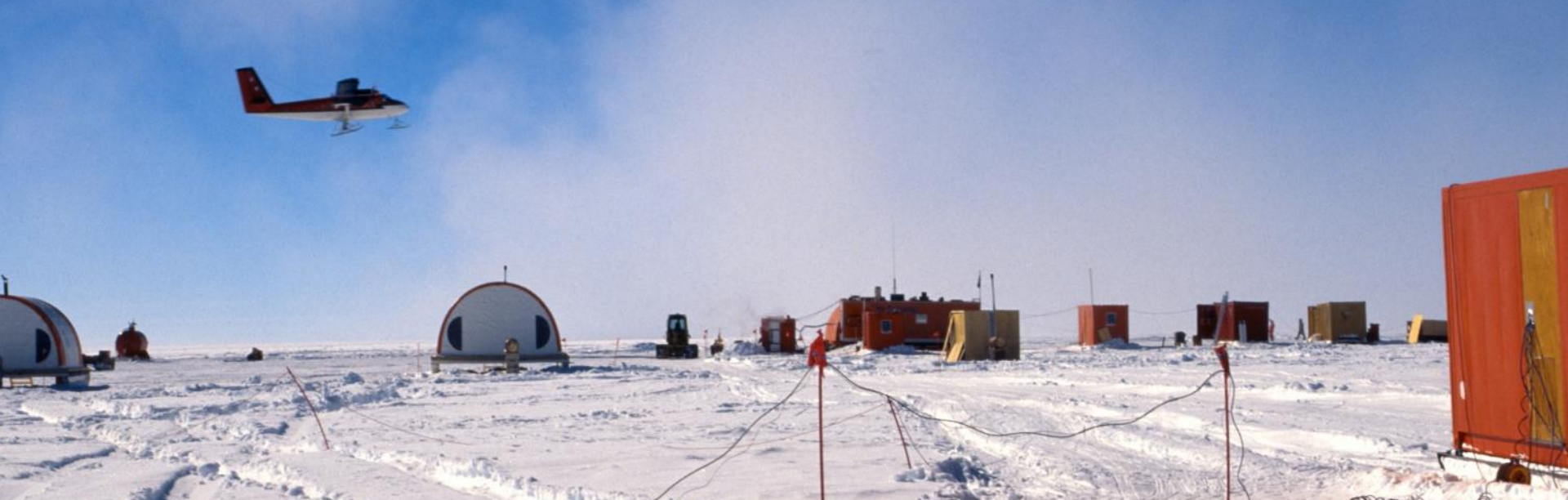

BOUNDARY LAYERS AT DOME C

Una storia di osservazioni, fisica dell'atmosfera e
Spedizioni in Antartide

S. Argentini

CNR ISAC, via del Fosso del Cavaliere, 100 Roma



per conto del gruppo di lavoro

G. Mastrantonio, A. Viola, I. Petenko, · A. Conidi, · G. Dargaud, · G. Casasanta, · I. Pietroni, et al....

SLA

La porzione più bassa dell'atmosfera, direttamente influenzata dall'interazione con la superficie terrestre, in cui turbolenza, onde e processi di scambio ne determinano la struttura e l'evoluzione.

A Dome C lo SLA assume configurazioni sottili e altamente strutturate, invisibili alle misure in superficie e rivelate unicamente dalle osservazioni verticali

Monitorare sperimentalmente la struttura dello SLA a Dome C ha significato migliorarne

- interpretazione fisica,
- modellistica,

e

sperimentare nuovi sistemi di misure in ambiente estremo

RICADUTE

1. Sullo studio del clima polare
2. La parametrizzazione dello SLA stabile
3. Le condizioni di seeing per applicazioni astrofisiche.

Dome C rappresenta un laboratorio naturale estremo, con condizioni atmosferiche di elevata stabilità, marcata inversione termica e turbolenza intermittente.



Obiettivi attività di ricerca a Dome C

- 1. Monitorare la struttura interna dello Strato Limite Atmosferico (SLA)** al fine di identificare i processi atmosferici dominanti,
- 2. Stimare lo spessore dello strato rimescolato (mixing height)** e valutare, nonché migliorare, le parametrizzazioni in condizioni stabili e debolmente instabili,
- 3. Analizzare l'origine, il ruolo e le caratteristiche delle onde** presenti nello SLA in condizioni stabili,
- 4. Comprendere l'origine e l'impatto degli eventi di riscaldamento (warming events)** osservati in Antartide,
- 5. Valutare l'adeguatezza delle parametrizzazioni esistenti dello SLA** nelle regioni polari,
- 6. Stimare le condizioni di seeing atmosferico** per applicazioni astrofisiche.

OSSERVAZIONI SODAR

e

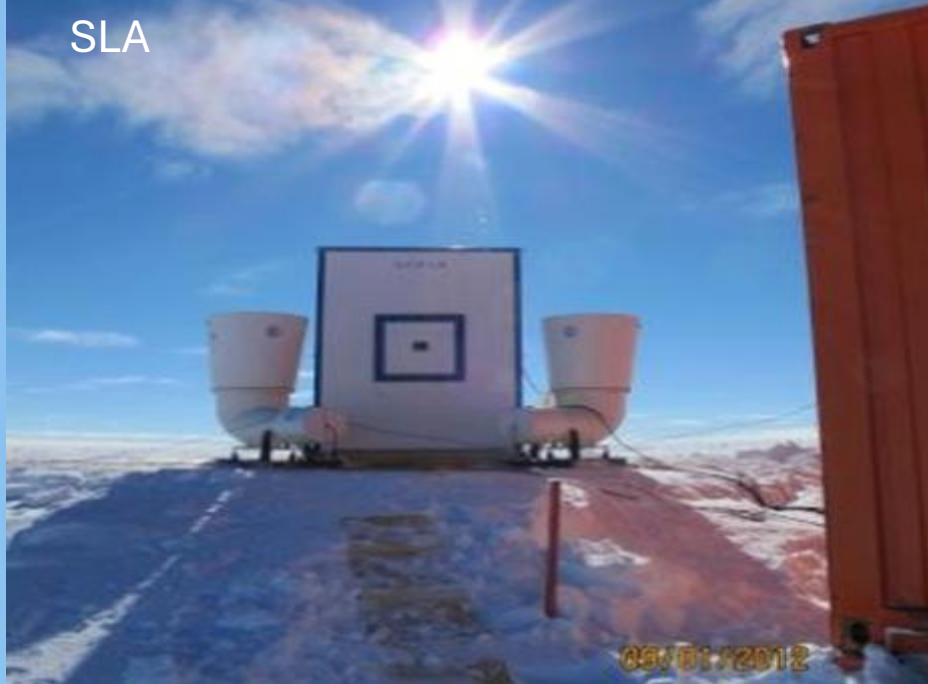
MISURE DI SUPERFICIE:

**UN APPROCCIO INTEGRATO PER L'ANALISI DEI FLUSSI E
DELLO SCAMBIO TURBOLENTO LOCALE**

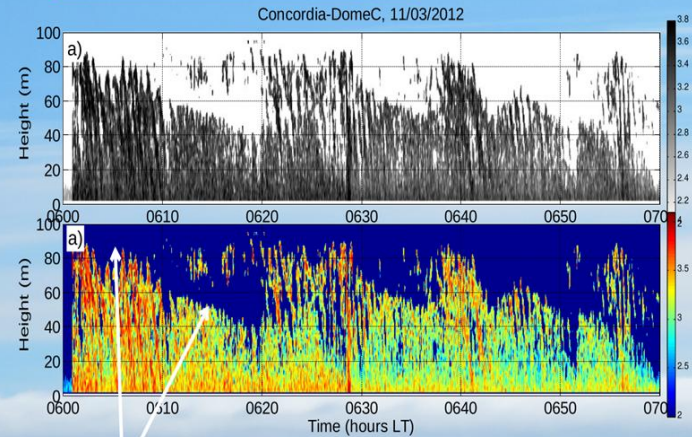
L'integrazione tra osservazioni SODAR e strumentazione micrometeorologica di superficie permette di mettere in relazione le strutture osservate con i processi locali di flusso e di scambio turbolento

Telerilevamento acustico per lo studio dello (SLA)

Il SODAR non solo “aggiunge una misura”: cambia il modo di vedere lo SLA



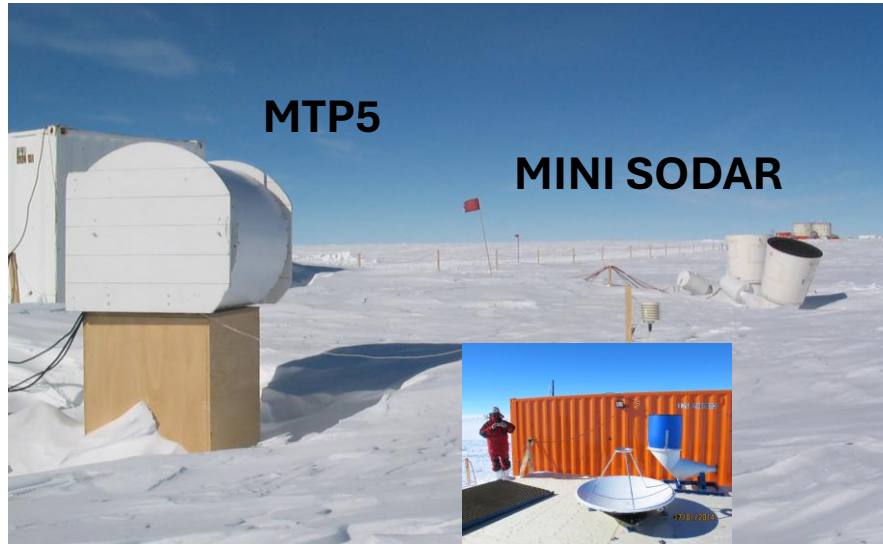
- Gli echogrammi mostrano sezioni spazio-temporali della turbolenza termica in coordinate altezza–tempo.
- L'intensità del segnale è proporzionale al parametro di struttura della temperatura C_T^{-2} .
- Questo rende riconoscibili strati turbolenti, piume convettive, transizioni, onde interne e profondità dello strato mescolato.



The DEPTH of the STL is a HEIGHT of the top boundary

Il telerilevamento acustico funziona come un“ecografia dell'atmosfera”: rende visibili strutture e fenomeni che gli strumenti in situ non colgono e consente di studiare l'evoluzione e la struttura fine dello SLA

Piattaforme osservative: Mini-Sodar MTP5 SLSodar



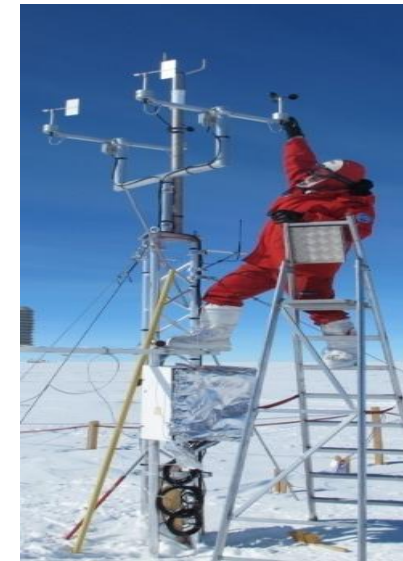
Misure continue della dinamica verticale della turbolenza, capaci di risolvere strati sottili e onde interne.

Sistema SLSODAR per l'osservazione ad alta risoluzione della struttura termica dello SLA stabile

- Configurazione con alte e basse frequenze; tre antenne emittenti per aumentare intensità del segnale e rapporto segnale/rumore.
- Ricevitore di maggiore diametro e riduzione delle componenti elettroniche esposte, per garantire l'operatività in ambiente estremo.

Piattaforme osservative: Sensori in situ

- Torre di 45 m con 6 livelli di misura.
- Thermohygrometers HMP155 e anemometers Young 45106.
- Ultrasonic anemometer USA-1 (Metek) e net radiometer CNR1 (Kipp & Zonen).
- AWS Milos520 per il contesto meteorologico di superficie.

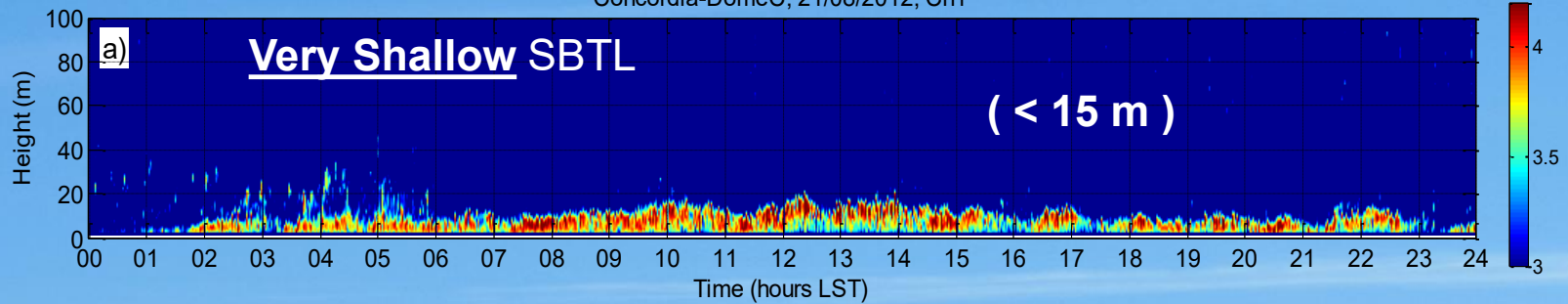


La combinazione di osservazioni da torre strumentata, anemometri sonici, radiometri e AWS ha reso possibile l'interpretazione delle strutture rilevate dal SODAR in termini di flussi, gradienti e turbolenza nel surface layer.

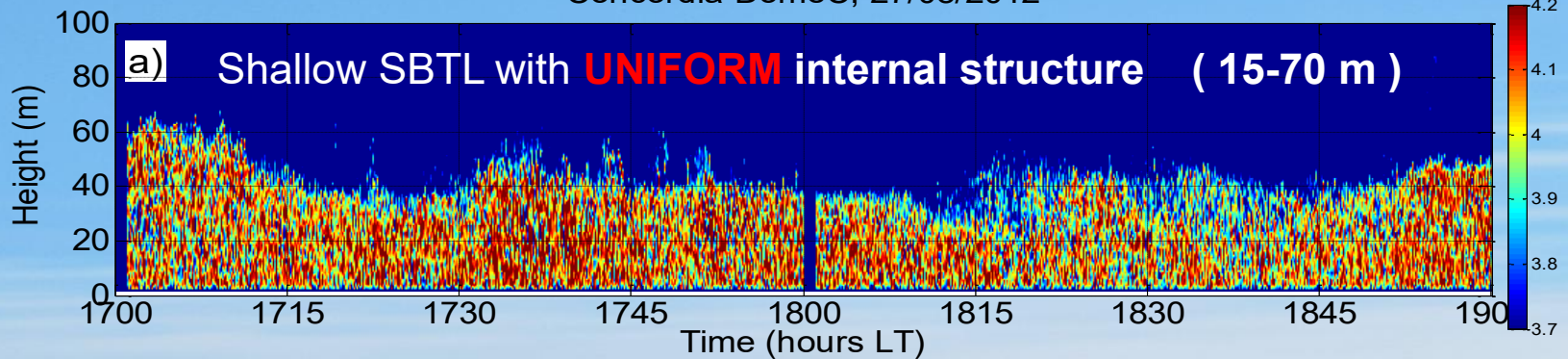


L'ABL stabile può presentare un elevato livello di turbolenza interna

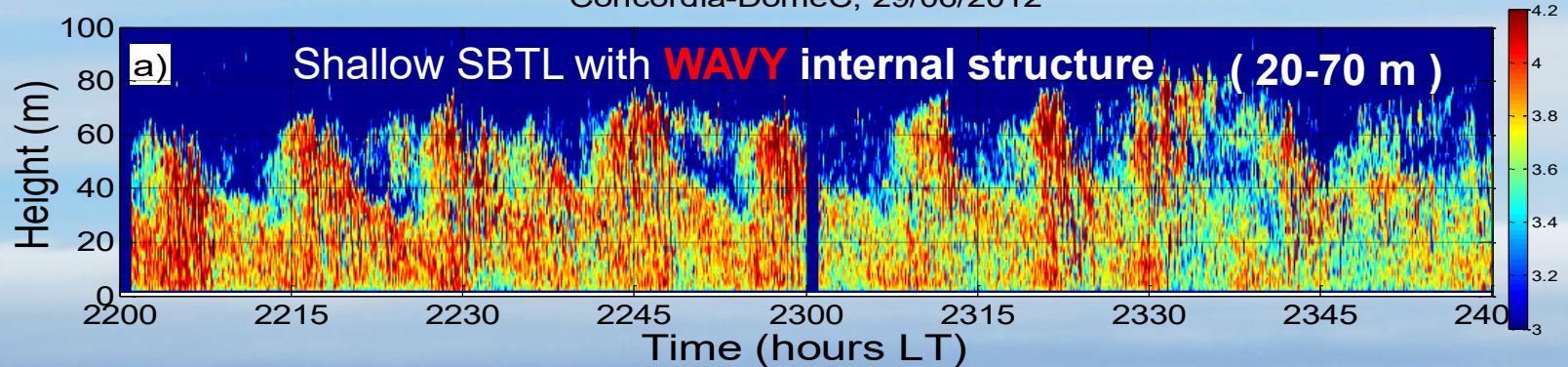
Concordia-DomeC, 21/08/2012, Ch1



Concordia-DomeC, 27/08/2012



Concordia-DomeC, 29/06/2012

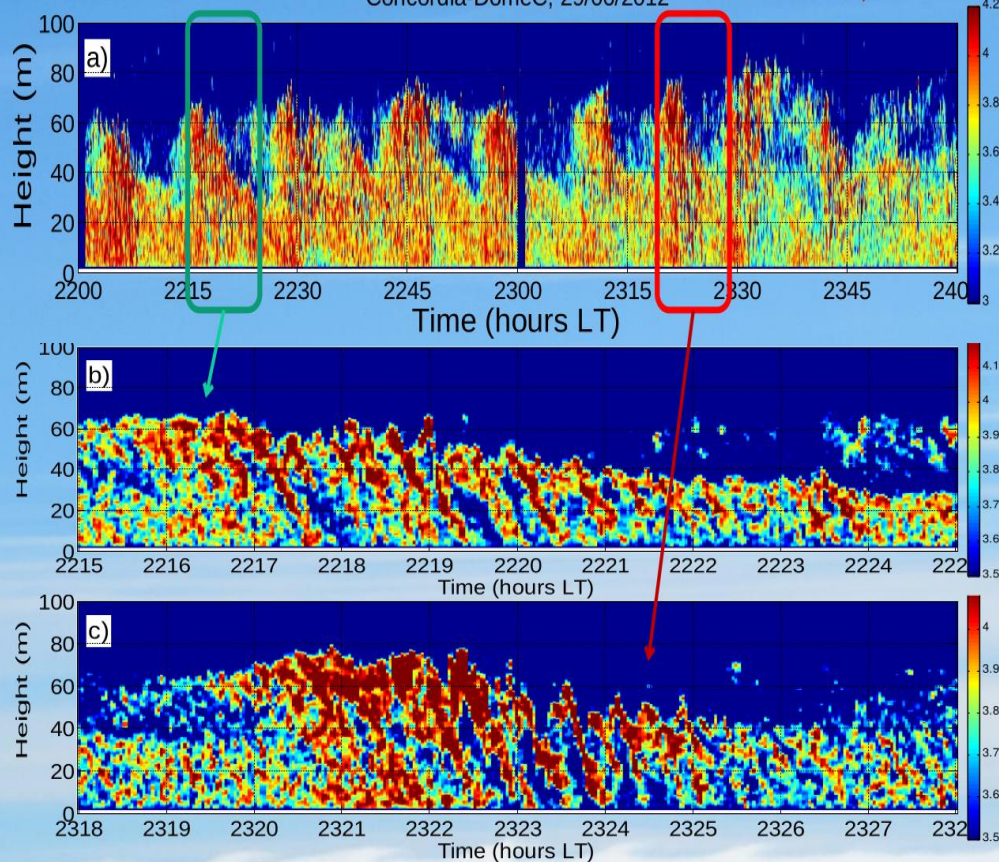


Strutture ondulatorie nello SLA stabile di lunga durata

Example of long-lived SBTL with **WAVY** internal structure
(WAVE TRAINS)

Concordia-DomeC, 29/06/2012

$V = 7 \text{ m/s}$ S, $T = -65^\circ\text{C}$



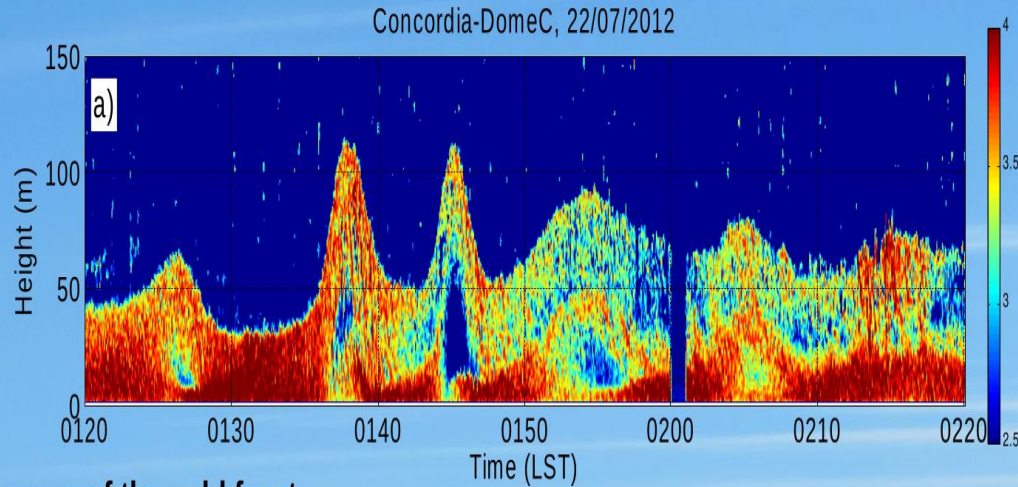
IL Surface Layer Sodar ad alta risoluzione ha consentito di rilevare la struttura interna del lo SLA ,

- Pattern compatibili con gravity-shear waves
- Forte legame con instabilità di Kelvin–Helmholtz

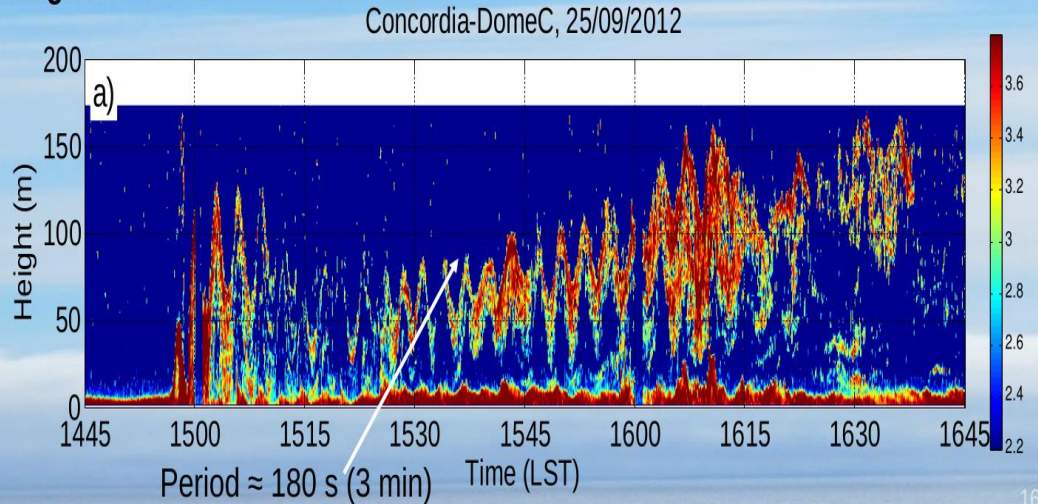
Il pattern ondulato ad intreccio è compatibile con onde di gravità e di shear associate a instabilità di Kelvin–Helmholtz.

Strutture d'onda inusuali

Passage of a solitary wave packet



Passage of the cold front



Lo SLA antartico non è un sistema “quieto”: è un ambiente dinamico e intermittente

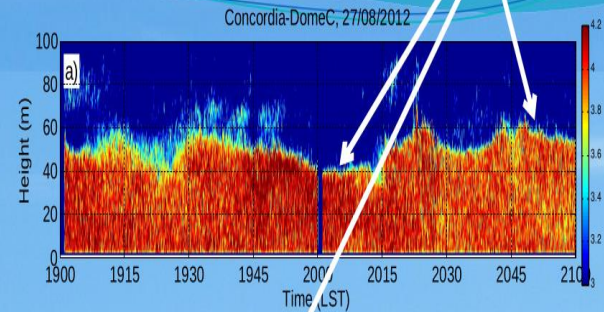
Spessore del Surface-Based Turbulent Layer (SBTL)

Lo spessore dello SBTL coincide con l'altezza dello strato osservato dal SODAR.

- 0–10 m: 33%
- 10–30 m: 37%
- 30–50 m: 17%
- >50 m: 13%

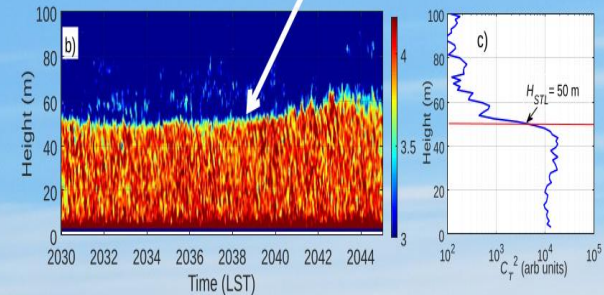
A Dome C, lo strato turbolento superficiale presenta spesso spessori ridottissimi, talvolta di poche decine di metri

The DEPTH of the SBTL is a HEIGHT of the top boundary

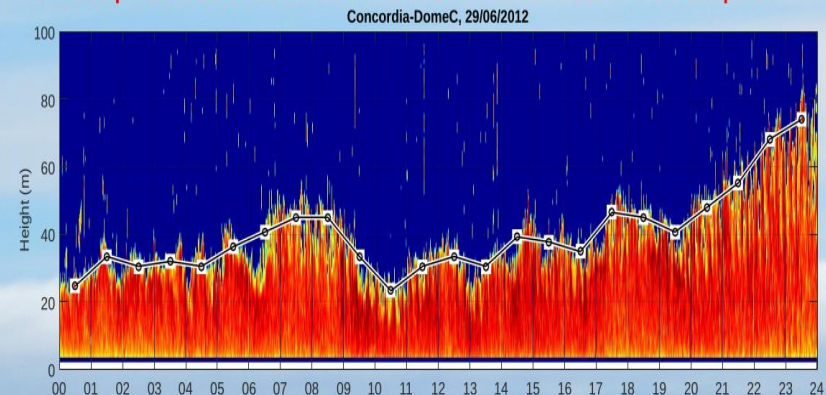


Occurrence of SBTL Depth:

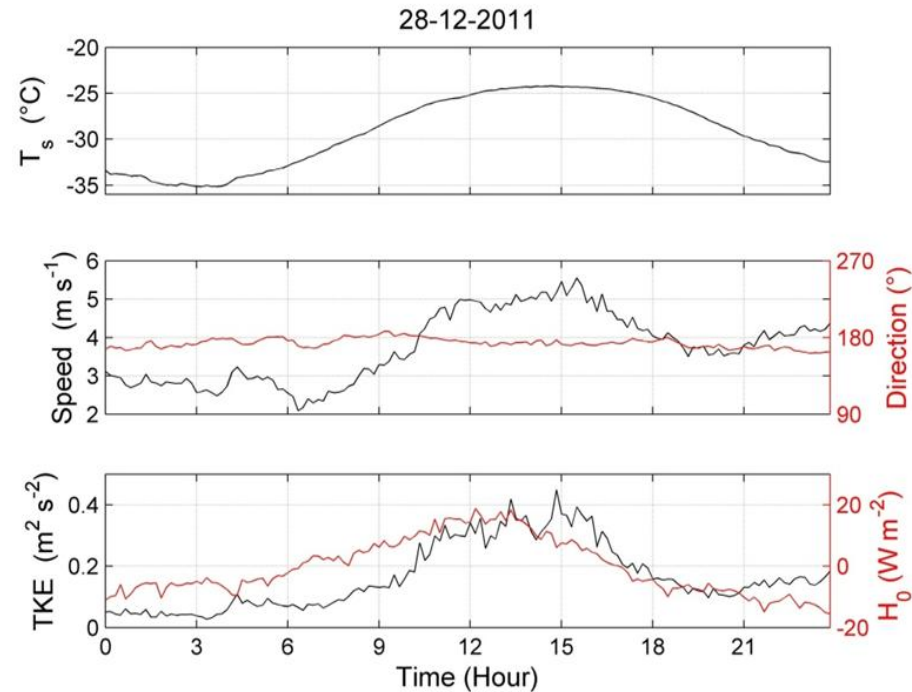
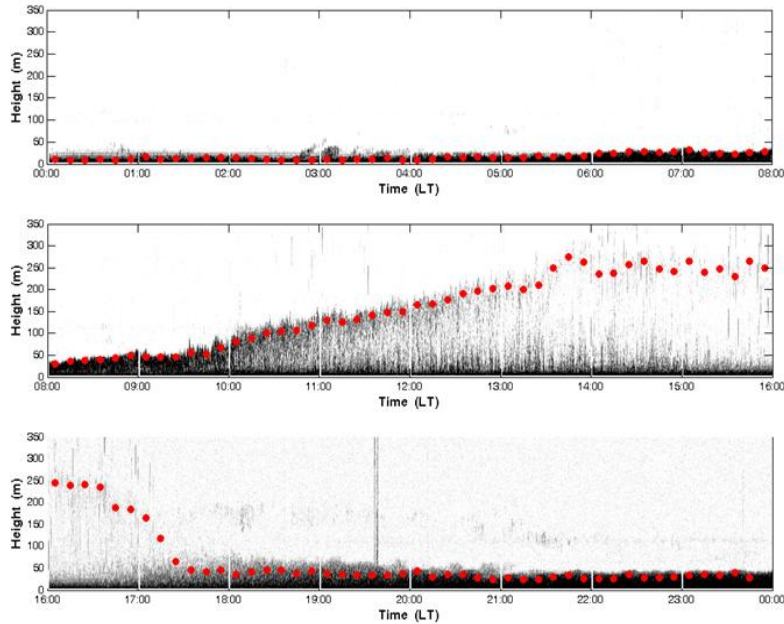
0-10 m	33%
10-30 m	37%
30-50 m	17%
> 50 m	13%



Example of automatic determination of the SBTL depth

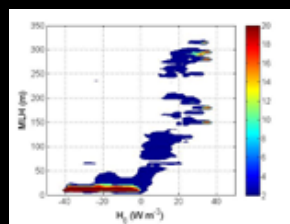
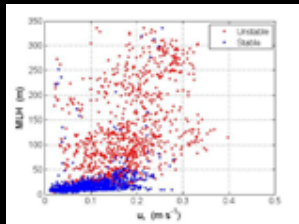
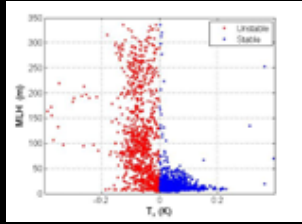


Altezza dello SLA (strato rimescolato MLH): evoluzione estiva

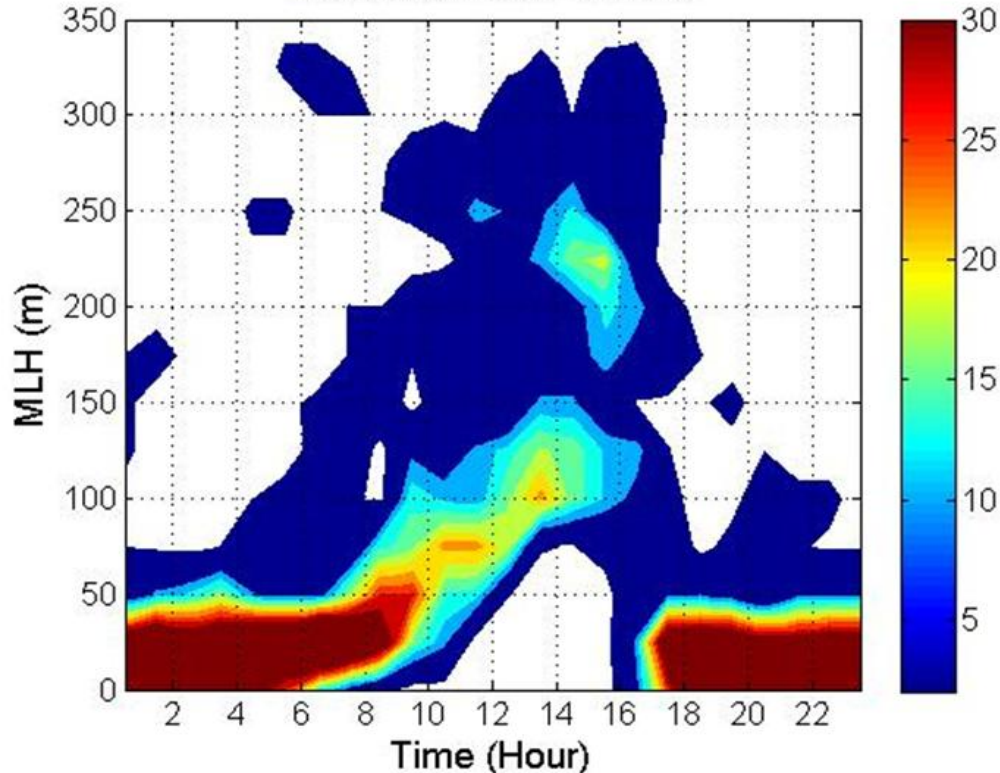


**Transizione da stabile ($H_0 < 0$) a instabile ($H_0 > 0$)
con picchi di temperatura, velocità del vento, H_0 e
TKE tra 12:00 e 15:00 LST.**

Altezza dello strato rimescolato MLH



11-Dec-2011 - 05-Feb-2012



MLH

La stima dell'altezza dello strato rimescolato è ottenuta a partire dal Range Corrected Signal (RCS) delle osservazioni SODAR.

Il confronto della MLH con T^* , u^* e H_0 consente di verificare la coerenza fisica tra la struttura osservata e il forcing superficiale.

MESSAGGIO CHIAVE DALLE CAMPAGNE DI MISURA

A Dome C, la classificazione osservativa ad alta risoluzione della turbolenza è essenziale per una comprensione fisica solida e per una modellistica realistica dello Strato Limite Atmosferico. Lo SLA non può essere descritto attraverso poche misure al suolo: la sua fisica risiede nella struttura verticale interna e nell'organizzazione spazio-temporale della turbolenza.

IN CONCLUSIONE

Il contributo del PNRA non è stato solo logistico: è ciò che ha reso possibile una ricerca lunga, sistematica e di alta qualità.

Un programma di ricerca che ha costruito un patrimonio osservativo ed umano

- Più di 40 articoli su riviste peer-reviewed in 20 anni di Lavoro nelle regioni polari.
- Centinaia di presentazioni a conferenze nazionali e internazionali, tesi di laurea e di dottorato.

Una base di conoscenza fondamentale per la fisica dello SLA, la modellistica polare e lo sviluppo di strumentazione innovativa



Persone e lavoro sul campo



Questa ricerca è anche una storia di persone, competenze e presenza continua sul campo: il lato più visibile dei 40 anni PNRA.



Quarant'anni PNRA, e ancora nuove
domande da inseguire nello strato limite
antartico.



Grazie

Pubblicazioni Antartide 1994 - 2023

1. Argentini, S. and G. Mastrantonio, 1994: Barrier winds recorded during two summer campaigns and their interaction with the katabatic flows as observed by a triaxial doppler sodar; *Int. J. Remote Sensing*, vol. 15, 2, 455-466.
2. Argentini S., P. Del Buono, A. M. Della Vedova, G. Mastrantonio, 1995: A statistical Analysis of Wind in Terra Nova bay, Antarctica for the Austral Summers 1988 and 1989. *Atmos. Res.* 39, 145-156.
3. Argentini S., G. Mastrantonio, A. Viola, P. Pettre', G. Dargaud, 1996: Sodar performances and preliminar results after one year measurements at Adelie coast, East Antarctica. *Boundary Layer Meteorology* vol. 81, 75-103.
4. Gera B. S., S. Argentini, G. Mastrantonio, A. Viola, 1998: Characteristics of the boundary layer thermal structure in a coastal region of Adelie Land, East Antarctica. *Antarctic Science* (10), 89-98.
5. Argentini S., G. Mastrantonio, A. Viola, 1999; Estimation of turbulent heat fluxes and exchange coefficients for heat at Dumont d' Urville East Antarctica. *Antarctic Science* 11(1), 93-99.
6. Viola A., I. Petenko, G. Mastrantonio, S. Argentini, V. A. Bezverhnii, 1999; Diurnal variations of the temperature variations and their influence on wind regime in a confluence zone of Antarctica. *Meteorol. Atmos. Phys.* 70, 133-140.
7. Mastrantonio G., V. Malvestuto, S. Argentini, T. Georgiadis, A. Viola, 1999; Evidence of a convective boundary layer developing on the Antarctic plateau during the summer. *Meteorol. Atmos. Phys.* 71, 127-132.
8. Pettre' P. and S. Argentini, 2001; On the vertical velocity sodar measurements in the region of Dumont d' Urville, East Antarctica. *Geophysical Research Letters* Vol. 28, N° 5, 783-786.
9. Petenko I. V. and S. Argentini, 2001; The Daily Behaviour of Pressure and Its Influence on the Wind Regime in East Antarctica During Winters 1993 and 1994. *J. of Appl. Meteor.* Vol. 40 N° 7, 1255-1264.
10. Argentini S., I. V. Petenko, G. Mastrantonio, V. A. Bezverkhonii, and A. P. Viola, 2001; Spectral characteristics of East Antarctica Meteorological Parameters during 1994. *J. of Geophysical Research*, Vol. 106, N° D12, p. 12463-12476.

11. Naithani J., G. Mastrantonio, S. Argentini, P. Pettré, 2001; Influence of cyclonic perturbations on surface winds around Dumont d'Urville, East Antarctica. *J. of Geophysical Research* Vol. 106, N° D15, p 17093-17102.
12. Petenko I., S. Argentini, 2002, The Annual Behaviour of the Semidiurnal and Diurnal pressure Variations in East Antarctica. *J. of Appl. Meteor.* Vol. 41, No 11, 1093-1100.
13. Georgiadis T., S. Argentini, G. Mastrantonio, A. Viola, G. Dargaud, R. Sozzi, 2002; Boundary Layer convective-like activity at Dome Concordia, Antarctica. "Il Nuovo Cimento" vol. 25 C, N4, pag. 425-431.
14. Naithani, J., S. Argentini, G. Schayes, G. Mastrantonio, 2003, Analysis of strong wind events around Adelie land, East Antarctica. *Annals of Geophysics* vol. 46, N° 2, pag. 385-399.
15. Argentini S., A. Viola, A. Sempreviva, I. Petenko, 2005; Summer PBL height at the plateau site of Dome C, Antarctica. *Boundary Layer Meteorology*. Vol. 115 Number 3, 409-422.
16. King J.C., Argentini S., P. Anderson, 2006. Contrasts between the summertime surface energy balance and boundary layer structure at Dome C and Halley stations, Antarctica. *J. of Geophysical Research* Vol. 3 D02105. (13 pagine).
17. Genthon C., D. Six, V. Favier, S. Argentini. A. Pellegrini, 2010, Meteorological Atmospheric Boundary Layer Meteorological Measurements and ECMWF analyses during summer at Dome C, Antarctica. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 115, D05104, 12 PP., 2010 doi:10.1029/2009JD012741
18. Argentini S. and I. Pietroni. Atmospheric Observations at Dome C, Antarctic Plateau, one of the coldest place in the world. Chapter of the book "ANTARCTICA : THE MOST INTERACTIVE ICE-AIR-OCEAN ENVIRONMENT". Jaswant Singh, H. N. Dutta Eds. Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-61122-815-1, 2011.
19. Loisil R., L. Eymard, N. Amarouche, J.M. Panel, A. Lourançon, A. Matulka, A. Weill, F. Vivier, M. Dechambre, A. Viola, V. Vitale, S. Argentini, H. Kupfer, 2012. BEAR, une station de mesure pour l'océan Arctique. *La Météorologie*, no. 74, 12 pages, 2011, DOI: 10.4267/2042/43878
20. Petenko I., G. Mastrantonio, - Viola A., Argentini S., Pietroni I., 2012. Wavy Vertical Motions in the ABL Observed by Sodar. *Boundary-Layer Meteorology: Volume 143, Issue 1 (2012)*, Page 125-141. Doi:10.1007/s10546-011-9638-9.

21. Pietroni I., S. Argentini, I. Petenko, R. Sozzi, 2012. Measurements and Parameterization of the Atmospheric Boundary-Layer Height at Dome C, Antarctica. *Boundary-Layer Meteorology*: Volume 143, Issue 1 (2012), Page 189-206. [Doi:10.1007/s10546-011-9638-9](https://doi.org/10.1007/s10546-011-9638-9).
22. Argentini S., I. Pietroni, G. Mastrantonio, A. P. Viola, G. Dargaud, I. Petenko. Observations of near surface wind speed, temperature and radiative budget at Dome C, Antarctic Plateau during 2005. *Antarctic Science*, 2013 pag1-9. Doi: 10.1017/S0954102013000382.
23. Argentini S., I. Petenko, A. Viola, G. Mastrantonio, I. Pietroni, G. Casasanta, E. Aristidi, C. Genthon, The surface layer observed by a high-resolution sodar at DOME C, Antarctica *Annals of Geophysics* Vol 56, No 5 (2013). DOI: 10.4401/ag-6347.
24. Petenko I., G. Mastrantonio, A. P. Viola, S. Argentini, I. Pietroni, Some Statistics of Temperature Structure Parameters in the Convective Boundary Layer Observed by Sodars. *Boundary Layer Meteorology.*, 2013. DOI:10.1007/s10546-013-9867-1.
25. Pietroni I., S. Argentini, I. Petenko. One year surface-based temperature inversions at Dome C, Antarctica. *Boundary-Layer Meteorology*. January 2014, Volume 150, Issue 1, pp 131-151, doi 10.1007/s10546-013-9861-7.
26. Casasanta G., I. Pietroni, I. Petenko, S. Argentini. Observed and Modelled Convective Mixing-Layer Height at Dome C, Antarctica. *Boundary-Layer Meteorology*. Volume 151, Issue 3 (2014), Page 597-608. DOI 10.1007/s10546-014-9907-5.
27. Petenko I., G. Mastrantonio, A. P. Viola, S. Argentini, I. Pietroni, Some Statistics of the Temperature Structure Parameter in the Convective Boundary Layer Observed by Sodar *Boundary-Layer Meteorology*: Volume 150, Issue 2 (2014), Page 215-23. DOI 10.1007/s10546-013-9867-1.
28. Petenko I., S. Argentini, I. Pietroni, A. Viola, G. Mastrantonio, G. Casasanta, E. Aristidi, G. Bouchez, A. Agabi E. Bondoux. Observations of optically active turbulence in the planetary boundary layer by sodar at the Concordia astronomical observatory, Dome C, Antarctica. 2014 *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 568, 10 Pages. <http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201323299>.
29. Gallée, H., Preunkert, S., Argentini, S., Frey, M. M., Genthon, C., Jourdain, B., Pietroni, I., Casasanta, G., Barral, H., Vignon, E., and Legrand, M.: Characterization of the boundary layer at Dome C (East Antarctica) during the OPALE summer campaign, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 6225-6236, 2015 <http://www.atmos-chem-phys.net/15/6225/2015/> doi:10.5194/acp-15-6225-2015.
30. Petenko I., S. Argentini, G. Casasanta, M. Kallistratova, R. Sozzi, A. Viola Waves in the Turbulent Layer During the Morning Development of Convection at Dome C, Antarctica.

31. Boundary-Layer Meteorol. DOI: [10.1007/s10546-016-0173-6](https://doi.org/10.1007/s10546-016-0173-6)
32. Vignon, E., Genthon, C., Barral, H. et al. Momentum- and Heat-Flux Parametrization at Dome C, Antarctica: A Sensitivity Study. *Boundary-Layer Meteorol* 162, 341–367 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10546-016-0192-3>.
33. Petenko [I.](#), [S. Argentini](#), G. Casasanta, C. Genthon, M. Kallistratova. Stable Surface-Based Turbulent Layer During the Polar Winter at Dome C, Antarctica: Sodar and In Situ Observations. *Journal Boundary-Layer Meteorology*, 171(1), 101-128. DOI [10.1007/s10546-018-0419-6](https://doi.org/10.1007/s10546-018-0419-6).
34. Cheng Yu; Qi [Li](#), [S. Argentini](#) and P. Gentine. A model for Turbulence Spectra in the Equilibrium Range of the Stable Atmospheric Boundary Layer. *J. Geophys. Research Atmospheres*. <https://doi.org/10.7916/d8-9vba-pn54>
35. Scarchilli, C., Ciardini, V., Grigioni, P., Iaccarino, A., De Silvestri, L., Proposito, M., [Argentini S.](#), [Frezzotti, M.](#) (2020). Characterization of snowfall [estimated](#) by in situ and ground-based remote-sensing observations at Terra Nova Bay, Victoria Land, Antarctica. *Journal of Glaciology*, 66(260), 1006-1023. [doi:10.1017/jog.2020.70](https://doi.org/10.1017/jog.2020.70).
36. Cheng, Y., Li, Q., Grachev, [S. Argentini](#). Power-Law Scaling of Turbulence Cospectra for the Stably Stratified Atmospheric Boundary Layer. *Boundary-Layer Meteorol* 177, 1–18 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10546-020-00545-6>.
37. Petenko, I., G. Casasanta, M. Kallistratova, V. [Lyulyukin](#), C. Genthon, R. [Sozzi](#), [S. Argentini](#). Kelvin–Helmholtz Billows in the Rising Turbulent Layer During Morning Evolution of the ABL at Dome C, Antarctica. *Boundary-Layer Meteorol* 187, 163–192 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10546-022-00781-y>.
38. Casasanta G., M. Conte, A. Cecilia, I. Petenko, S. Argentini. Towards definitive functional forms for Monin–Obukhov similarity functions in stable and very stable surface layers. *Sci Rep* 15, 25632 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10815-3>.