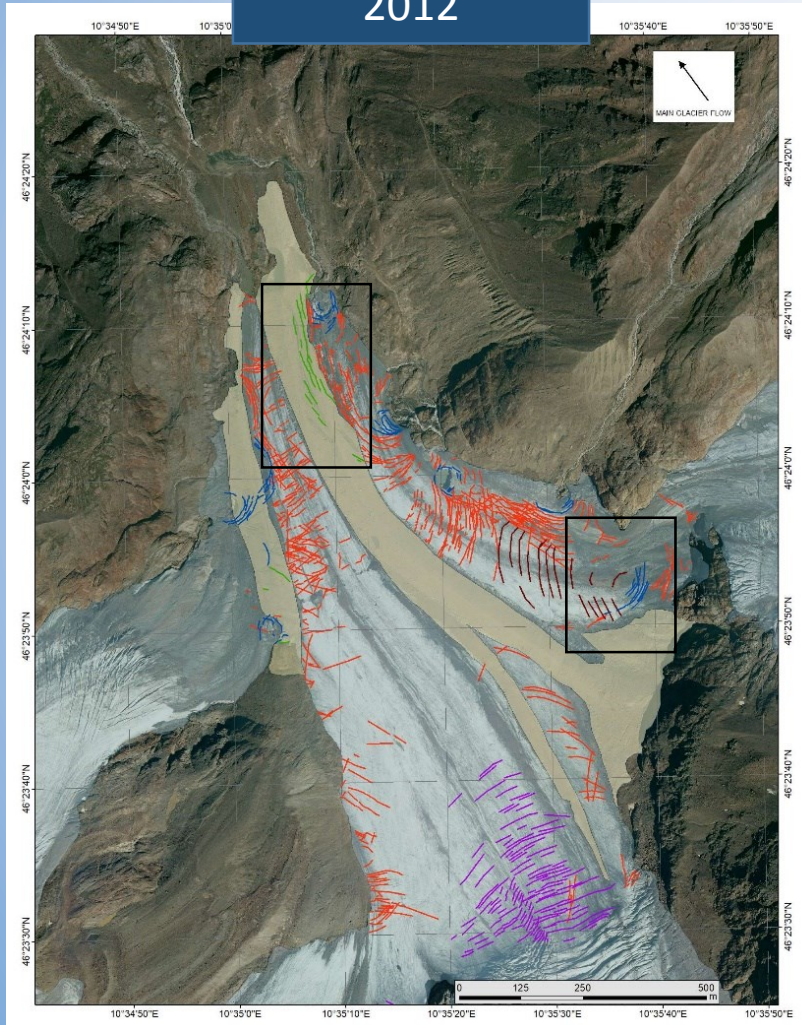
Aumento delle zone di collasso

Elevate perdite di spessore, fino a 39 m in 2 anni

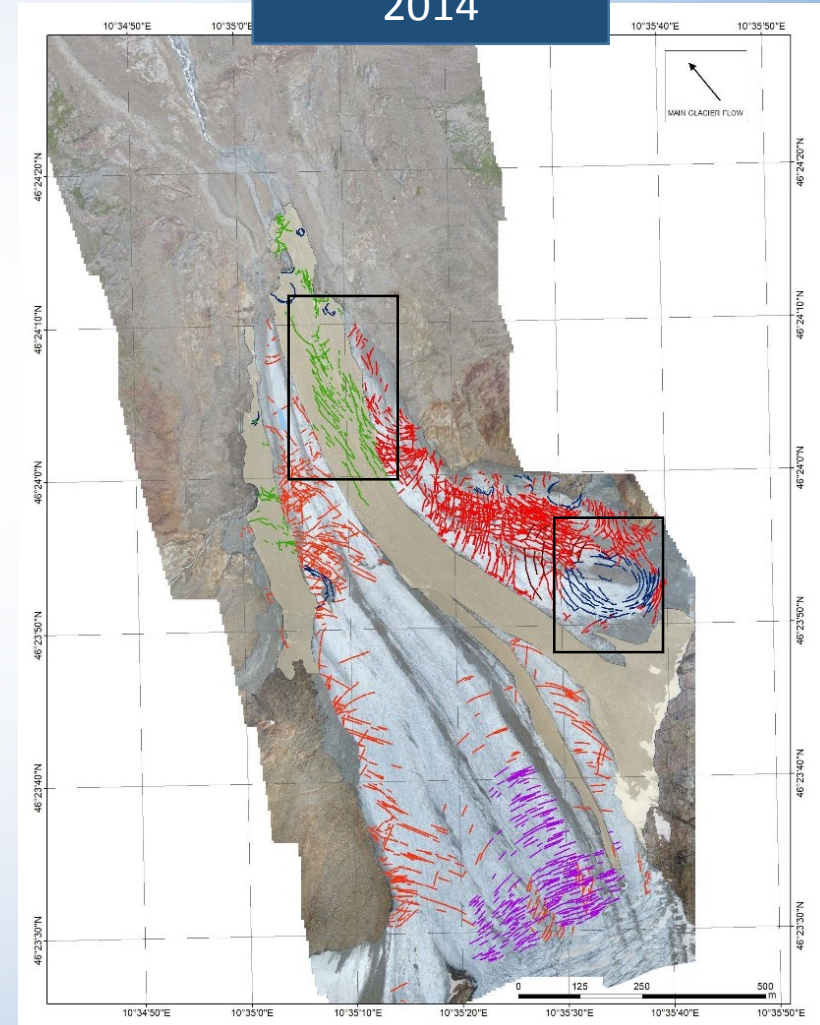
Incremento delle perdite di spessore tra il 2007-2014 e 2014-2016 ( $-5.20 \text{ ma}^{-1}$ )

# Evoluzione strutturale del ghiacciaio dei Forni tra il 2012 e il 2014

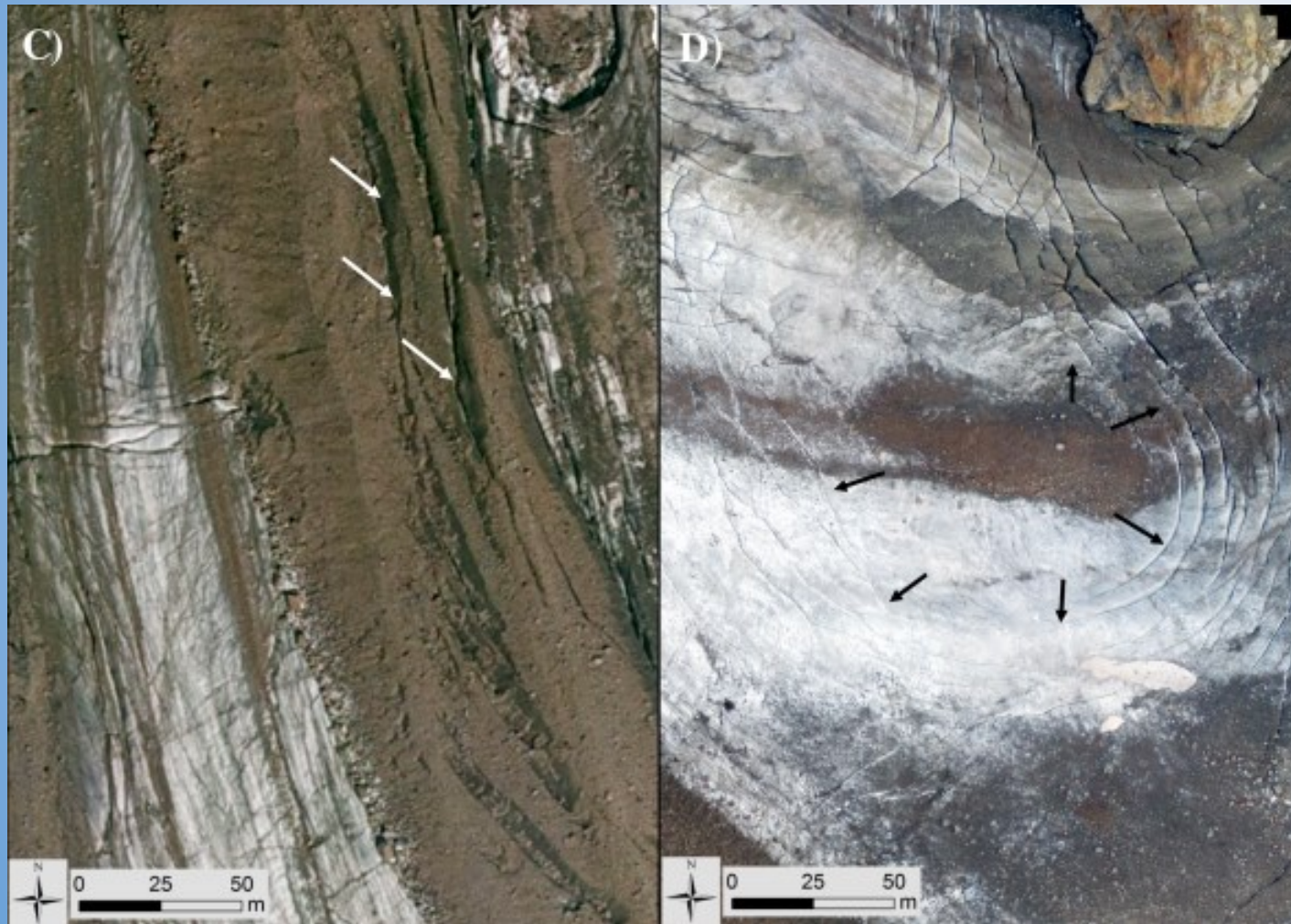
2012



2014

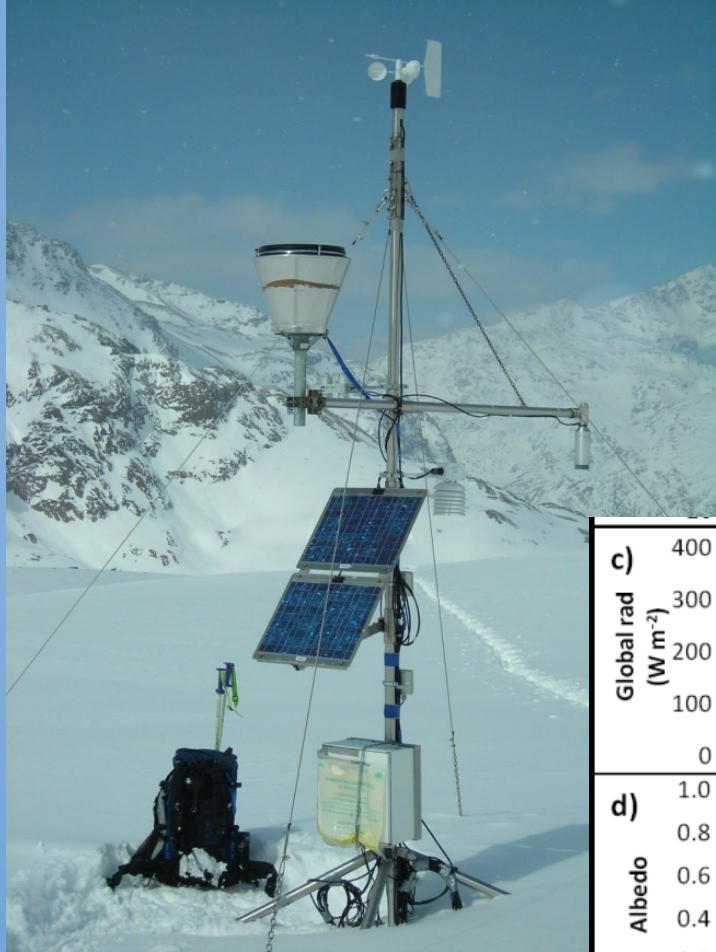


# Evoluzione strutturale del ghiacciaio dei Forni tra il 2012 e il 2014



Incremento nel numero e densità dei crepacci da collasso, principalmente sulle morene mediane e ai margini del ghiacciaio, es. nella parte orientale del ghiacciaio alla base della seraccata

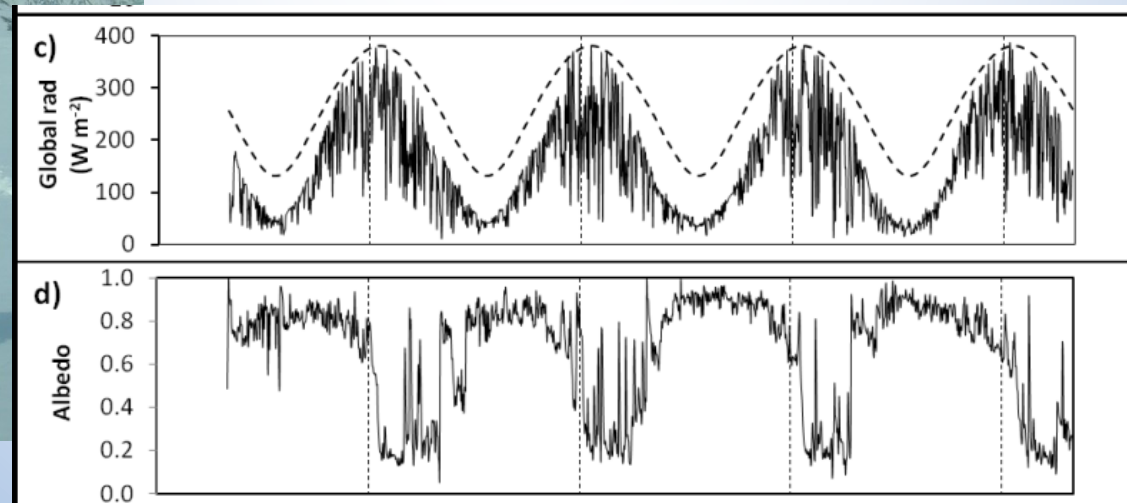
# Bilancio energetico di un ghiacciaio



Determina la quantità di energia disponibile per la fusione di ghiaccio/neve

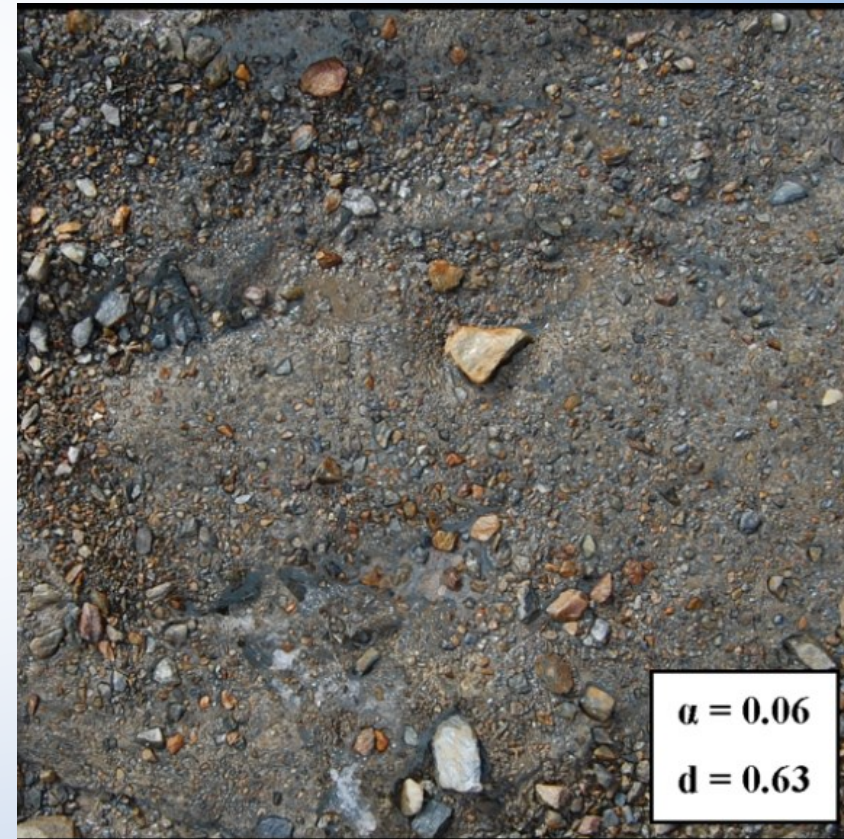
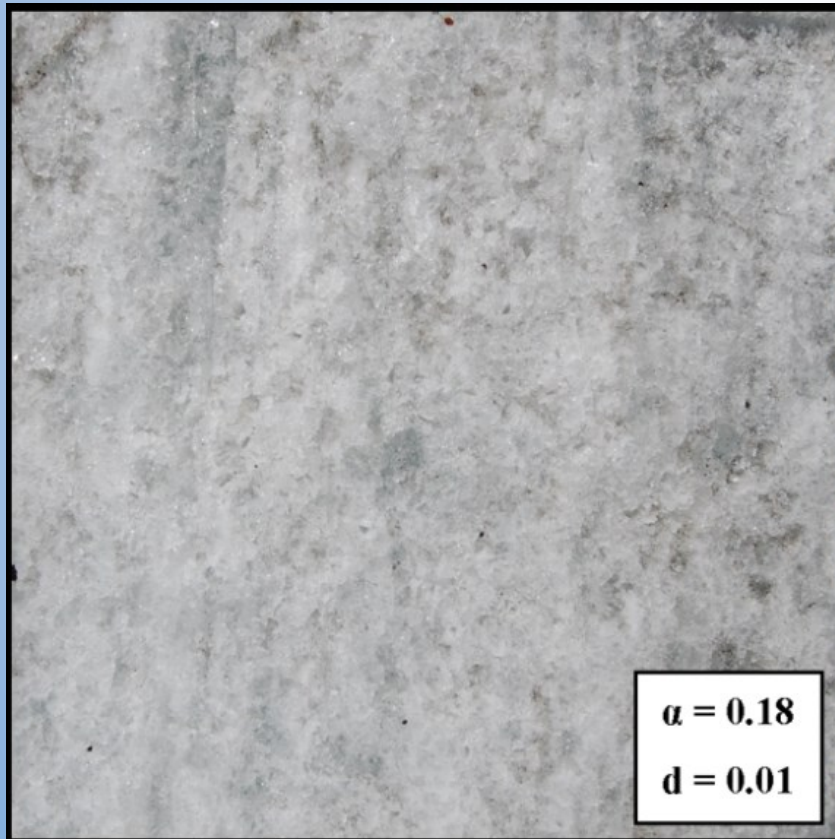
L' albedo ( $\alpha$ ) è uno dei parametri fondamentali ma la sua distribuzione ed evoluzione sui ghiacciai sono spesso ignote

E' possibile modellare  $\alpha$  a partire da dati satellitari?



# Bilancio energetico di un ghiacciaio

L' albedo dipende fortemente dalla presenza di detrito e impurità nel ghiaccio/neve e parametri meteorologici



# Distribuzione spaziale dell'albedo del Ghiacciaio dei Forni

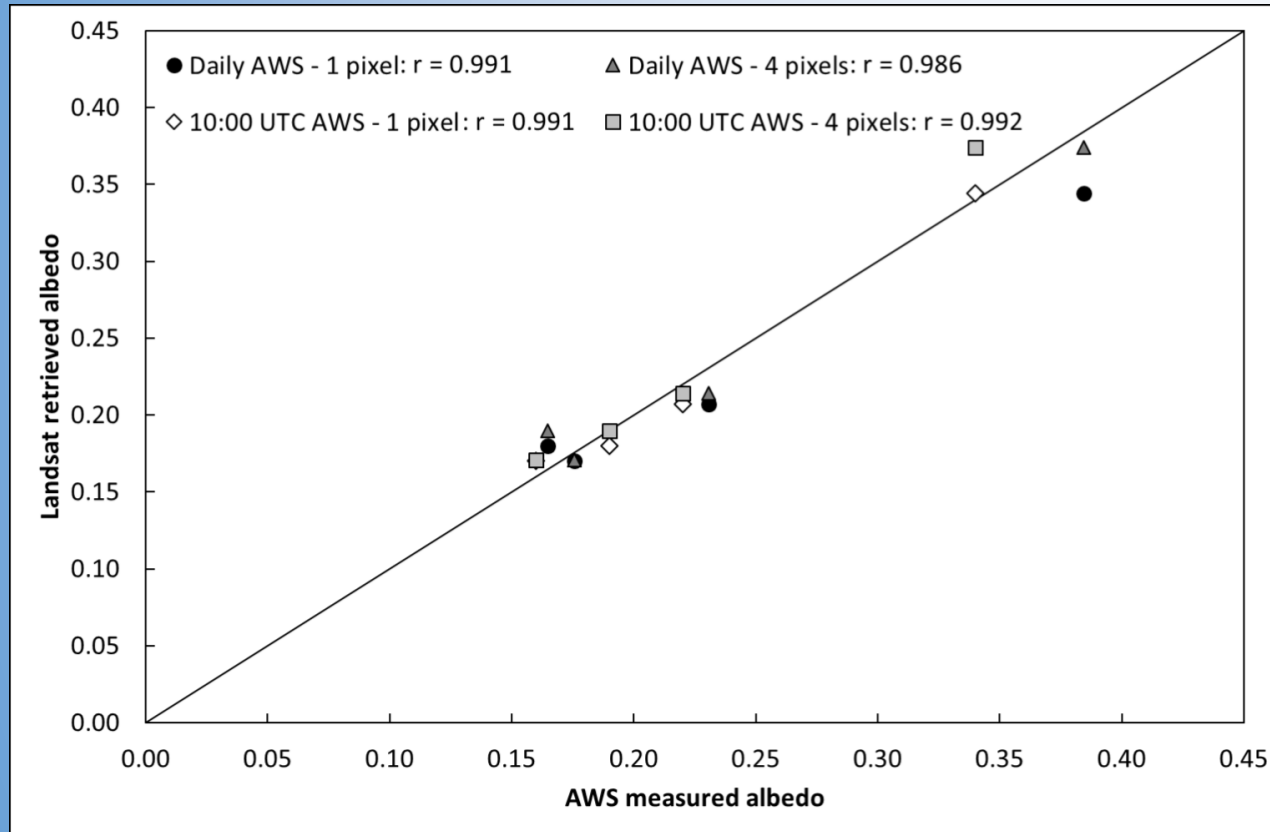


- Misura distribuita dell'albedo sul ghiacciaio dei Forni tramite immagini satellitari Landsat
- 4 immagini tra 2011 e 2013
- Confronto con i dati dell'AWS

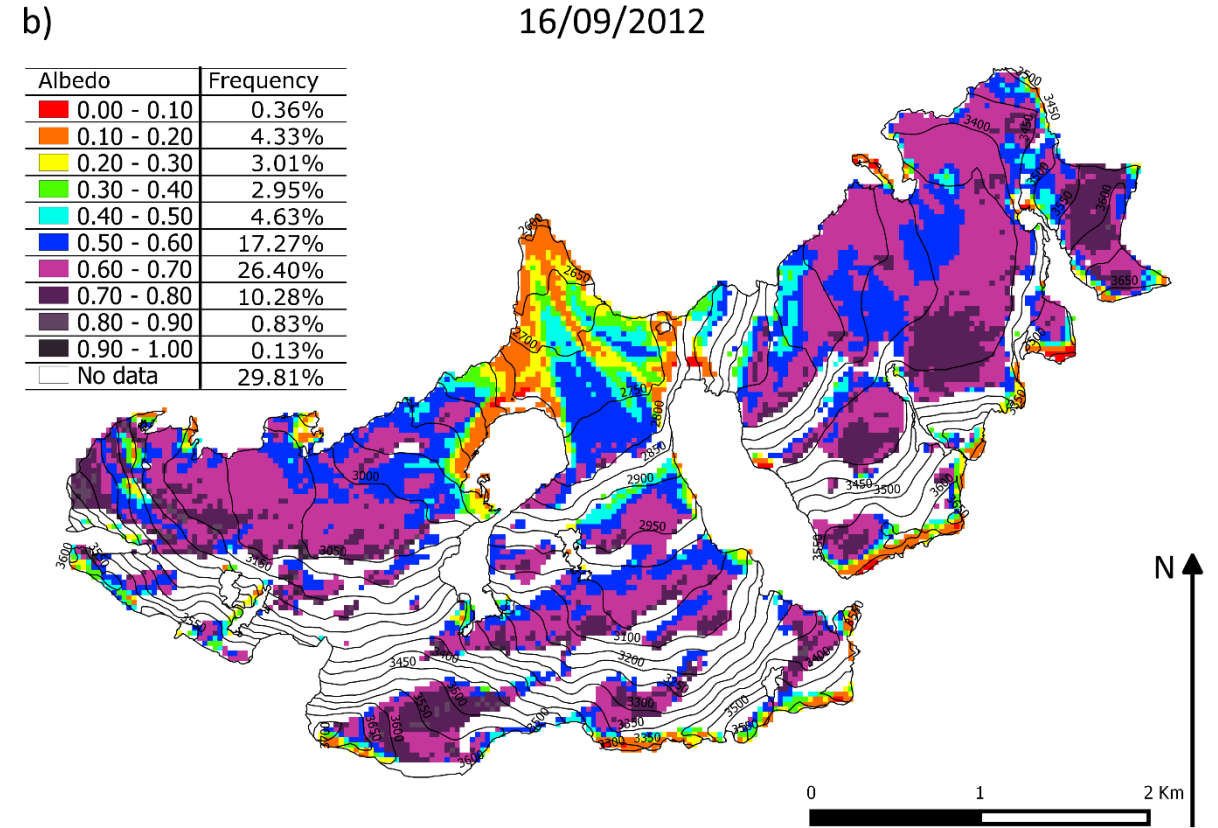
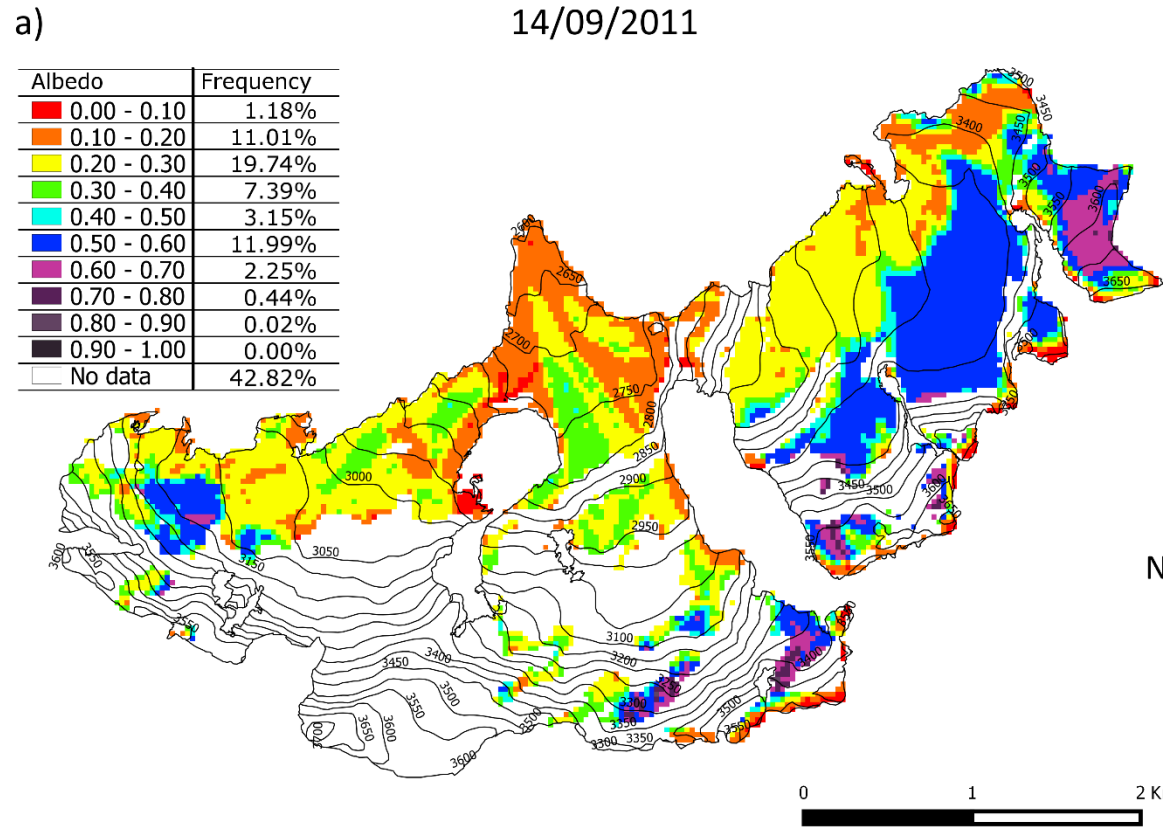
Publicato come: Fugazza, D., Senese, A., Azzoni, R. S., Maugeri, M., and Diolaiuti, G. A. (2016). "Spatial Distribution of Surface Albedo at the Forni Glacier (Stelvio National Park, Central Italian Alps)". In: *Cold Regions Science and Technology* 125, pp. 128–137



# Confronto tra albedo misurata da satellite e AWS1 Forni



# Distribuzione dell'albedo sul ghiacciaio



# Ghiacciai più piccoli, ghiacciai più scuri?

Seraccata orientale del  
Ghiacciaio dei Forni

2003

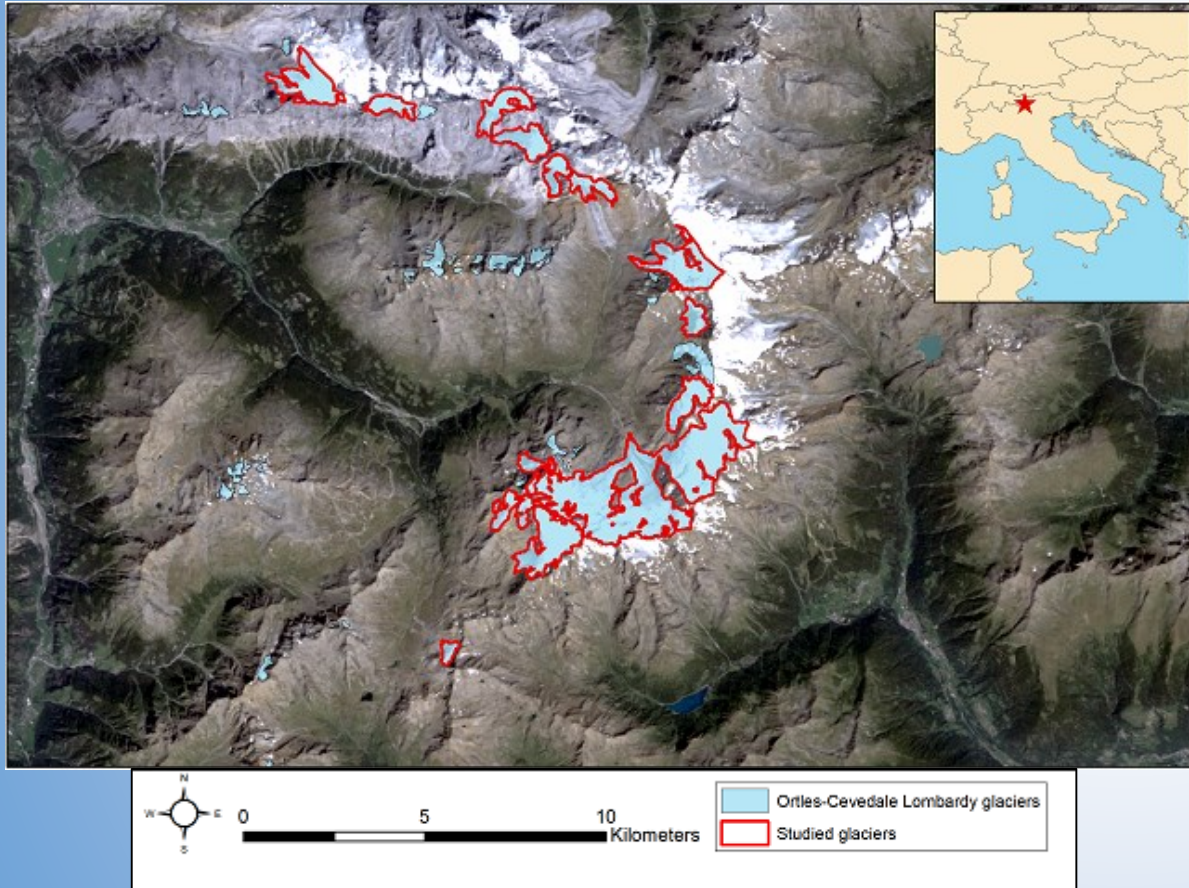


2012



Scopo: investigare le variazioni dell'albedo sui ghiacciai del gruppo dell' Ortles-Cevedale in quasi 30 anni (1984-2011) tramite dati satellitari

# Area di studio – ghiacciai campione



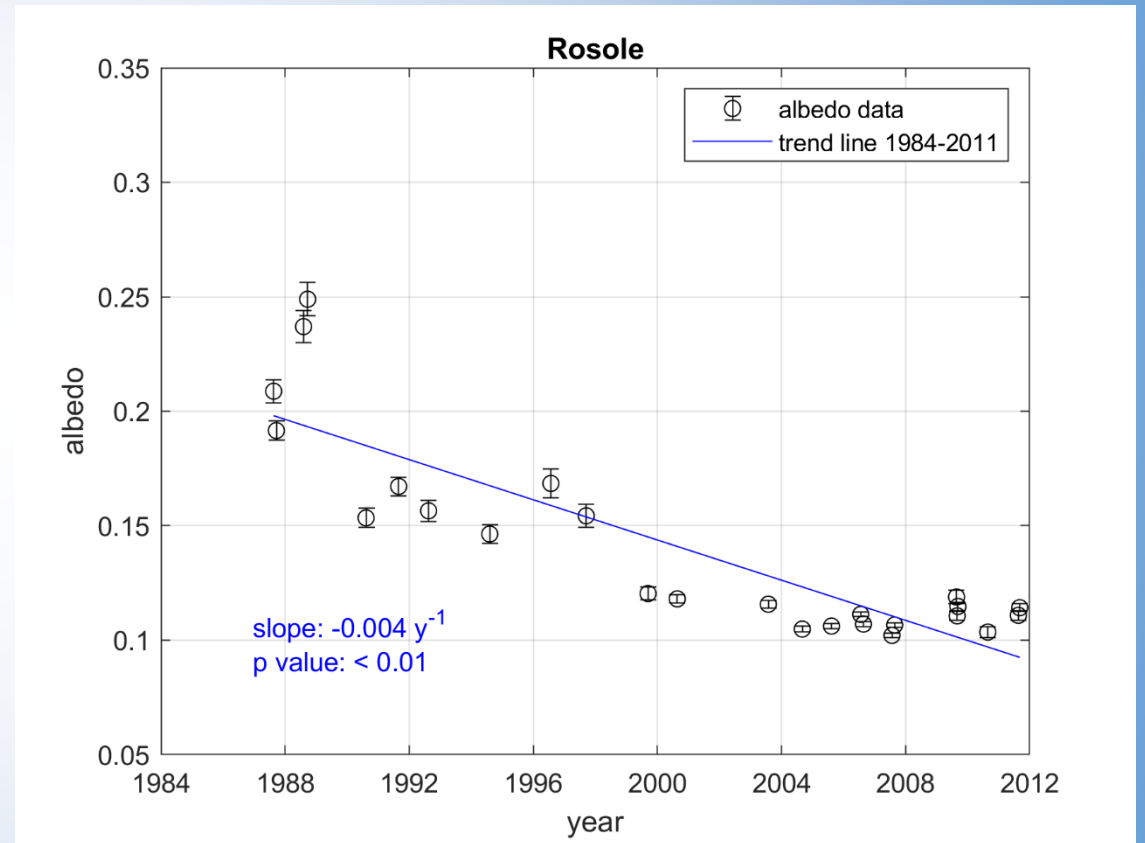
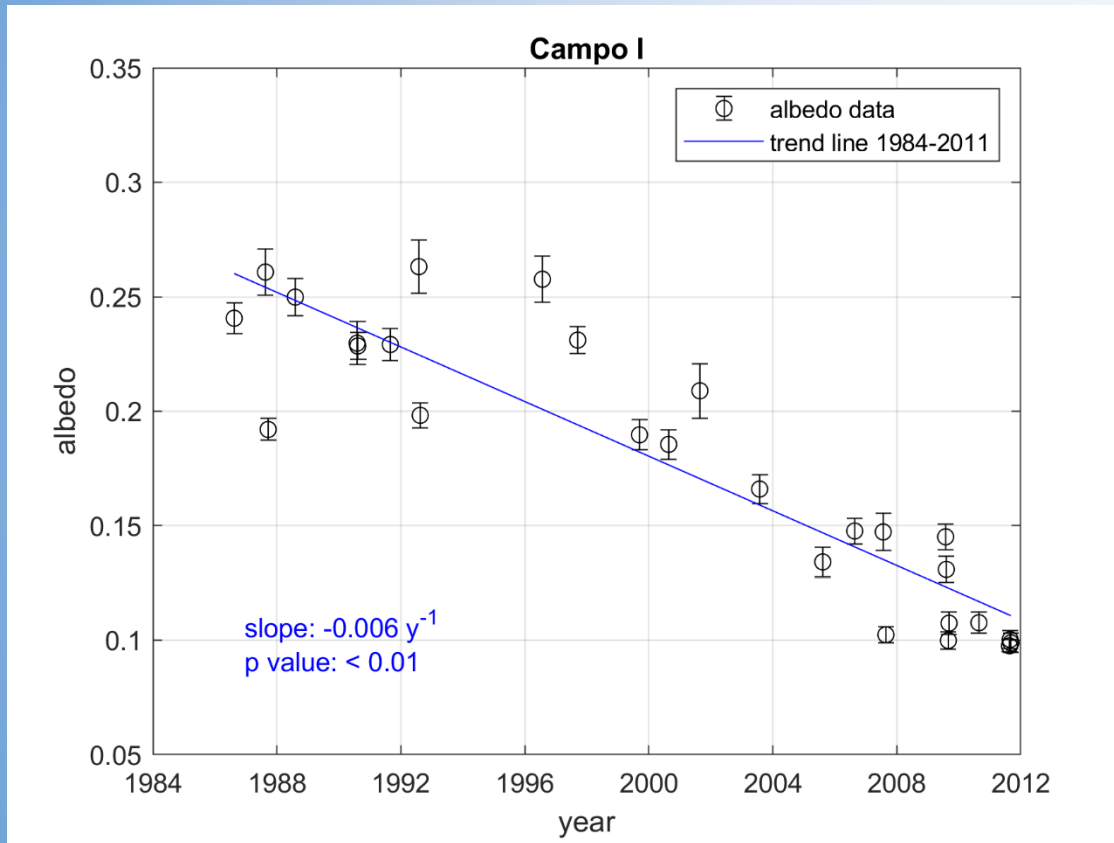
48 scene Landsat 4/5 TM e Landsat 7 ETM+ acquisite tra il 1984 e 2011

Ghiacciai maggiori di 0.20 km<sup>2</sup> con almeno 15 immagini valide Landsat

15 ghiacciai selezionati, corrispondenti all' 86% dell' area del settore Lombardo

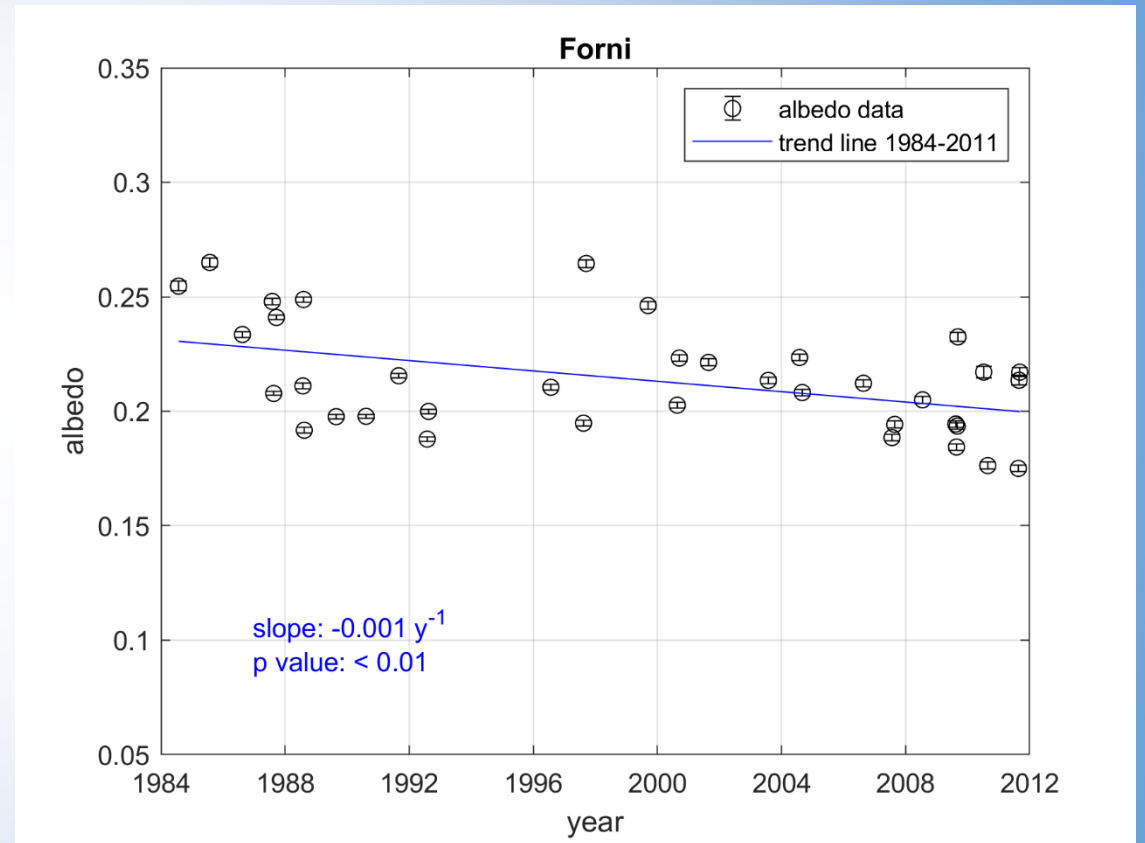
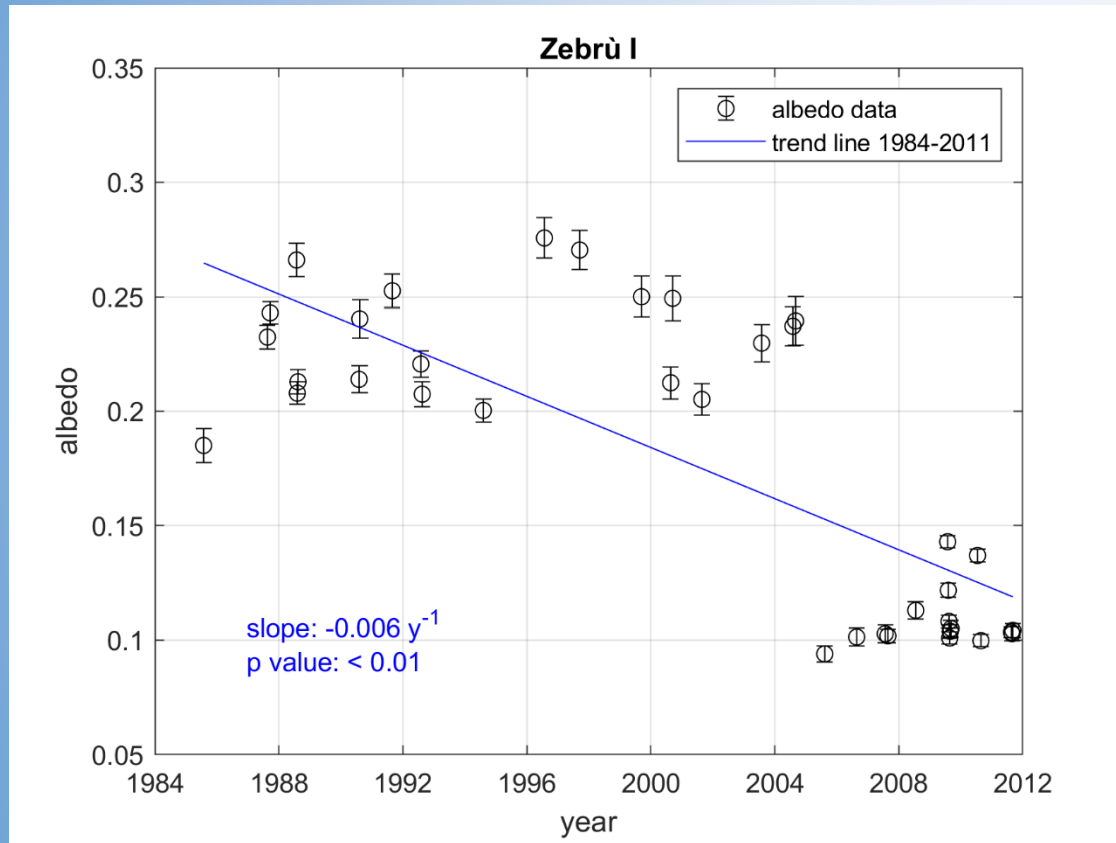
Publicato come: Fugazza, D., Senese, A., Azzoni, R. S., Maugeri, M., Maragno, D., and Diolaiuti, G. A. (2019) "New Evidence of Glacier Darkening in the Ortles-Cevedale Group from Landsat Observations", *Global and Planetary Change*, 178, 35-45

# Trend di albedo



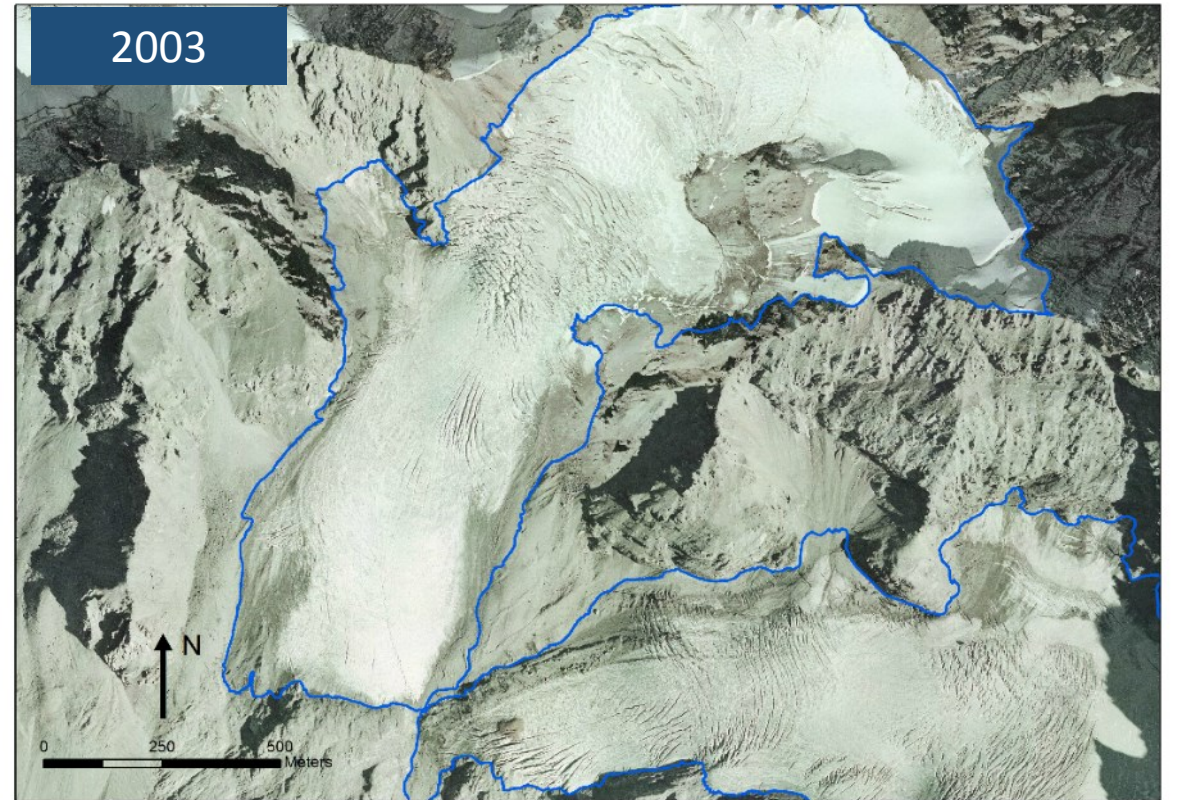
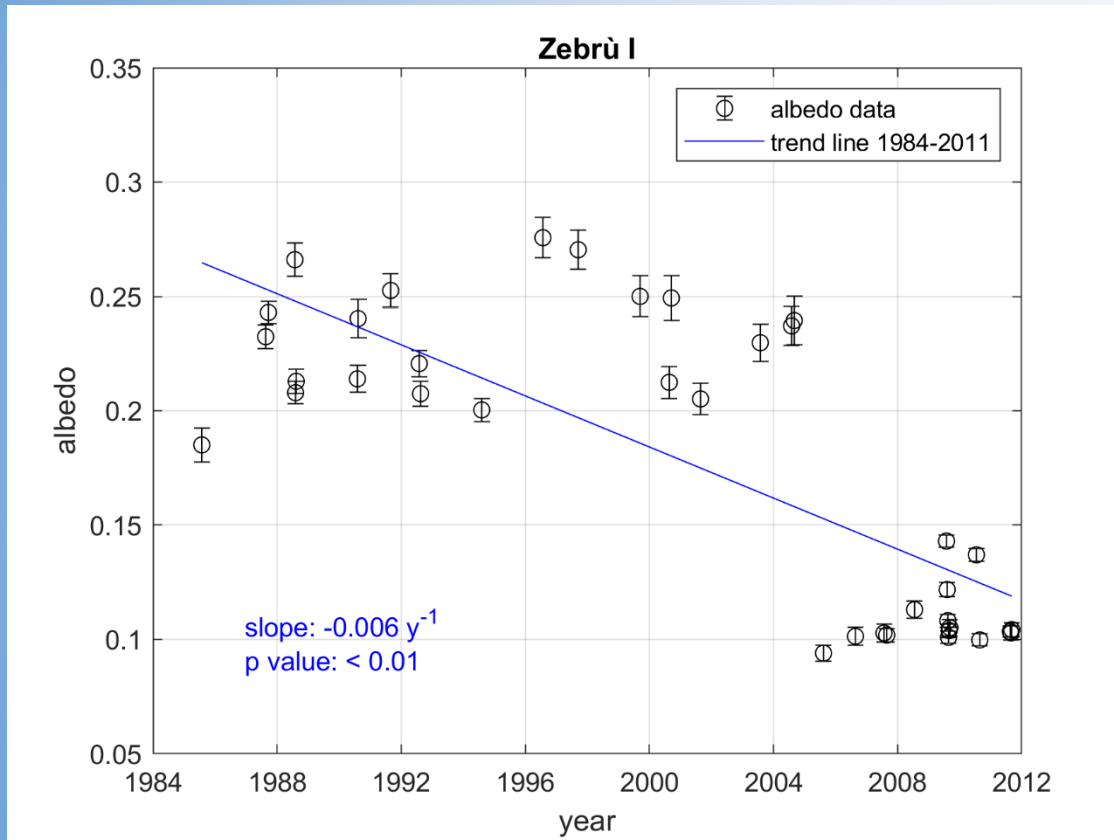
1984-2011: 14 (13) ghiacciai con trend significativi in un intervallo di confidenza del 95%(99%)

# Trend di albedo



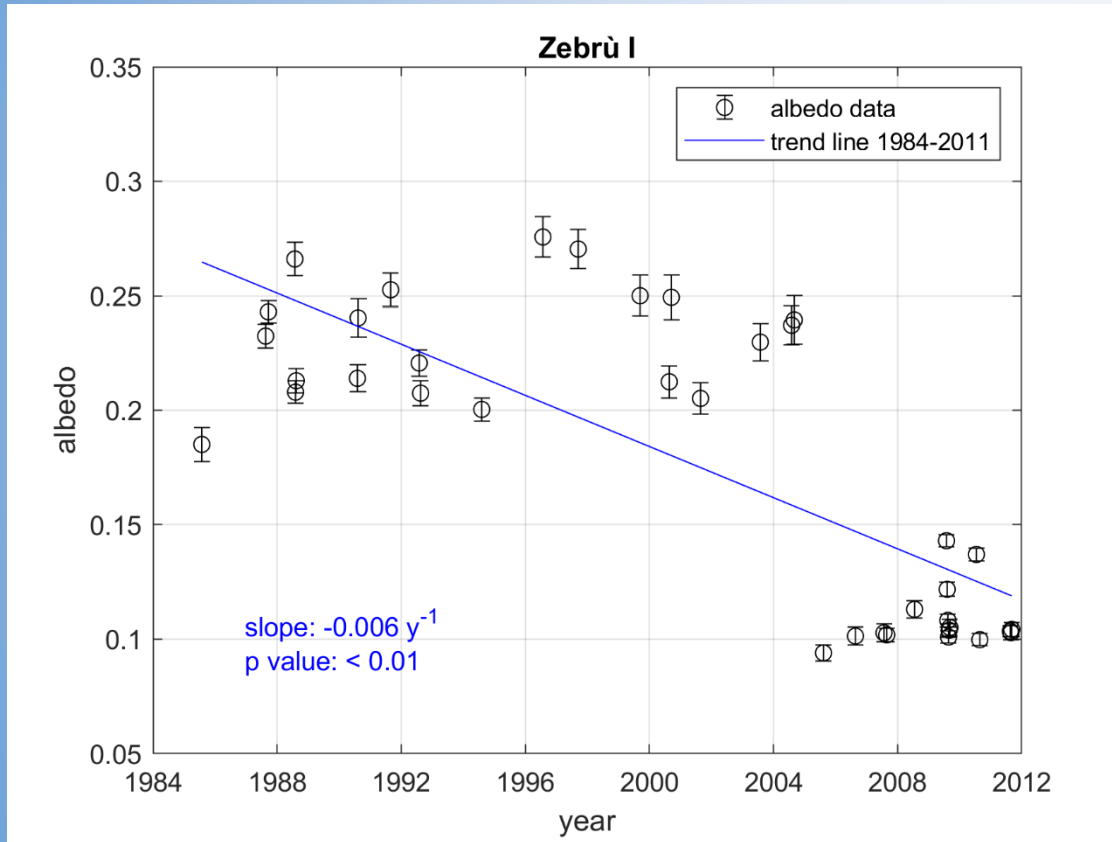
1984-2011: 14 (13) ghiacciai con trend significativi in un intervallo di confidenza del 95%(99%)

# Trend di albedo



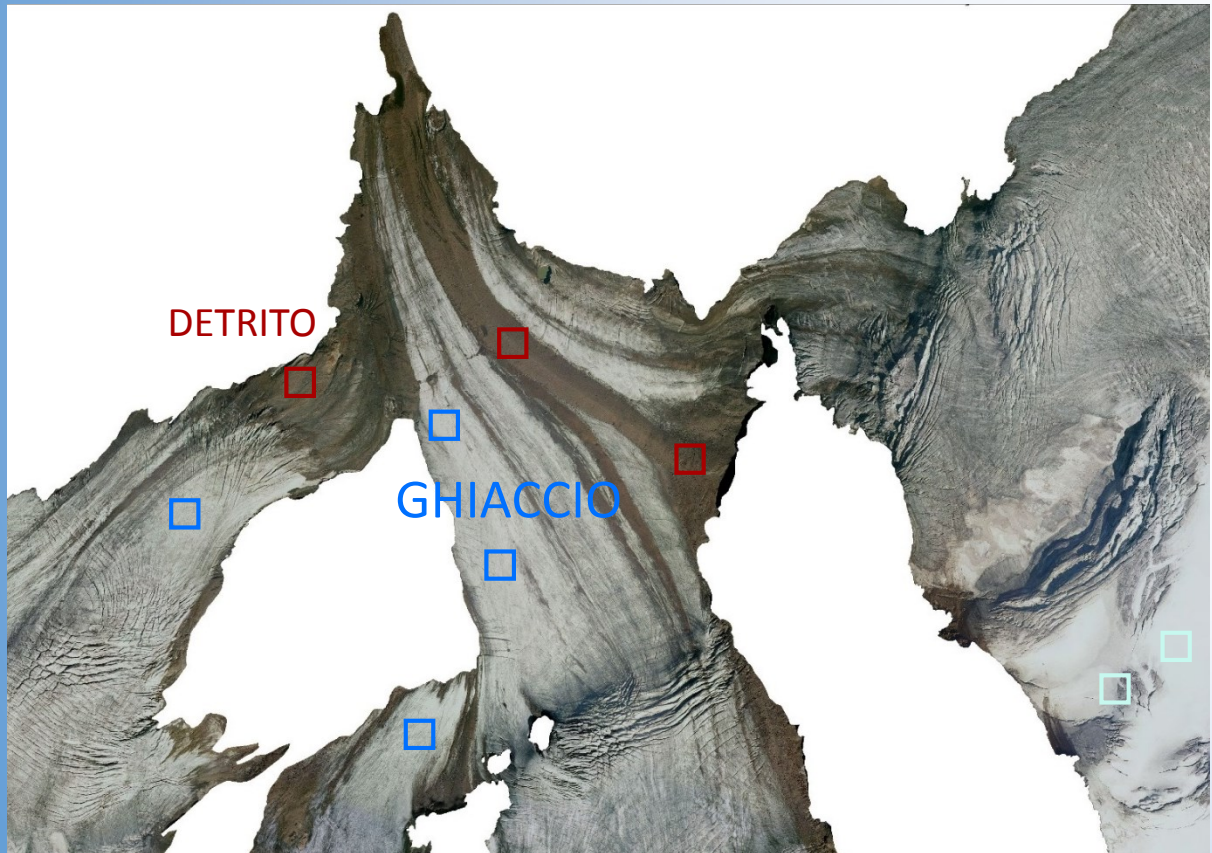
1984-2011: 14 (13) ghiacciai con trend significativi in un intervallo di confidenza del 95%(99%)

# Trend di albedo



1984-2011: 14 (13) ghiacciai con trend significativi in un intervallo di confidenza del 95%(99%)

# Evoluzione della copertura detritica dei ghiacciai dell'Ortles-Cevedale



Analisi basata su ortofoto ad alta risoluzione da rilievi aerei e drone (2003, 2007, 2012, 2014, 2015)

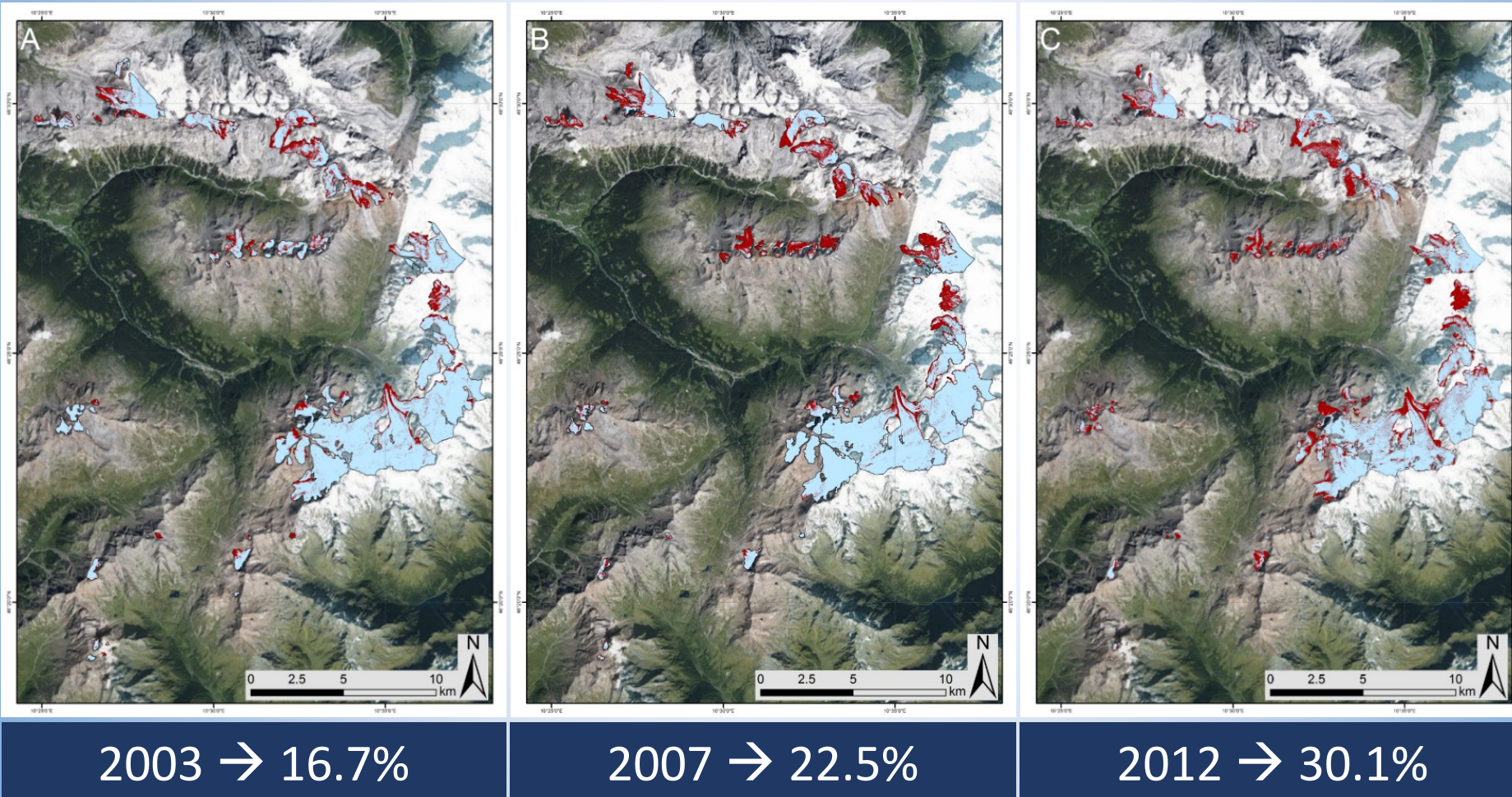
Classificazione di tutte le superfici glaciali attraverso un algoritmo maximum likelihood

SNOW

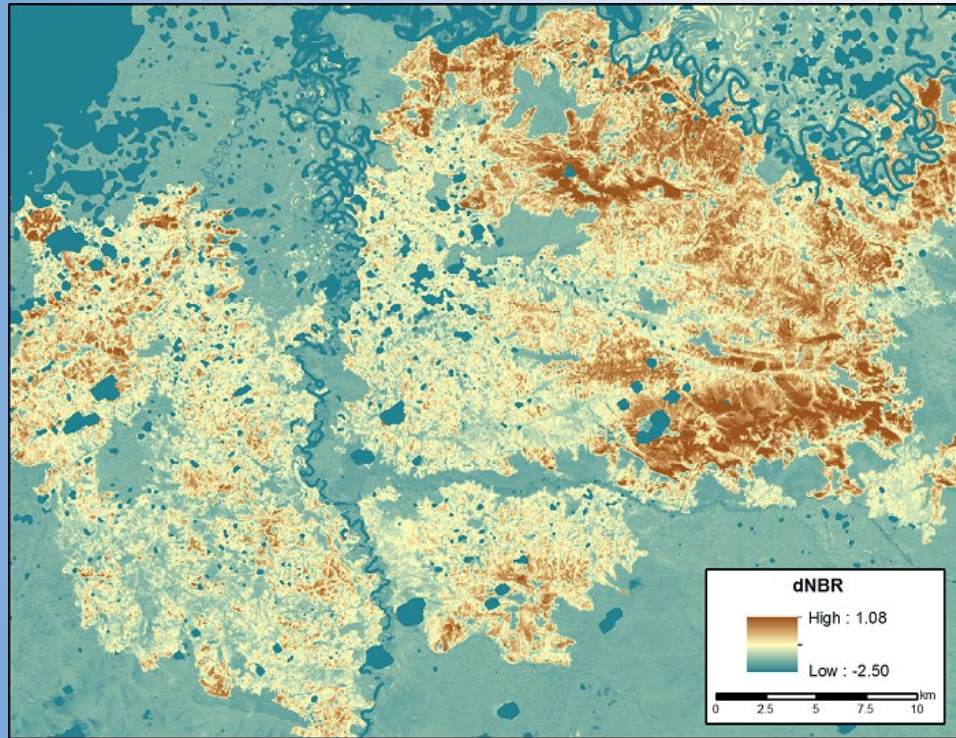
# Accuratezza della classificazione

|          | STIMATO DALLA<br>CLASSIFICAZIONE<br>SUPERVISED<br>BASATA SULLE<br>ORTOFOTO | CLASSIFICAZIONE MANUALE |          |      |       |
|----------|--|-------------------------|----------|------|-------|
|          |  | DETRITO                 | GHIACCIO | NEVE | OMBRE |
| DETRITO  | 98   | 94                      | 3        | 0    | 1     |
| GHIACCIO | 119  | 5                       | 90       | 24   | 0     |
| NEVE     | 52   | 0                       | 6        | 46   | 0     |
| OMBRE    | 36   | 0                       | 0        | 0    | 36    |
| TOTALE   | 305  | 99                      | 99       | 70   | 37    |

# Evoluzione della copertura detritica sopraglaciaie



# Ulteriori applicazioni del telerilevamento nel Parco dello Stelvio



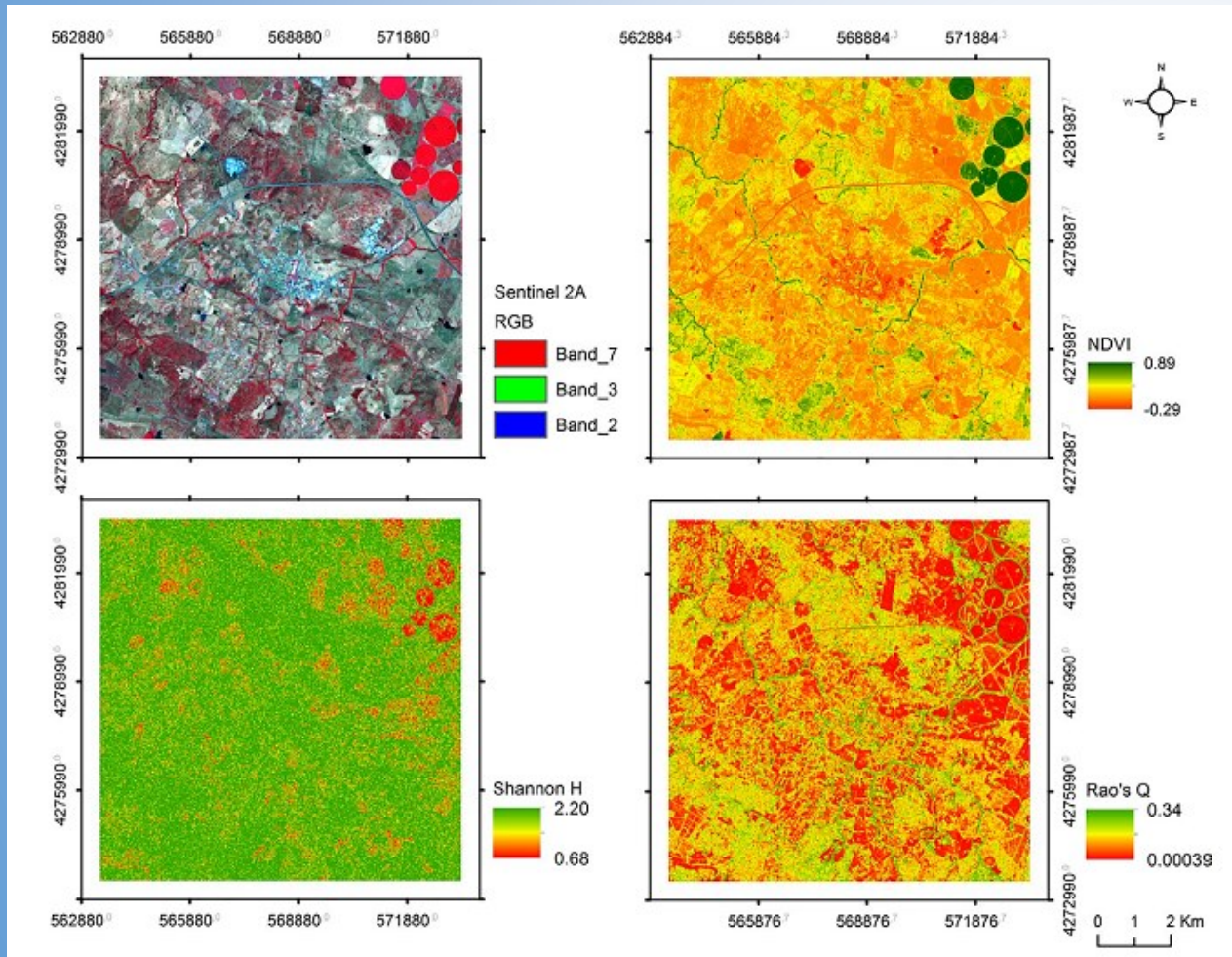
Monitoraggio degli incendi boschivi e dei loro effetti sulla vegetazione

E' possibile sfruttare la risoluzione temporale e spaziale di Sentinel-2

Monitoraggio tramite indici spettrali

Es: NBR, BAI

# Ulteriori applicazioni del telerilevamento nel Parco dello Stelvio



Monitoraggio della diversità di paesaggio come proxy per la biodiversità

- Indice di entropia di Shannon
- Rao's Q
  - Permettono di stimare diversità Alpha, Beta e Gamma

# Ulteriori applicazioni del telerilevamento nel Parco dello Stelvio



Identificazione di diverse specie animali tramite tecniche di *machine learning* su immagini da drone ad alta risoluzione

Grazie dell' attenzione!

