



Stima del trasporto di massa durante eventi di *blowing snow* su un'area costiera antartica attraverso osservazioni lidar da satellite (CALIPSO)

V. Ciardini*, C. Scarchilli, M. Frezzotti, G. Di Donfrancesco, T. Di Iorio, G. Pace, A. di Sarra

ENEA-Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

*** virginia.ciardini@enea.it**

101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica. Roma, 21-25 Settembre 2015



IL BILANCIO DI MASSA

Il bilancio di massa (MB) di una calotta polare rappresenta la differenza fra l'accumulo nevoso che avviene sul continente ed il quantitativo di neve/ghiaccio che viene rimosso attraverso vari fenomeni legati alle complesse interazioni fra Criosfera, Atmosfera ed Oceano.

$$MB = SMB - ID$$

DOVE

$$SMB = SF - E$$

SF = Precipitazione nevosa

E = Evaporazione netta

- Sublimazione superficiale
- Sublimazione della neve trasportata dal vento

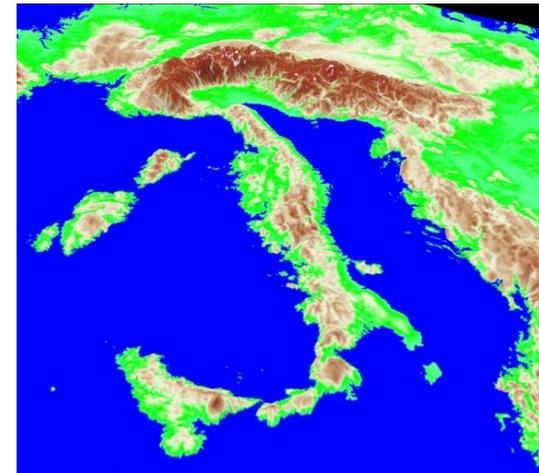
ID = portata alla linea di disancoraggio (distacco di iceberg, fusione alla base delle piattaforme di ghiaccio)

Il Bilancio di Massa superficiale (SMB) rappresenta l'accumulo nevoso o meglio l'equilibrio fra la quantità di neve precipitata e quella rimossa da processi che avvengono dopo la deposizione

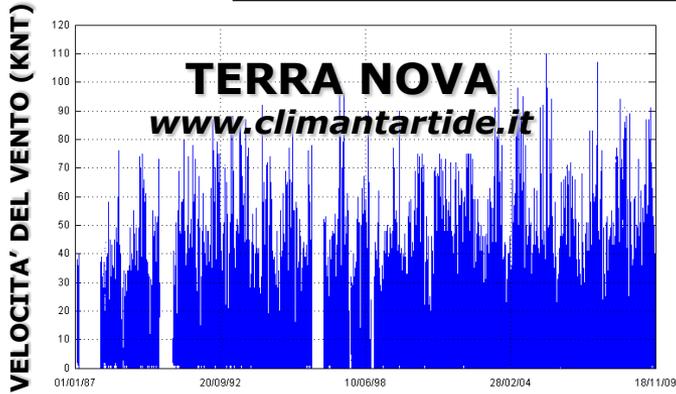
Comprendere e studiare il bilancio di massa superficiale in Antartide è necessario per determinare lo stato attuale della calotta e fare previsioni sul suo potenziale contributo all'innalzamento del livello del mare.

Se, per assurdo, la totalità dei ghiacci fondesse, il livello del mare salirebbe di oltre 68 metri (61,1 m Antartide, 7,2 m Groenlandia).

Su scala continentale la variabilità delle precipitazioni nevose regola i processi del SMB [Déry and Yau, 2002]. A scale più piccole (chilometri) la precipitazione può essere considerata spazialmente omogenea ed i processi dovuti al vento che avvengono successivamente alla deposizione (sublimazione superficiale e quella della neve trasportata), diventano fondamentali.

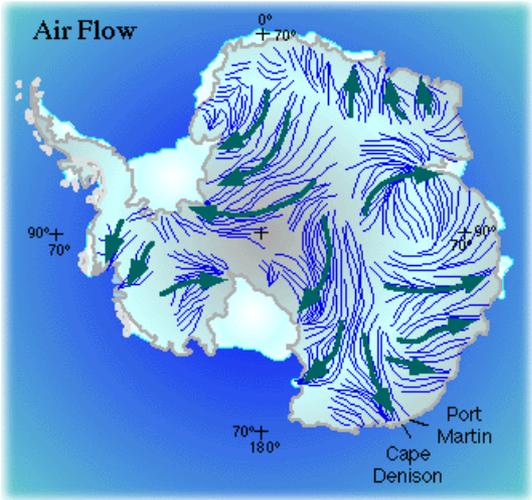
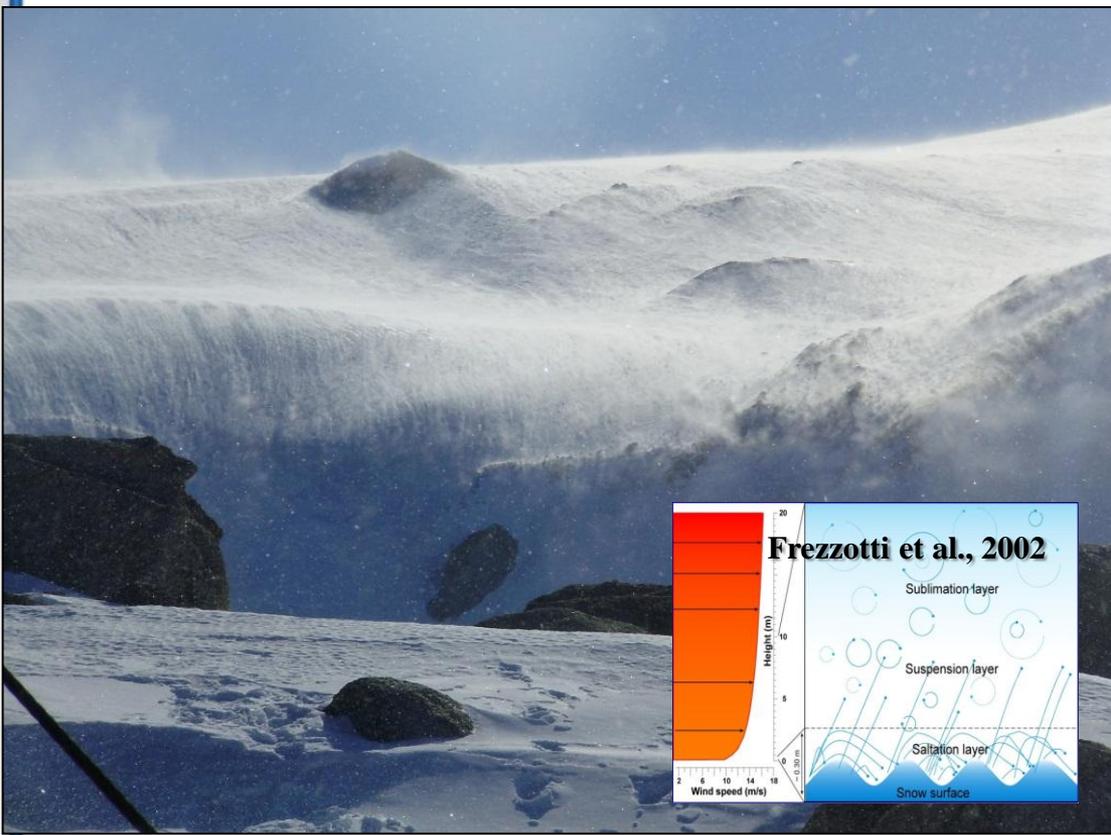


PROCESSI DI ACCUMULO E VENTI CATABATICI



- Le coste del plateau Antartico Orientale sono note come l'area della terra con i venti più forti (>325 km/h). In nessun'altra area un singolo elemento meteorologico (il vento) ha una così forte influenza sul clima di un intero continente.

- I venti catabatici soffiano durante l'anno trasportando in atmosfera e negli oceani una larga ma sconosciuta frazione di neve precipitata.



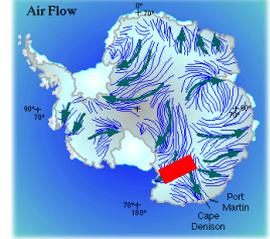
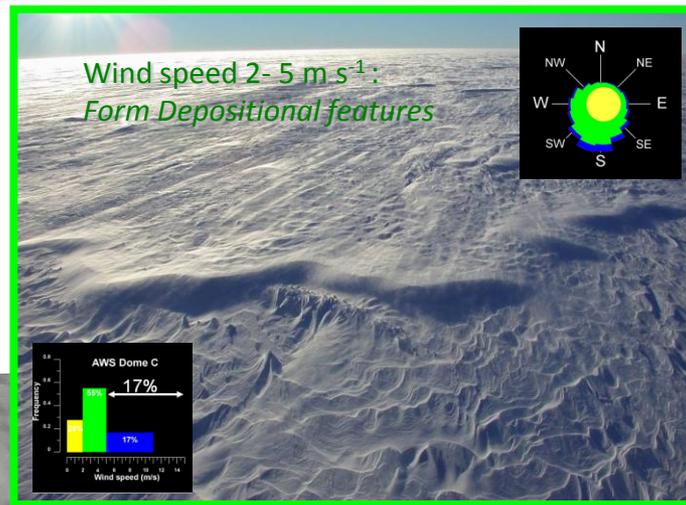
Le particelle di neve vengono sollevate dal terreno quando la velocità del vento supera una certa soglia legata alle caratteristiche morfologiche del terreno

- "Snowdrift" per flussi fino a 2-3 m in altezza
- Blowing snow" per flussi sopra i 3 m

PROCESSI DI ACCUMULO E VENTI CATABATICI

Frezzotti et al., 2002

- depositional (10%)
- redistribution (59%)
- erosional (31%)

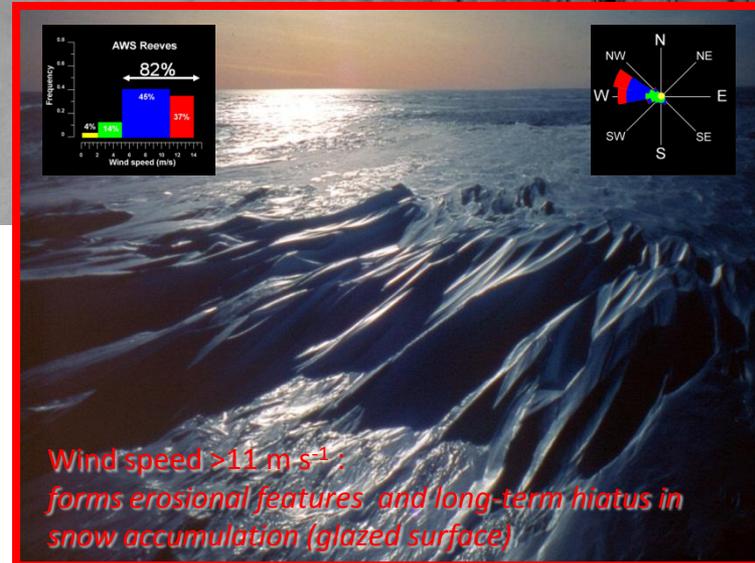
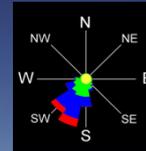


DC

MdPt

GPS 1

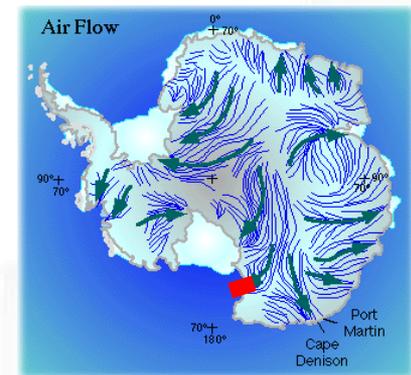
Wind speed 5-11 m s⁻¹:
forms redistribution features from erosion of depositional features (sastrugi, pit etc.)



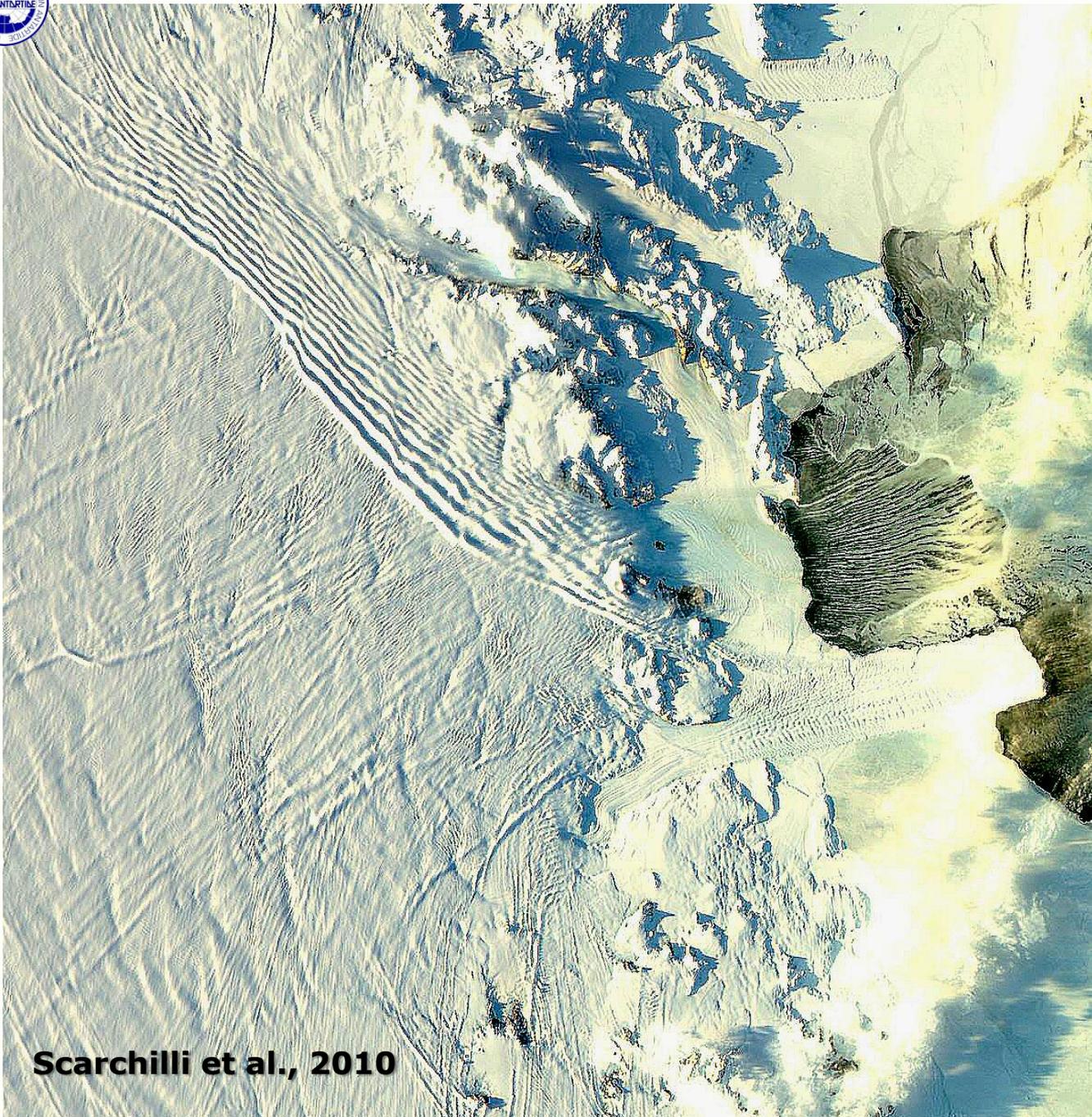
EVENTI STRAORDINARI DI NEVE TRASPORTATA DAL VENTO

IMMAGINI DELL'AREA DI TERRA NOVA BAY IN ASSENZA DI TRASPORTO DI NEVE DA PARTE DEL VENTO

L'estesa presenza di zone di *blue ice* e *wind crust* suggerisce che gli effetti combinati del trasporto di neve e della sublimazione di questa rimuove fino a 200% (aree di *blue ice*) delle precipitazioni nelle aree costiere e di convergenza. Questi fenomeni rappresentano il maggiore effetto di rimozione post deposizionale.



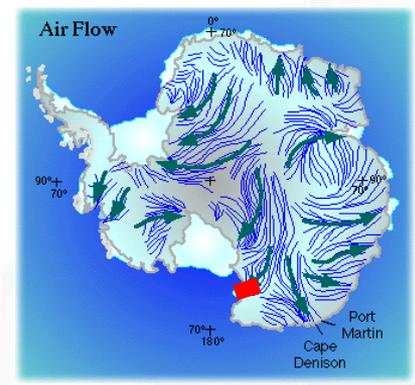
Scarchilli et al., 2010

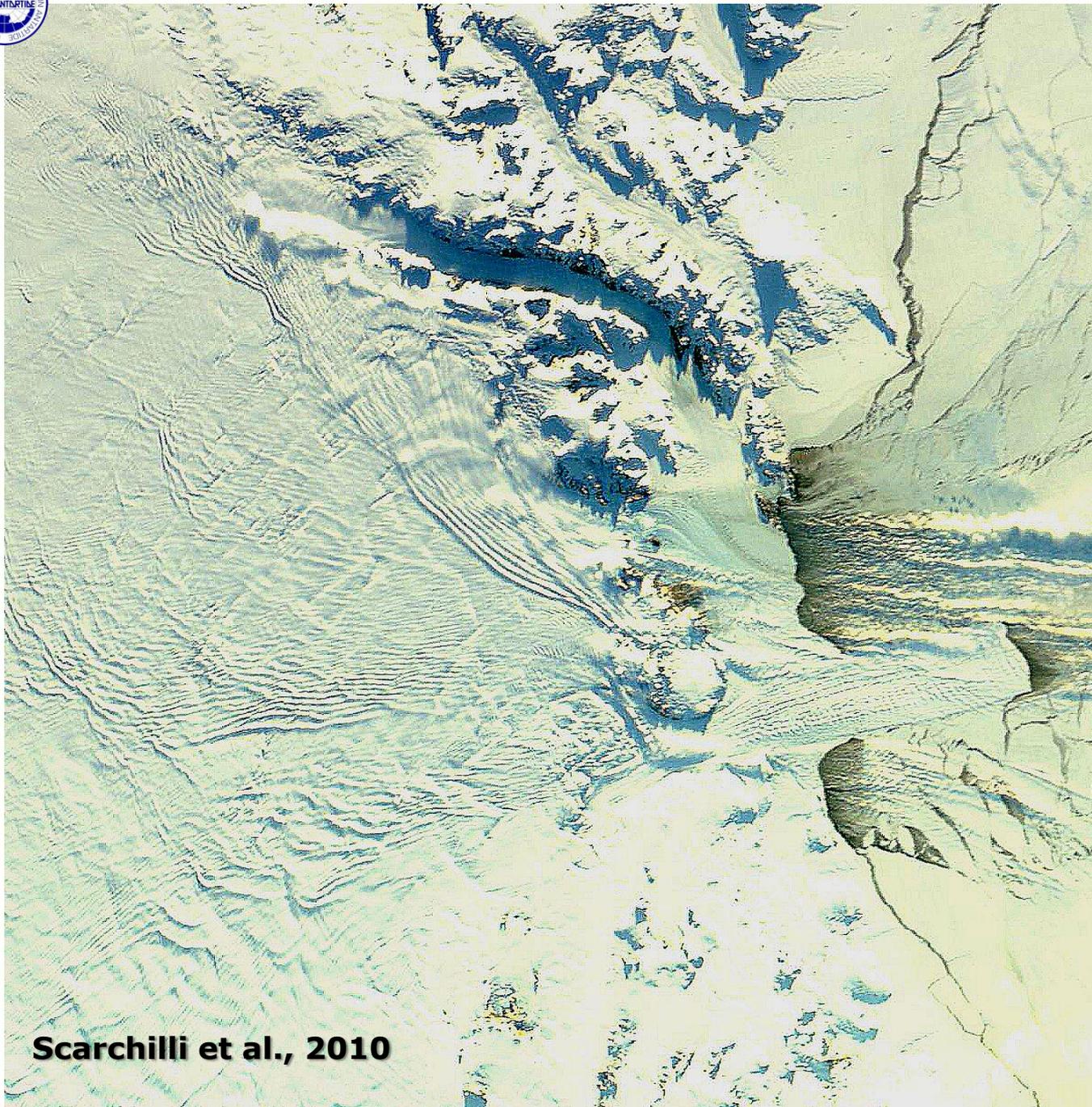


IMMAGINI DELL'AREA DI TERRA NOVA CON TRASPORTO

Il trasporto di neve può essere osservato a scala regionale usando le immagini satellitari. Le onde di neve trasportata sono spesse ed alte (fino a 300 m) tali da proiettare ombre sul terreno specialmente quando il sole è basso sull'orizzonte (autunno e primavera)

Scarchilli et al., 2010

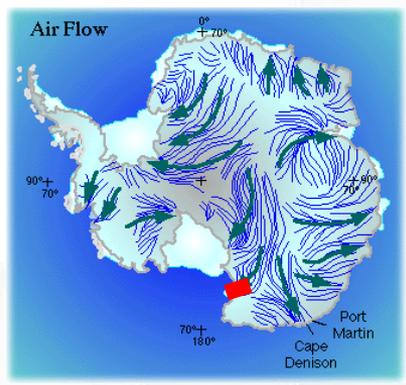




IMMAGINI DELL'AREA DI TERRA NOVA CON TRASPORTO

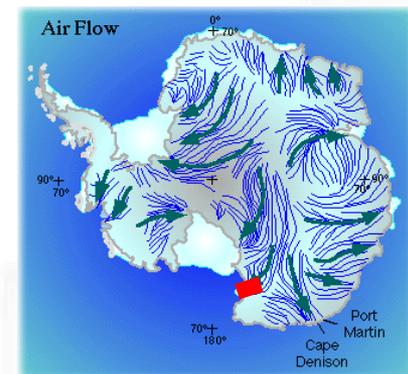
Il trasporto di neve può essere osservato a scala regionale usando le immagini satellitari. Le onde di neve trasportata sono spesse ed alte (fino a 300 m) tali da proiettare ombre sul terreno specialmente quando il sole è basso sull'orizzonte (autunno e primavera)

Scarchilli et al., 2010



IMMAGINI DELL'AREA DI TERRA NOVA CON TRASPORTO

Il trasporto di neve può essere osservato a scala regionale usando le immagini satellitari. Le onde di neve trasportata sono spesse ed alte (fino a 300 m) tali da proiettare ombre sul terreno specialmente quando il sole è basso sull'orizzonte (autunno e primavera)



Scarchilli et al., 2010

Scarchilli et al., 2010

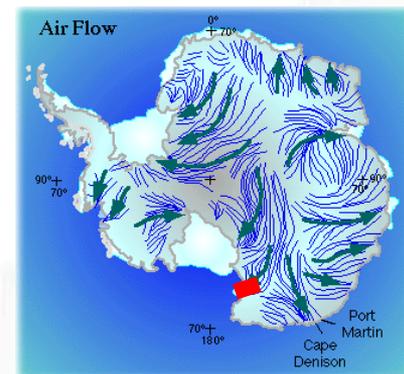
A clouds

B no drift

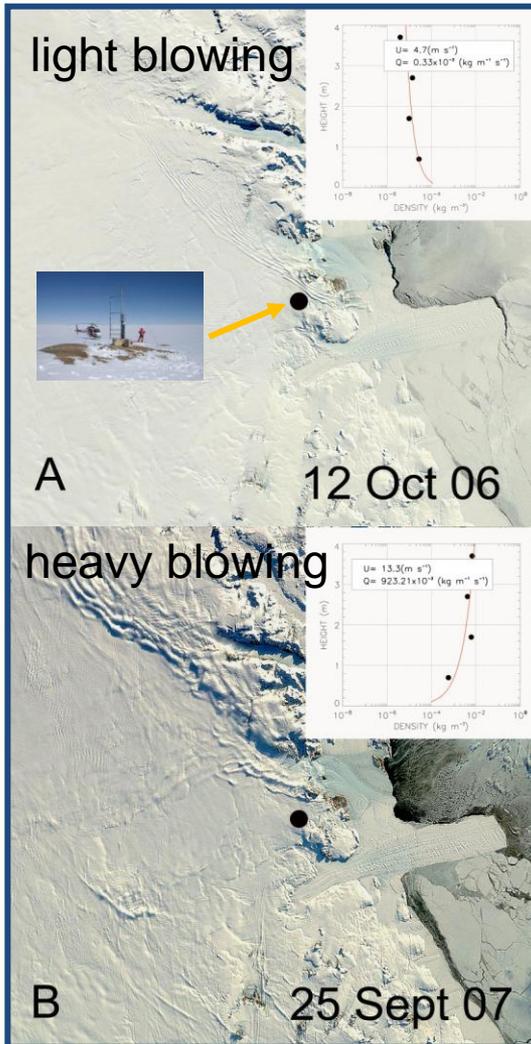
C light blowing

D heavy blowing

IMMAGINI DELL'AREA DI TERRA NOVA



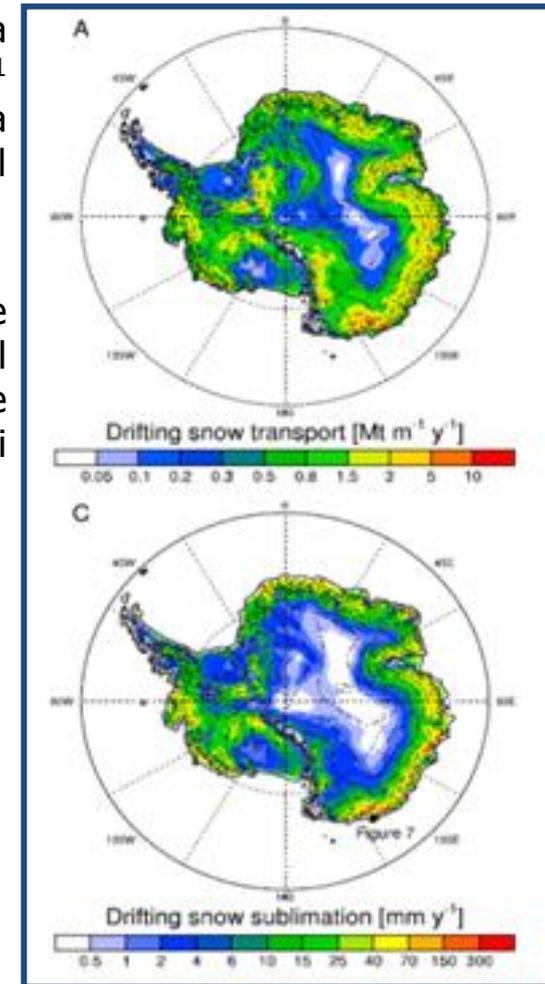
Scarchilli et al., 2010



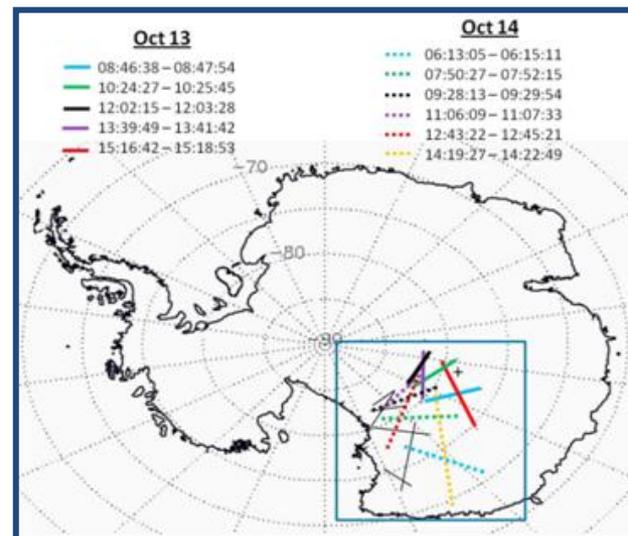
Lenaerts and van den Broeke, 2012

La Perdita di massa della calotta antartica è stimata in $\sim 30\text{-}200\text{Gt yr}^{-1}$ con un'incertezza $\sim 40\%$, dovuta all'incertezza su SMB e sull'impatto del *drifting snow* (*drifting e blowing snow*)

Circa il 6% della precipitazione viene rimossa per sublimazione dovuta al *drifting snow*. Questo termine costituisce il principale termine di ablazione ed è localmente significativo.



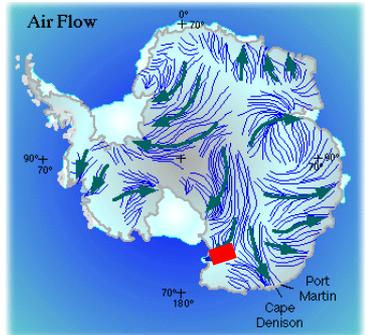
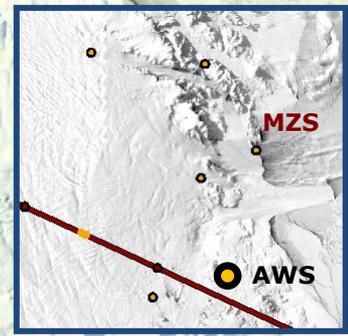
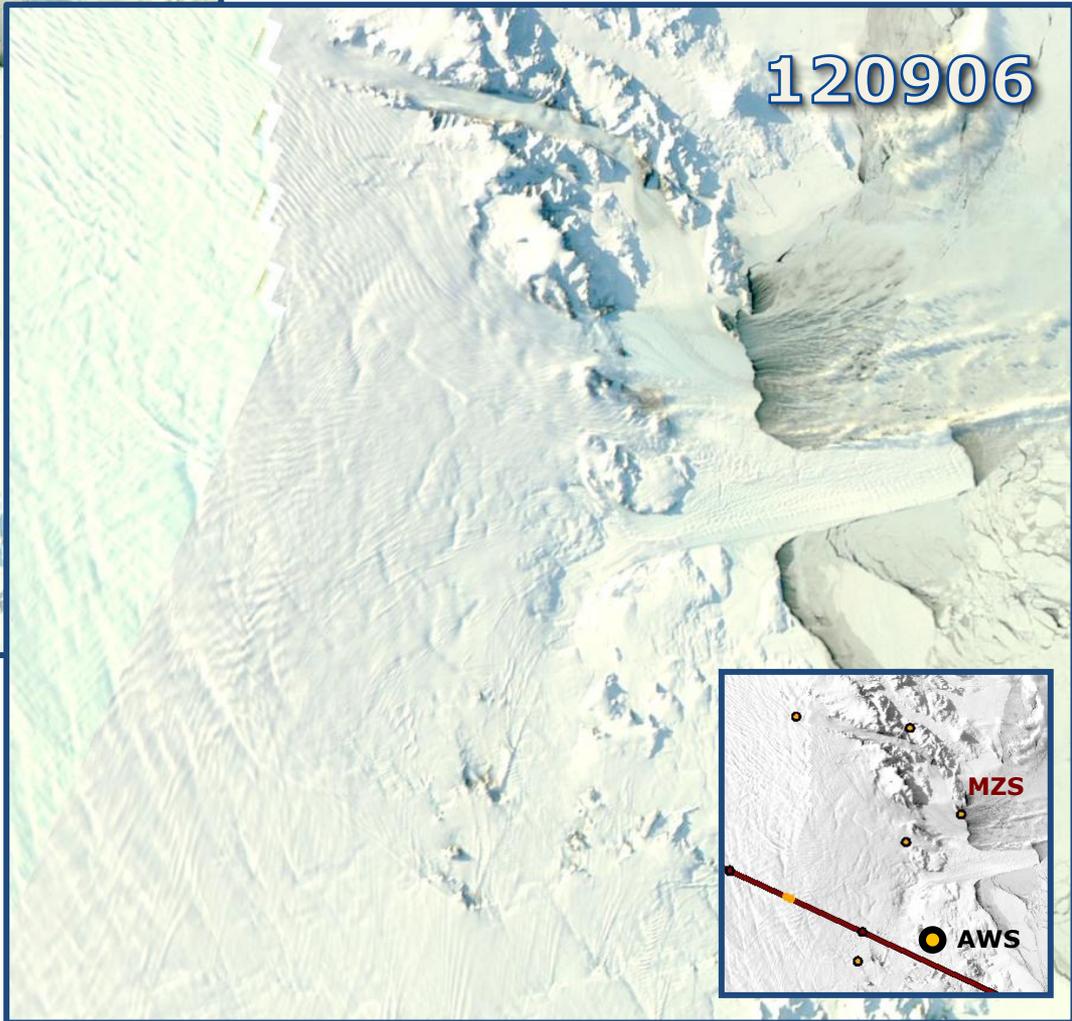
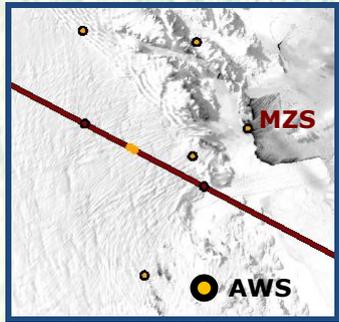
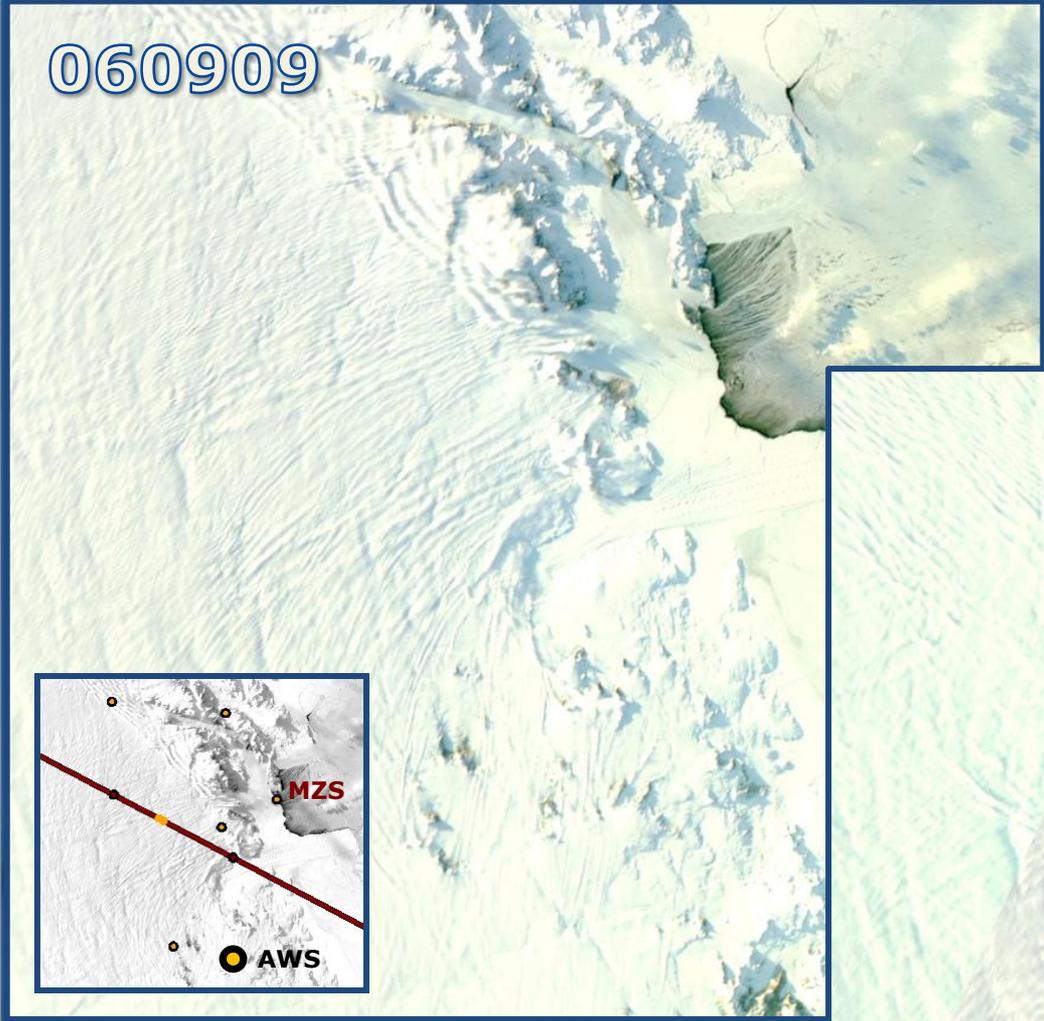
Palm et al., 2011



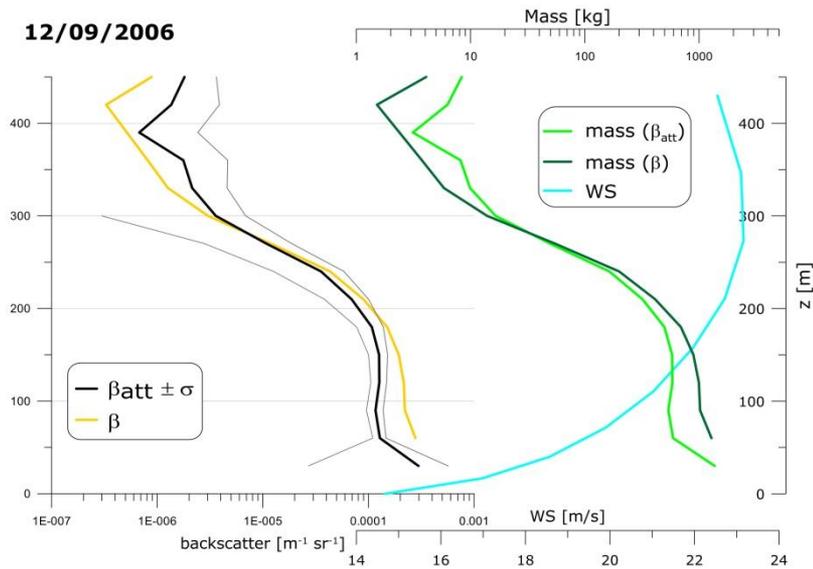
060909

Immagine da MODIS AQUA a 250 m

<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/imagery/subsets/?project=antarctica>

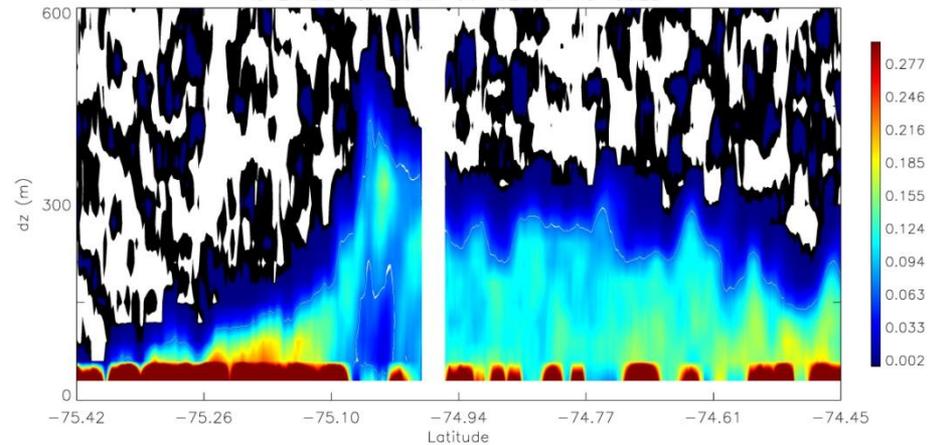


12/09/2006

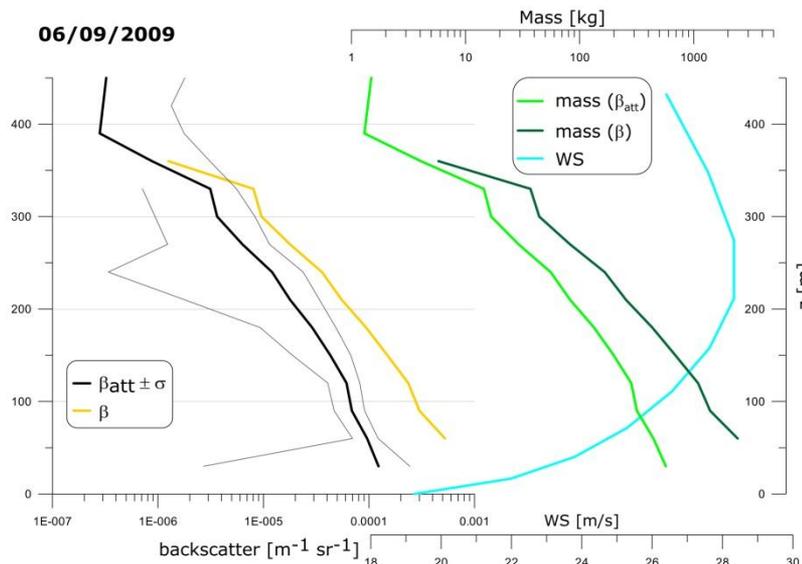


Evoluzione del coefficiente di backscattering attenuato lungo il transetto selezionato (smoothing $\approx 2\text{km}$)

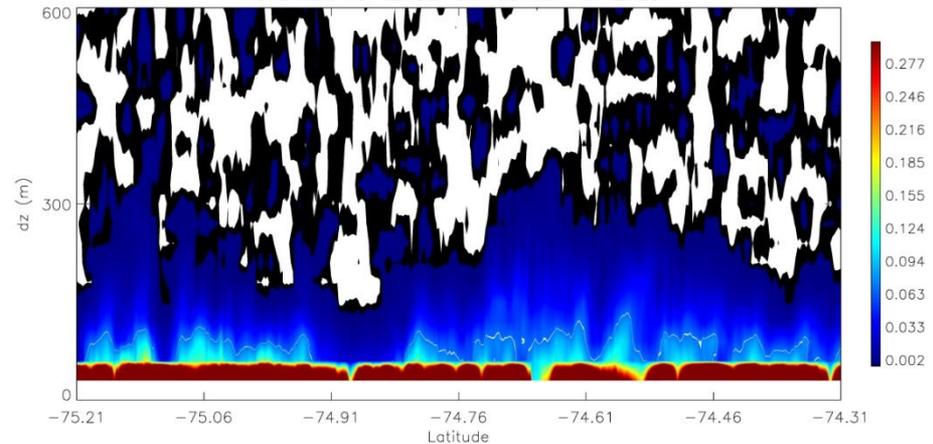
CAL ABS TOT 2006-09-12T05-18-35ZD



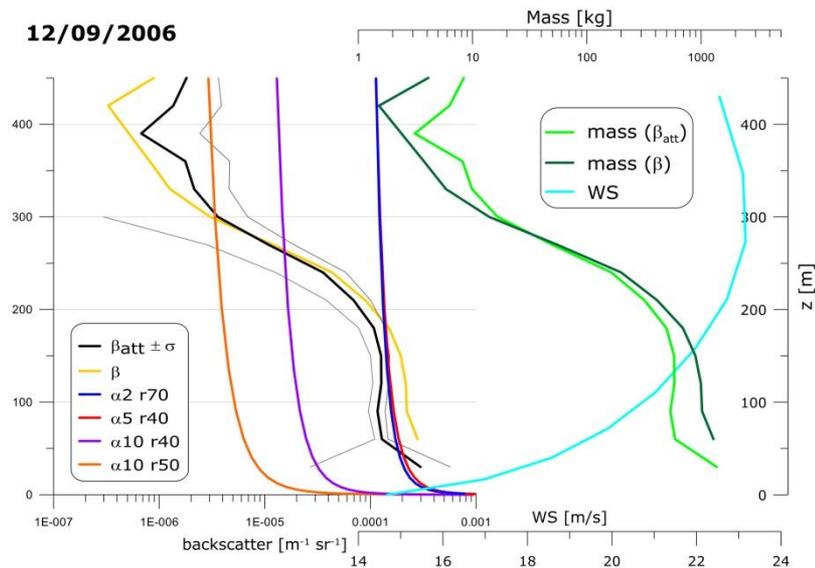
06/09/2009



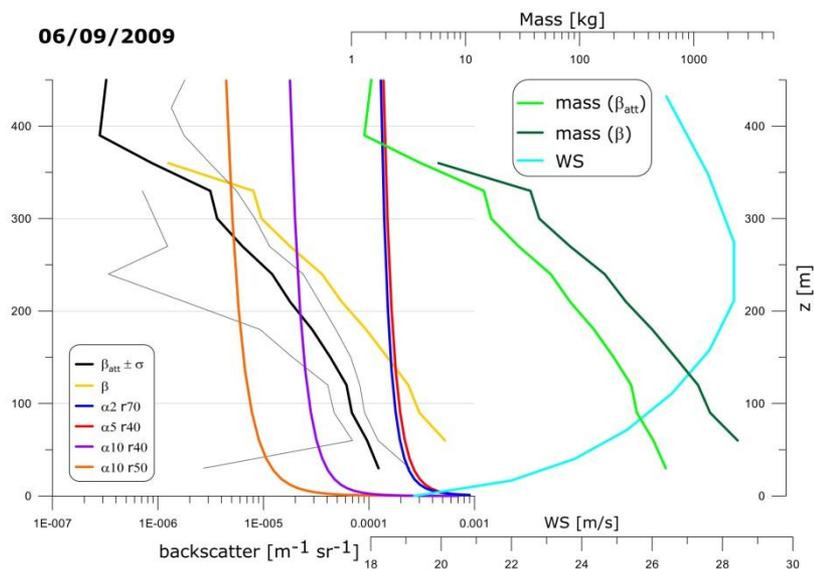
CAL ABS TOT 2009-09-06T05-10-29ZD



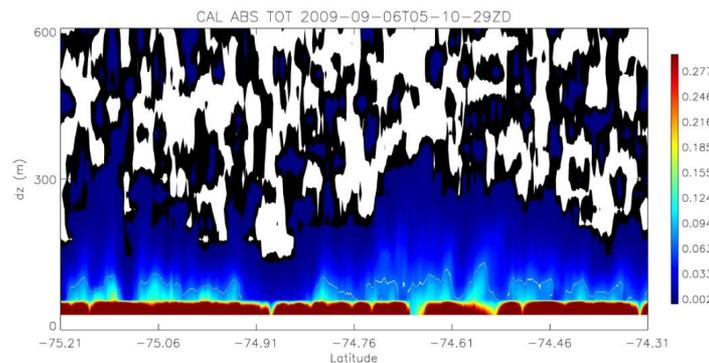
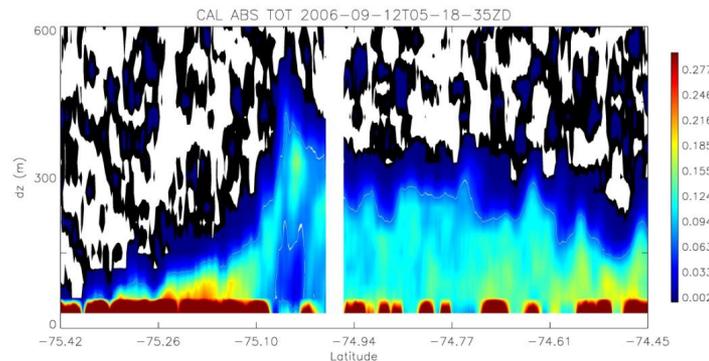
12/09/2006



06/09/2009



Evoluzione del coefficiente di backscattering attenuato lungo il transetto selezionato (smoothing ~ 2 km)



$$\beta_{\pi}(z) = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \pi r^2 Q_{bsc}(\lambda, r) N(r, z) f(r) dr$$

$$N(r, z) N_{ref} \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^{-w/ku^*}$$

$$f(r) = \frac{e^{-r/\beta} r^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}$$

$$\bar{r} = \alpha\beta$$

Mann et al., 2000

SINTESI E PROSPETTIVE

- Il *blowing snow* costituisce un parametro chiave del SMB e la sublimazione dovuta ad esso è il principale termine di ablazione.
- la strumentazione a terra permette di investigare solo i primi metri dell'atmosfera;
- le immagini da satellite forniscono una "caratterizzazione bidimensionale" del fenomeno;
- CALIPSO può osservare il *blowing snow* ma attualmente viene utilizzato per una descrizione ancora in parte qualitativa e su grandi scale del fenomeno.

Partendo dai risultati di Scarchilli et al. 2010 e Palm et al., 2011, sono stati scelti casi particolari di eventi intensi di *blowing snow* a scala locale, nell'area di Baia Terra Nova.

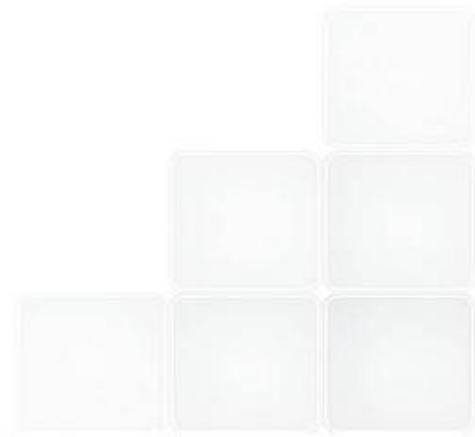
- Sul singolo evento, lo strato di *blowing snow* può superare i 300 m;
- dai parametri lidar misurati, stimando il volume dello strato, si è ricostruito il profilo di massa trasportata;
- dal confronto con i profili teorici del coefficiente di backscattering, ottenuti da parametrizzazione comunemente usate all'interno dei modelli, non si osserva un buon accordo con i profili sperimentali.

In futuro:

- si vuole ampliare l'analisi, partendo da casi più intensi, per quantificare il *blowing snow* su scala locale e migliorare la stima del trasporto di massa da dati lidar da satellite;
- al fine di migliorare la comprensione del fenomeno e la sua parametrizzazione, i dati osservati verranno confrontati, per casi scelti, con dati da modello che includano la parametrizzazione del trasporto di neve per effetto del vento (e.g. MAR [Gallée et al., 2013]).

GRAZIE

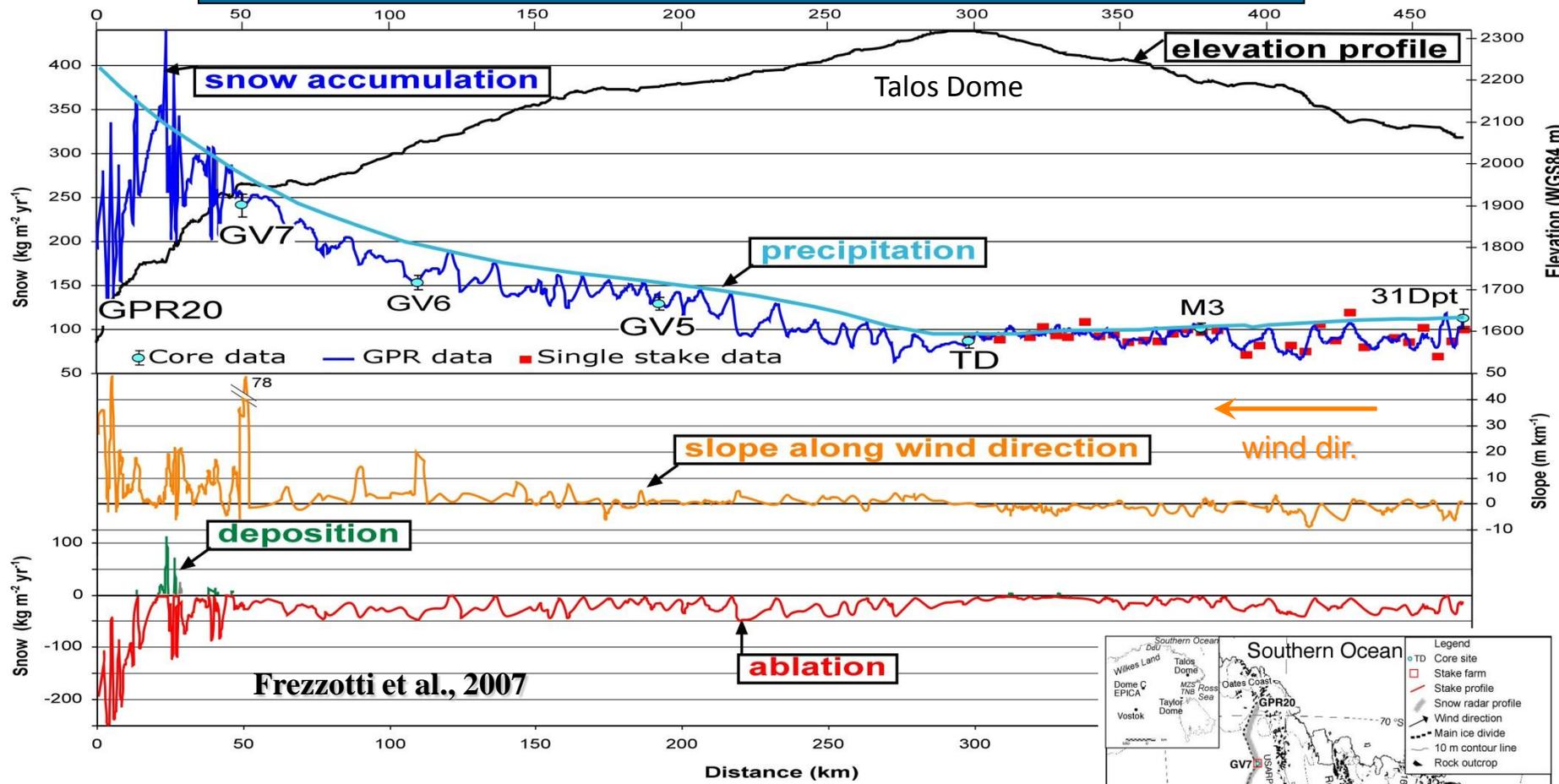
virginia.ciardini@enea.it



BIBLIOGRAFIA

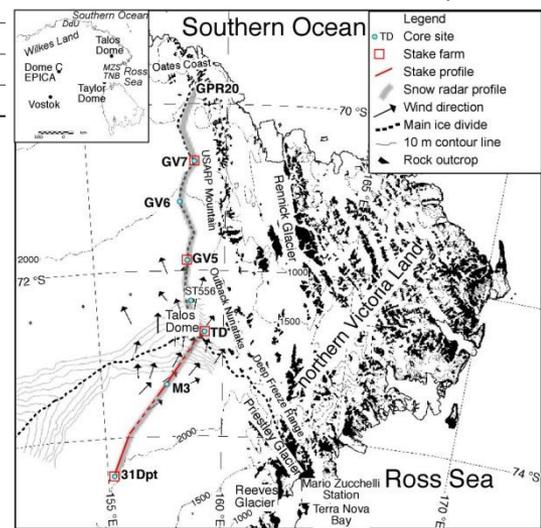
1. Déry, S. J., and M. K. Yau, (2002) Large-scale mass balance effects of blowing snow and surface sublimation, *J. Geophys. Res.*, 107(D23), 4679, doi:10.1029/2001JD001251.
2. Frezzotti M, Gandolfi S, La Marca F, Urbini S (2002) Snow dune and glazed surface in Antarctica: new field and remote sensing data. *Ann Glaciol* 34:81–88. doi:10.3189/172756402781817851.
3. Gallée, H., Trouvilliez, A., Agosta, C., Genthon, C., Favier, V., and Naaim-Bouvet, (2013) F.: Transport of Snow by the Wind: A Comparison Between Observations in Adélie Land, Antarctica, and Simulations Made with the Regional Climate Model MAR, *Bound.-Layer Meteorol.*, 146, 133–147, doi:10.1007/s10546-012-9764-z.
4. Lenaerts, J. T. M., and M. R. van den Broeke (2012), Modeling drifting snow in Antarctica with a regional climate model: 2. Results, *J. Geophys. Res.*, 117, D05109, doi:10.1029/2010JD015419.
5. Mann, G. W., P. S. Anderson, and S. D. Mobbs (2000), Profile measurements of blowing snow at Halley, Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 105(D19), 24491–24508, doi:10.1029/2000JD900247.
6. Scarchilli, C., Frezzotti, M., Grigioni, P., De Silvestri, L., Agnoletto, L., & Dolci, S. (2010). Extraordinary blowing snow transport events in East Antarctica. *Climate Dynamics*, 34(7-8), 1195-1206. DOI 10.1007/s00382-009-0601-0.
7. Palm, S. P., Y. Yang, J. D. Spinhirne, and A. Marshak (2011), Satellite remote sensing of blowing snow properties over Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 116, D16123, doi:[10.1029/2011JD015828](https://doi.org/10.1029/2011JD015828).

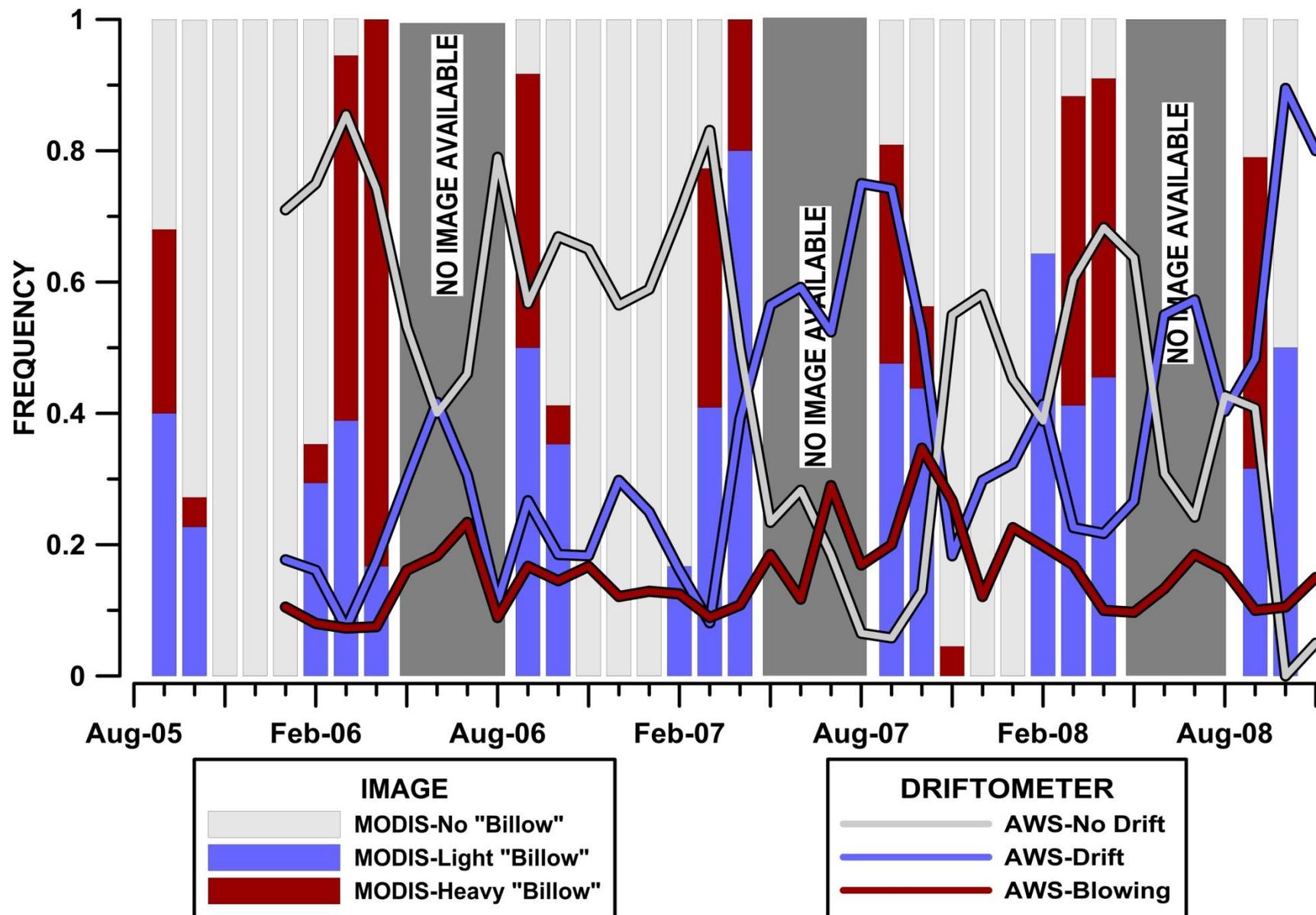
PROCESSI DI ACCUMULO E VENTI CATABATICI



La variazione di accumulo sono ben correlate con la pendenza lungo la direzione del vento e puo eccedere i $200 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ in un km.

La sublimazione della neve trasportata dal vento rappresenta dal 20-75% della precipitazione annua al sito con valori $<50 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ in aree del plateau e fino a $260 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ in aree con forti pendenze





Snow Transport and Remote sensing

Talos Dome

From 25/12/2007 To 24/01/2008

