

La scoperta della radiazione penetrante sul mare: l'incontro tra l'oceanografia e la fisica dei raggi cosmici, dagli inizi all'attualità

F.Falcini¹, R.Garra²

¹Department of Earth and Environmental Science
University of Pennsylvania

²Dipartimento di Fisica, Università La Sapienza, Roma



La genesi del problema

1785 Coulomb osserva che un elettroscopio carico, anche se perfettamente isolato, si scarica spontaneamente

1898 Marie e Pierre Curie scoprono il polonio ed il radio, nascono i primi studi sulla radioattività naturale

1900 Elster e Geitel misurano la velocità di scarica di un elettroscopio causata dalla presenza di agenti ionizzanti nell'aria, ipotizzando che gli agenti ionizzanti abbiano in gran parte origine terrestre

1903 Rutherford e Cooke osservano che se l'elettroscopio viene chiuso entro pareti metalliche, una radiazione proveniente dall'esterno è ancora in grado di scaricare lo strumento. Questa viene chiamata "*radiazione penetrante*"




Qual è l'origine della radiazione penetrante ?

- Il suolo?
- Il mare?
- L'atmosfera?
- Lo spazio?

Gli studi sulla ionizzazione dell'aria sono a pieno titolo una branca della geofisica (*elettricità atmosferica*).

Le campagne di misura vengono condotte:

- in aria, con le ascensioni tramite i palloni aerostatici (T. Wulf, V. Hess, A. Gockel)
 - in acqua, nelle campagne oceanografiche
 - in laboratorio, in condizioni di isolamento degli elettroscopi (università di Toronto, Cline e Thompson)
- 

Perché fare le misure in mare?

- Elster e Geitel (1903) osservano che la gran parte della radioattività in atmosfera è legata all'emanazione di radio e torio presenti nel suolo terrestre
- I lavori di Eve (1907) sulla radioattività naturale forniscono calcoli precisi sulle concentrazioni di agenti ionizzanti prodotti dalla terra.
- Se l'origine della radiazione penetrante è terrestre, l'effetto ionizzante dovrebbe essere attenuato sopra alla superficie del mare.
- Le quantità dovrebbero essere fortemente attenuate ad una certa altezza dal suolo o sotto alla superficie del mare per le leggi di assorbimento dell'acqua e dell'aria.
- Per testare l'ipotesi sull'origine della radiazione penetrante le misure in mare sono un importante laboratorio



Le campagne di misura in mare nei primi dodici anni del '900

Nei primi dodici anni l'attività di ricerca sulle radiazioni penetranti non è ancora molto intensa, per questo alcuni dei risultati sono pioneristici.

Tra le più significative:

- La campagna dall'Inghilterra alla Nuova Zelanda organizzata dal Capitano Scott sulla Terra Nova (1910-11)
- Le campagne organizzate dall'Istituto Carnegie sull'omonima nave (1909-1912)
- Le campagne organizzate dall'Ufficio Centrale di Meteorologia sul Golfo Ligure (1907), sul mar Tirreno ed il lago di Bracciano (1911)



La missione sulla Terra Nova



Foto della Terra Nova (fonte: Wikipedia)

Nella storica spedizione antartica organizzata dal Capitano Scott, vengono effettuate misure di ionizzazione dell'aria. Fa parte della spedizione, tra gli altri, il fisico C.S. Wright, già studioso dei problemi di elettricità atmosferica nel laboratorio della Toronto University ed autore delle prime misure sulle radiazioni penetranti in acqua sul lago Ontario.



Foto di Charles Wright (fonte: Wikipedia)

Simpson e Wright (1911) concludono dalle misure effettuate durante la campagna:

It has been found that a considerable addition to the normal ionisation, as measured on the ship, may be contributed by radioactive products deposited on the ship, and due primarily to a high value for the radium-content of the air.

- All'infuori dell'azione diretta del terreno si osservano oscillazioni rilevanti nei valori della radiazione penetrante
- Tuttavia Simpson e Wright attribuiscono le anomalie e la ionizzazione residua alle particelle attive depositate sulla nave quando questa si trovava in vicinanza della costa.



- ▶ Foto della nave Belgica ancorata a Mount William nella penisola Antartica (fonte: http://www.coolantarctica.com/Antarctica%20fact%20file/History/antarctic_ships/belgica.htm)

Il caso della *Terra Nova*, non è l'unico tra le spedizioni antartiche dotate di elettrometri di Elster e Geitel, su cui vengono svolte misure di ionizzazione dell'aria. Ad esempio sulla nave *Belgica*, vengono effettuate misure di elettricità atmosferica sul mare di Kara, la porzione del mar Glaciale Artico al nord della Siberia.

Tuttavia tra i numerosi rapporti provenienti dalle spedizioni antartiche, le misure più accurate che confermano la presenza di una radiazione residua inattesa, sono quelle di Simpson e Wright sulla *Terra Nova*.

Le campagne dell'Istituto Carnegie

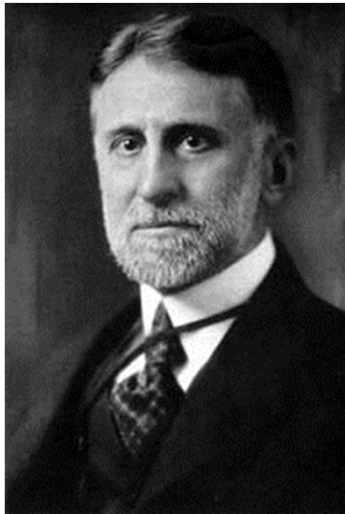


Foto di Louis Agricola Bauer (1865-1932) (fonte: <http://library.gi.ciw.edu/ocean/background/bauer.htm>)

Sotto la direzione di Louis Bauer, l'Istituto Carnegie di Washington, fondato nel 1902, diventa un centro propulsore nella ricerca sul geomagnetismo e l'elettricità atmosferica.

Per iniziativa di Bauer nasce nel 1896 la rivista *Terrestrial Magnetism*, che dal 1899 si chiamerà *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, e attualmente *Journal of Geophysical Research*.

Sulla neonata rivista escono numerosi articoli sull'origine della radiazione penetrante, con i contributi di Hess, Elster, Geitel,...

TERRESTRIAL MAGNETISM AND ATMOSPHERIC ELECTRICITY AN INTERNATIONAL QUARTERLY JOURNAL

Conducted by
L. A. BAUER,
Department Terrestrial Magnetism, Carnegie Institution,
Washington, D. C.

With the Assistance of

J. S. AMES Johns Hopkins University, Baltimore	G. W. LITTLEHALES Hydrographic Office, Washington
J. ELSTER Wolfenbüttel, Germany	TH. MOUREAUX Observatoire, Parc St. Maur
R. L. PARIS Coast and Geodetic Survey, Washington	H. F. REID Johns Hopkins University, Baltimore
J. A. FLEMING Carnegie Institution, Washington	ADOLF SCHMIDT Magnetisches Observatorium, Potsdam
H. GEITEL Wolfenbüttel, Germany	A. SCHUSTER Owens College, Manchester

Councillors

E. MASCART France	M. RYKATCHEW Russia
A. W. RÜCKER England	R. S. WOODWARD United States, N. A.

VOLUME XIII
MARCH—DECEMBER, 1908

THE JOHNS HOPKINS PRESS
BALTIMORE, MARYLAND
1908

Le campagne della *Carnegie* e della *Galilee*

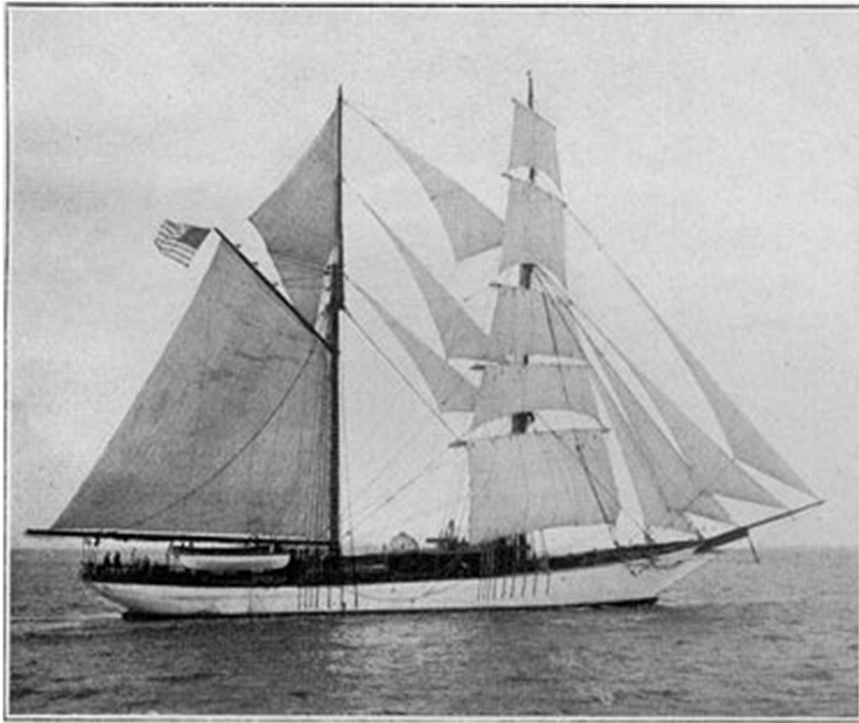


Foto della *Carnegie* (fonte: *Terr. Magn and Atm. Elect*, XVI, 4, (1911))

Le due navi del Carnegie Institute, la *Carnegie* e la *Galilee*, svolgono numerose campagne in tutto il mondo. Il focus operativo è rivolto alla mappatura del campo magnetico terrestre, ma vengono svolte anche misure di ionizzazione atmosferica.

Le conclusioni dalle misure svolte sull'Oceano Pacifico e Atlantico, non aggiungono molto alla comprensione dell'origine delle radiazioni penetranti. Ad esempio E. Kidson (1908) conclude che: (...) *I am inclined to think that the land is the chief source of the radioactive matter in sea air. (..) The absence of thorium emanation would tend to confirm this theory.*

Il contributo italiano: le misure in mare di Domenico Pacini



Foto di Domenico Pacini (fonte: G.B. Rizzo, *Nuovo Cimento*, 11, (1934))

In Italia, il fisico Domenico Pacini (1878–1934), svolge misure di ionizzazione atmosferica in nave, sul cacciatorpediniere *Fulmine*.

- Nel 1907 nel Golfo Ligure sulla superficie del mare
- Nel Giugno del 1911 a Livorno effettua misure in profondità a 3 metri dalla superficie
- Nell'Ottobre del 1911 sul Lago di Bracciano, effettua ancora misure in profondità

L'idea: se l'origine della radiazione penetrante non è terrestre, allora si osserverà un'attenuazione per assorbimento se lo strumento viene immerso in profondità nell'acqua



Foto della nave *Fulmine* nel porto di Santa Margherita
(fonte: L. Palazzo, *Boll. Soc. Aeronautica It.*, 13, (1908))

Nonostante Pacini lamenti esplicitamente l'arretratezza dell'Italia nella ricerca sull'elettricità atmosferica, i suoi lavori sono ben noti agli studiosi internazionali, tra cui V. Hess. Dalle misure in profondità, Pacini conclude (Pacini, 1912):

Le osservazioni eseguite sul mare nel 1910 mi conducevano a concludere che una parte non trascurabile della radiazione penetrante che si riscontra nell'aria, avesse origine indipendente dall'azione diretta delle sostanze attive contenute negli strati superiori della crosta terrestre.

Le conclusioni dagli studi sulle radiazioni penetranti in mare

- Dalle misure sulla superficie del mare si osserva che all'infuori dell'azione diretta del terreno si osservano oscillazioni rilevanti nei valori della radiazione penetrante e la presenza di una ionizzazione residua di origine ignota (Wright, Pacini)
- Dalle misure in profondità (Pacini), si osserva che la quantità di radiazione penetrante è attenuata per l'effetto schermante dell'acqua, fornendo un argomento importante a favore dell'origine esterna di questo tipo di radiazione



La scoperta dei raggi cosmici: la misura di Victor Hess (1912)



Foto dell'ascensione in mongolfiera di Victor Hess (fonte: A. DeAngelis, La Rivista del Nuovo Cimento, 12, (2011))

Gli esperimenti decisivi per la scoperta dell'origine esterna della radiazione penetrante sono quelli dell'austriaco Victor Hess, con le misure in quota nell'atmosfera. Tra il 1911 ed il 1912, svolge diverse ascensioni fino a 5300 metri di quota.

I risultati mostrano che la radioattività cresce oltre i 3000 metri, confutando definitivamente l'ipotesi per cui la radiazione penetrante ha origine esclusivamente terrestre.

Grazie a questa scoperta, si moltiplicano enormemente gli studi su quelli che verranno chiamati raggi cosmici da Robert Millikan nel 1925.

Per la sua scoperta Victor Hess riceverà il Premio Nobel per la Fisica nel 1936.

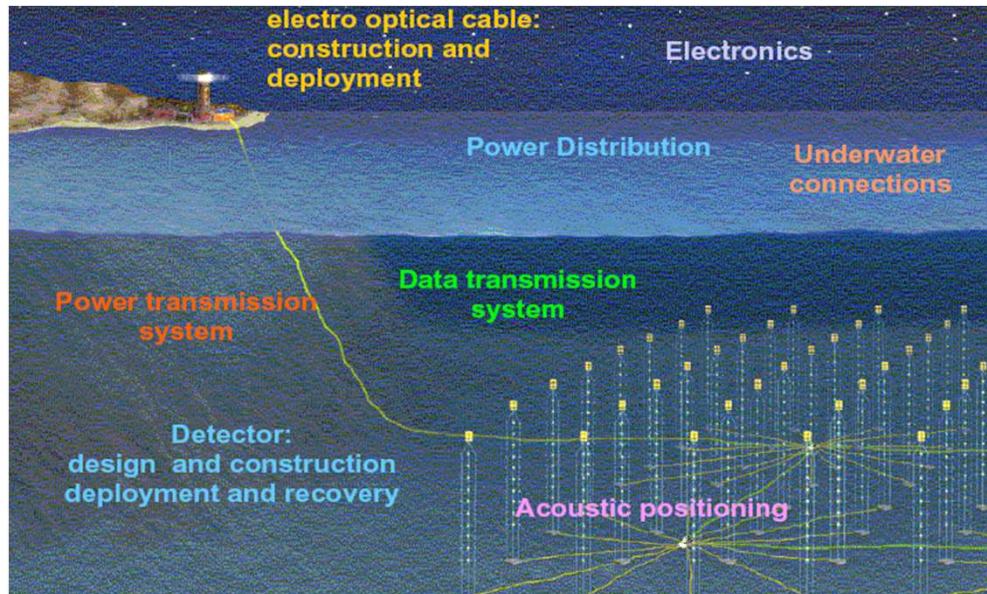
La ricerca sui raggi cosmici nell'INGV



Edoardo Amaldi, Gilberto Bernardini e Ettore Pancini al laboratorio della Testa Grigia, al Plateau Rosa sopra Cervinia, a 3500 metri sul mare (fonte: G. Battimelli, <http://matematica-old.unibocconi.it/battimelli/foto.htm>)

Dopo la scoperta dell'origine esterna della radiazione penetrante, si moltiplicano gli studi. Parallelamente allo sviluppo della ricerca sulla fisica delle particelle elementari, gli studi sui raggi cosmici costituiscono una branca ormai completamente distinta dalla geofisica. Tuttavia l'incontro e lo scambio tra la geofisica e la fisica dei raggi cosmici restano saldi nei primi anni di vita del neonato Istituto Nazionale di Geofisica, fondato nel 1938 da Antonino Lo Surdo. Alcuni dei più importanti ricercatori della scuola italiana di raggi cosmici, tra cui Gilberto Bernardini, Ettore Pancini, Oreste Piccioni, Giancarlo Wick, pubblicano sulle *Pubblicazioni dell'Istituto Nazionale di Geofisica (PING)*, i risultati delle loro ricerche finanziate dall'Istituto diretto da Lo Surdo.

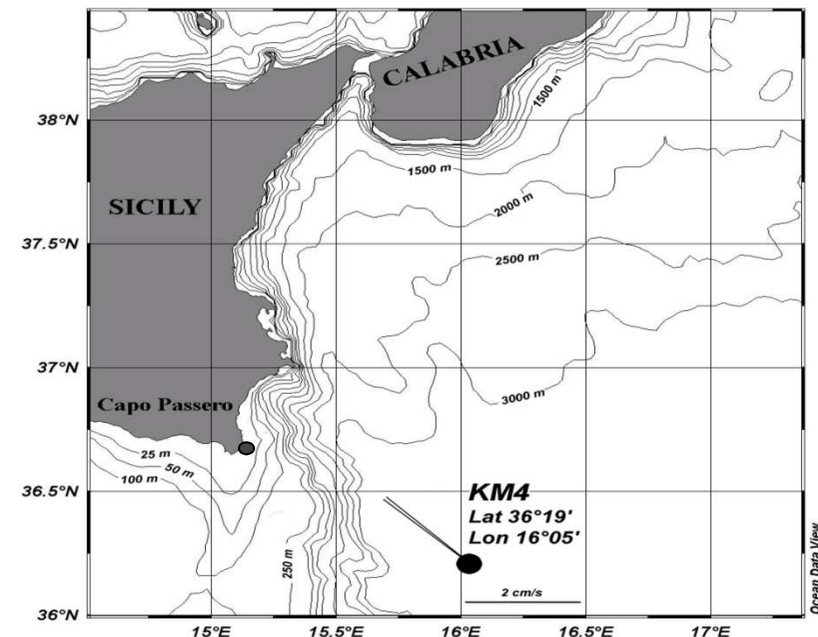
L'attualità dell'incontro tra oceanografia e fisica dei raggi cosmici: NEMO



From *indico.nucleares.unam.mx*

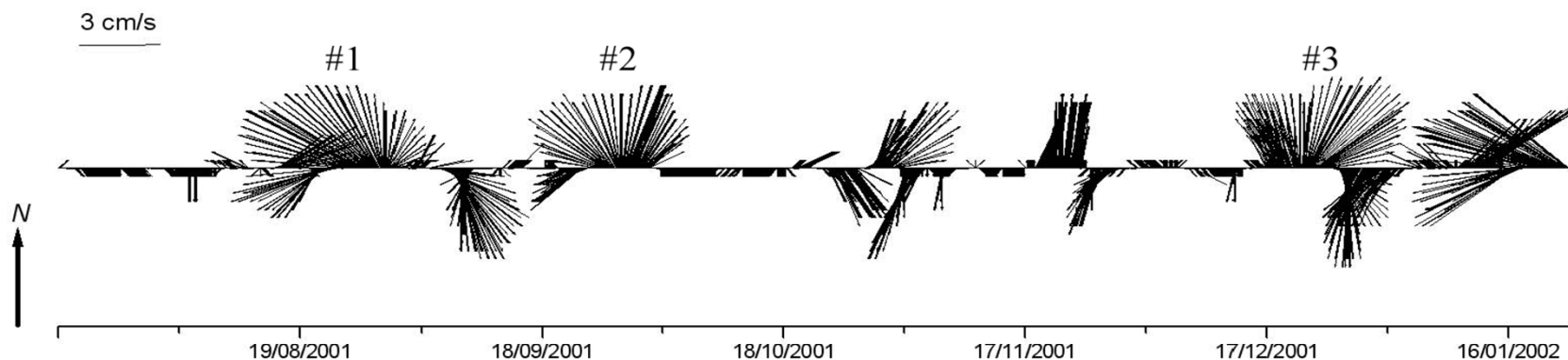
Le profondità oceaniche permettono la costruzione di grandi apparati di rilevamento per neutrini. Tali siti devono inoltre essere caratterizzati da un basso assorbimento della luce e da correnti marine deboli e regolari. A questo fine, il progetto Neutrino Mediterranean Observatory (NEMO) ha svolto indagini a lungo termine per monitorare le correnti abissali nel sito KM4.

I Neutrini sono particelle di raggi cosmici generati ed accelerati da sorgenti galattiche ed extragalattiche. L'interazione con la massa della Terra permette il loro rilevamento attraverso specifici telescopi che devono essere sufficientemente isolati da altre particelle elementari

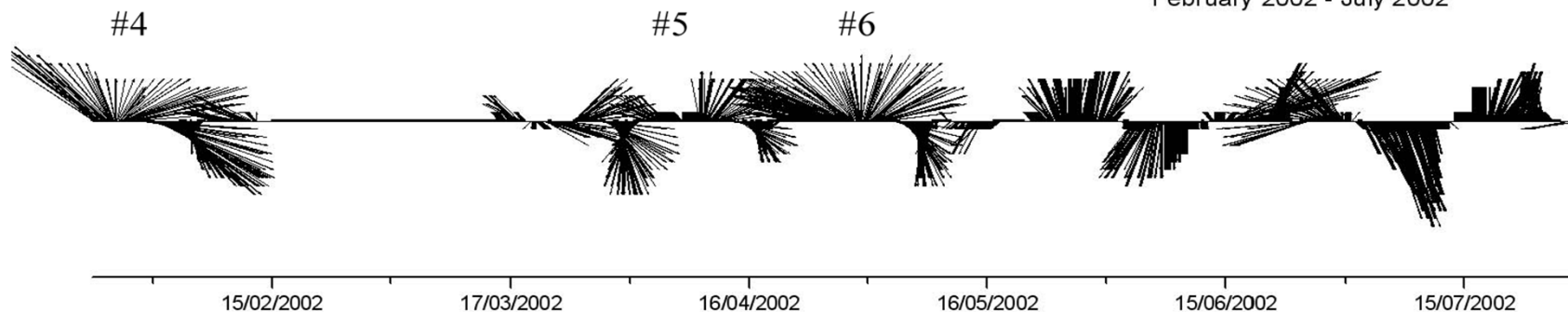


Le osservazioni correntometriche hanno messo in luce, per la prima volta nei fondali del Mar Ionio, l'esistenza di vortici abissali.

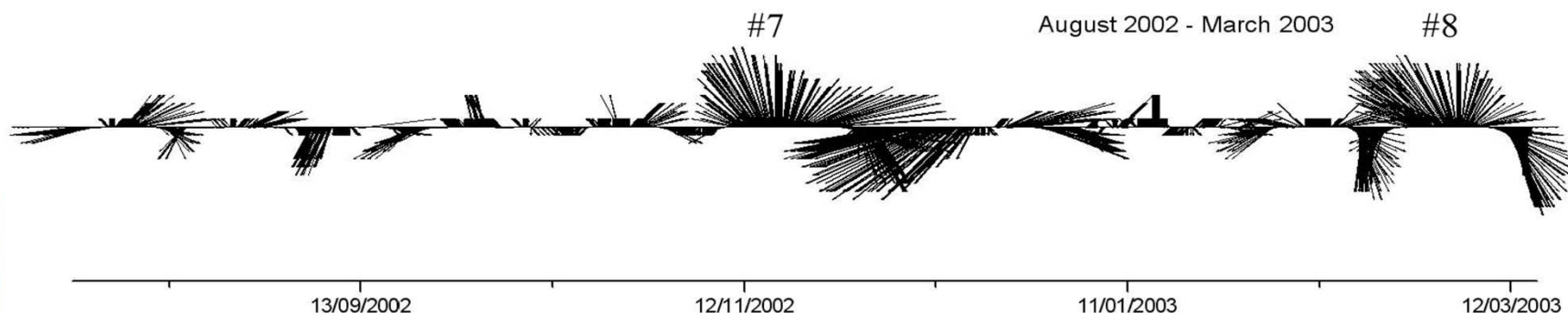
July 2001 - January 2002



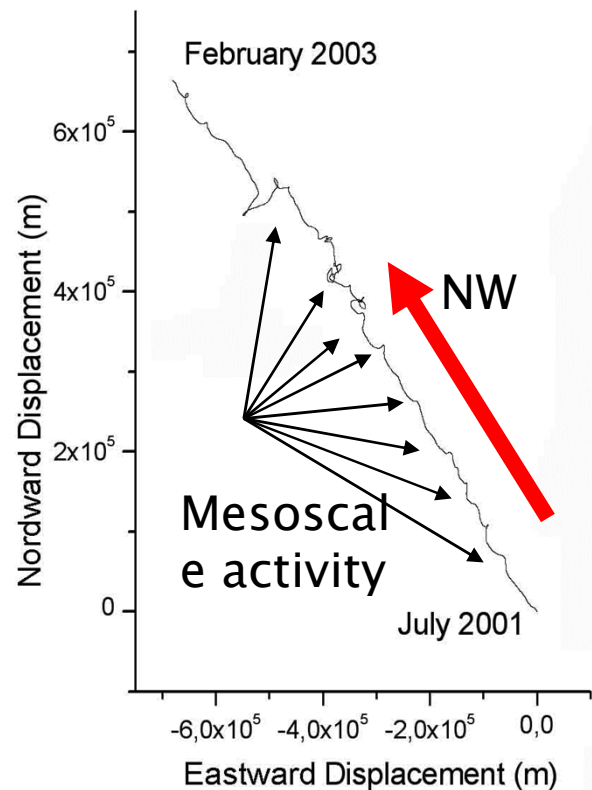
February 2002 - July 2002



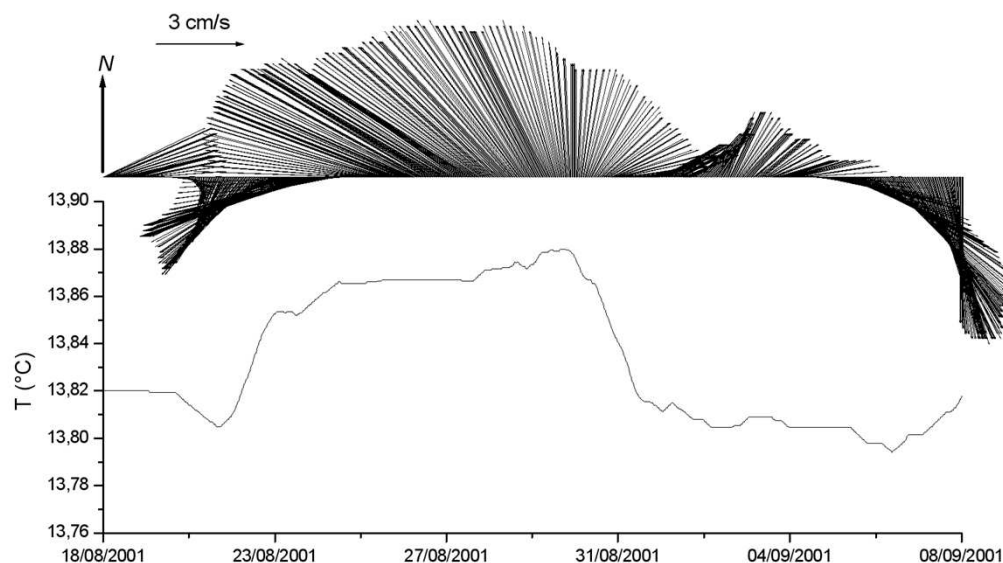
August 2002 - March 2003



Le dinamiche osservate mettono in luce il passaggio alternato di cicloni ed anti-cicloni, trasportati verso NW da una corrente di fondo di ~ 1.9 cm/s.



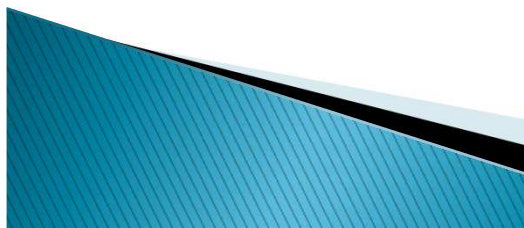
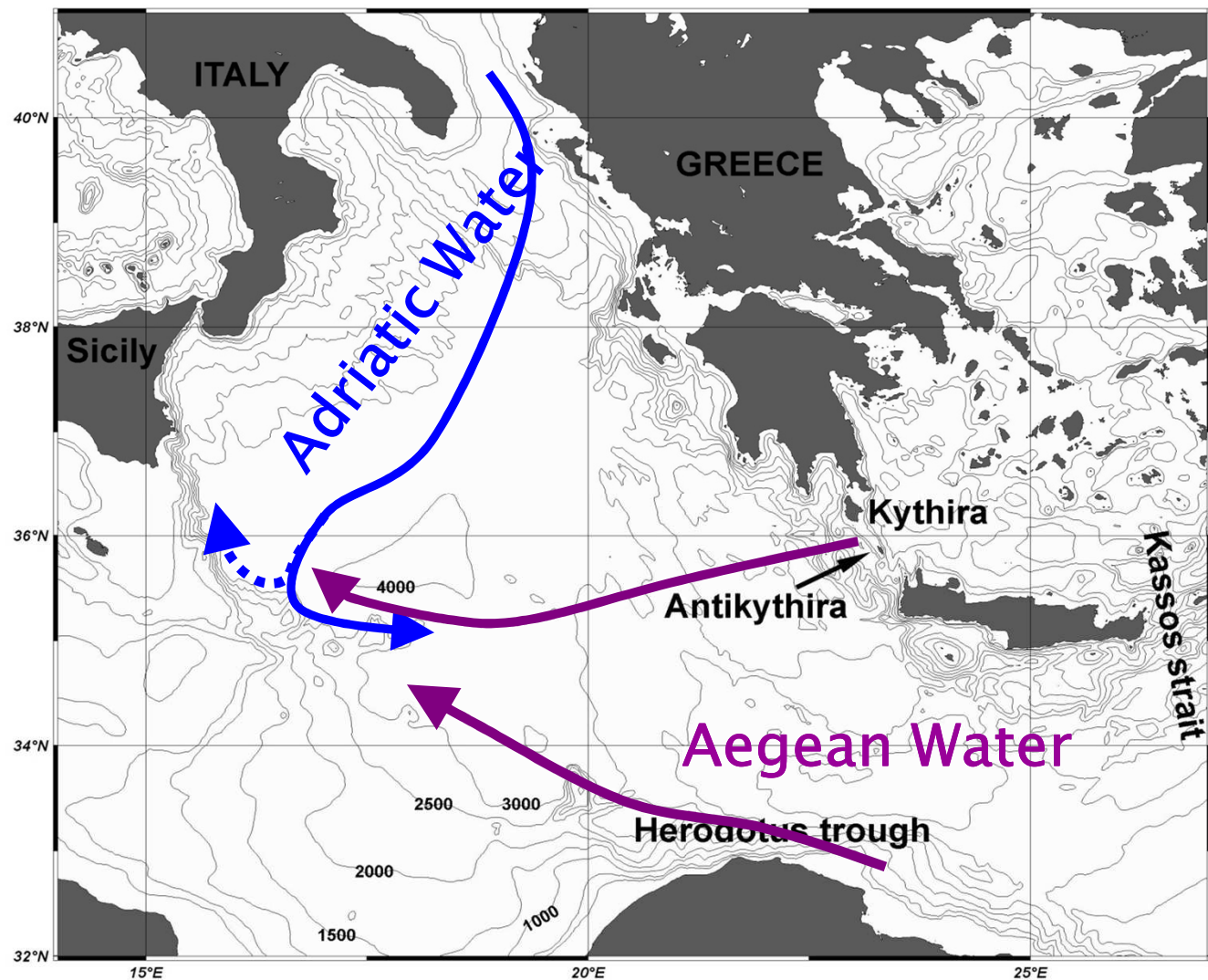
Il nucleo dei cicloni risulta esser sistematicamente più caldo.



Una volta generati, tali vortici a mesoscala possono viaggiare per considerevoli distanze, preservando la loro struttura coerente. La presenza di tali vortici nei settori più profondi del Mar Ionio aggiunge un' ulteriore complessità nelle discussioni sull'evoluzione delle masse d'acqua nel Mediterraneo Orientale.

I vortici sarebbero costituiti da acqua di origine adriatica immessa nel bacino ionico attraverso lo stretto di Otranto (Rubino et al., 2011). Altre interpretazioni suggeriscono un'origine egea, ipotizzando un passaggio attraverso lo stretto di Antikythira (Bouche' et al., 2009).

La ricerca congiunta tra differenti discipline, come la fisica delle particelle e l'oceanografia fisica, può portare a nuove conoscenze: in questo caso la ricerca di particelle elementari ha permesso la scoperta di vortici "elementari" profondi nel Mar Ionio.



Riferimenti bibliografici:

- [1] E. Rutherford, A. Cooke, Penetrating radiation from the Earth's surface, *Phys Rev*, XVI (3), p. 184,(1903),
- [2] C.S. Wright, G.C. Simpson, Atmospheric Electricity over the Ocean, *Proc. R. Soc. Lond. A* 10, p.175–199, (1911),
- [3] E. Kidson, Atmospheric electricity observations on the first cruise of the “Carnegie”, *Terrestrial magnetism and atm. Electricity*, XV, 2, p. 83–91, (1909),
- [4] H.F. Johnston, Atmospheric electricity observations taken on the Belgica in 1907 during the Duke of Oleans’Arctic cruise, *Terrestrial magnetism and atm. Electricity*, X, p.54 (1907),
- [5] Guerra, F. and Robotti, N., La scoperta dei raggi cosmici: Domenico Pacini', *Lezione alla Scuola di Dottorato di Otranto*, (2007).
- [6] A. De Angelis, Domenico Pacini, uncredited pioneer of the discovery of cosmic rays, *La Rivista del Nuovo Cimento*, 12, p. 1–47 (2011),
- [7] D. Pacini, Sulla radioattività indotta dell’atmosfera nel Golfo Ligure, *Nuovo Cimento*, XV, p. 24–28, (1908),

- [8] L. Palazzo, Gli esperimenti aerologici del luglio 1907 nel Golfo Ligure, Boll. Soc. Aeronautica It., 13, p.5–13, (1908),
- [9] D. Pacini, La radiazione penetrante alla superficie ed in seno alle acque, Nuovo Cimento, VI/3, p. 93–100 ,(1912),
- [10] F.F. Martin, G. Calcara, *Per una storia della geofisica italiana*, Springer (2010)
- [11] V. Bouchè, F. Falcini, E. Salusti, Coherent abyssal eddies observed over the KM4 site from a single mooring in the Ionian Sea (Central Mediterranean Sea), CIESM Workshop Monographs n°38, 107–113 (2009)
- [12] Capone A., NEMO: a project for a Km³–scale neutrino telescope in the Mediterranean Sea near the south Italy coast. In: *Developments in Marine Technology*, vol. 12, p. 121–129, (2002)

