

L'importanza della biogeochimica per valutare gli effetti del cambiamento climatico sull'ecosistema antartico

Paola Rivaro

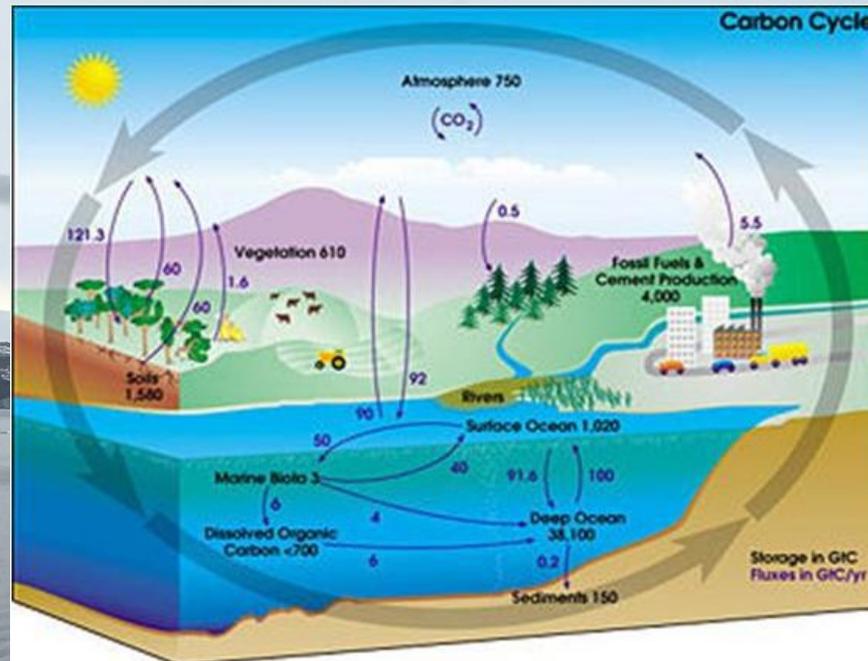
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale



Università
di Genova

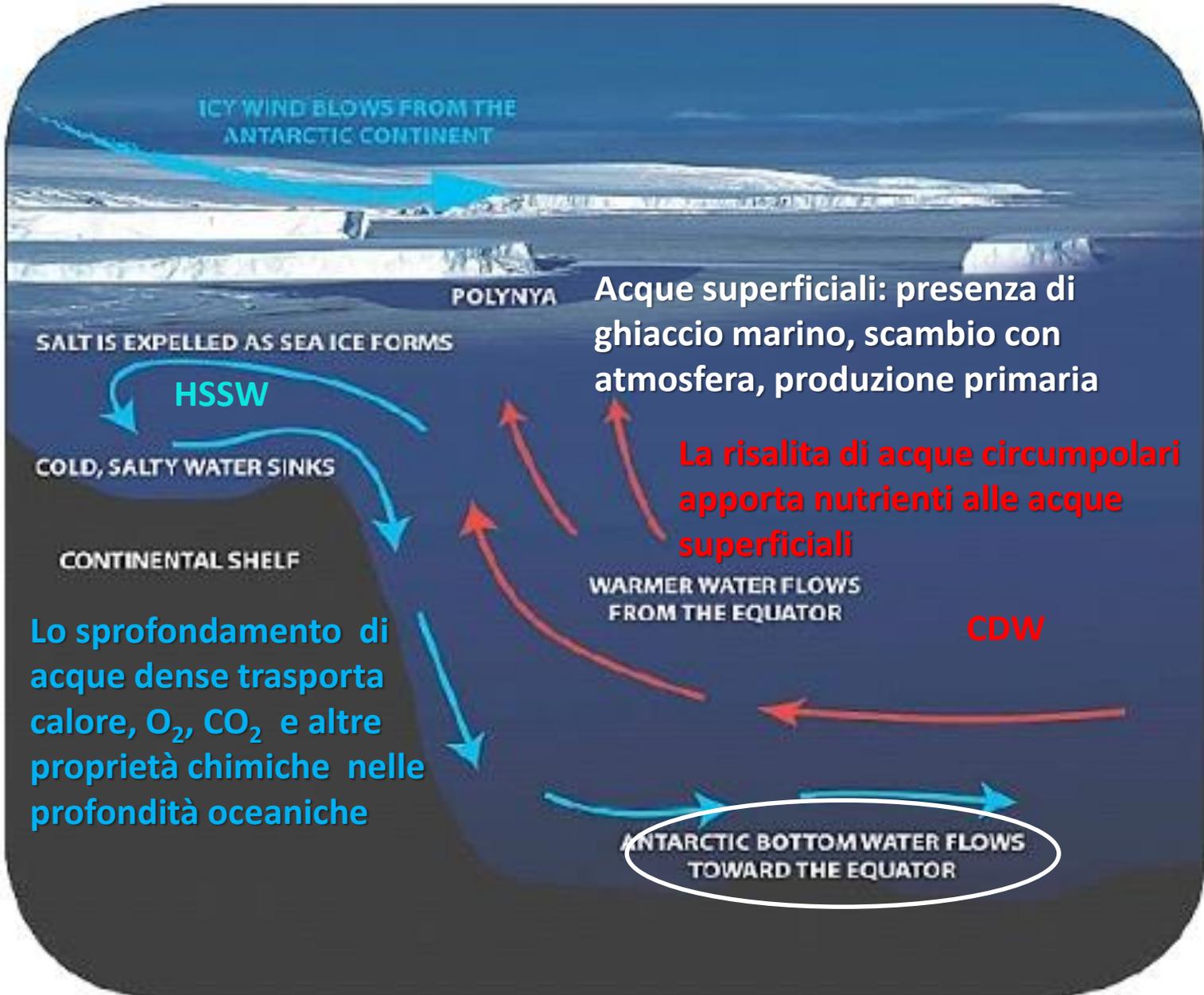


Biogeochimica = il ciclo degli elementi chimici attraverso i sistemi viventi e il loro ambiente tramite processi fisici, chimici, biologici e geologici.

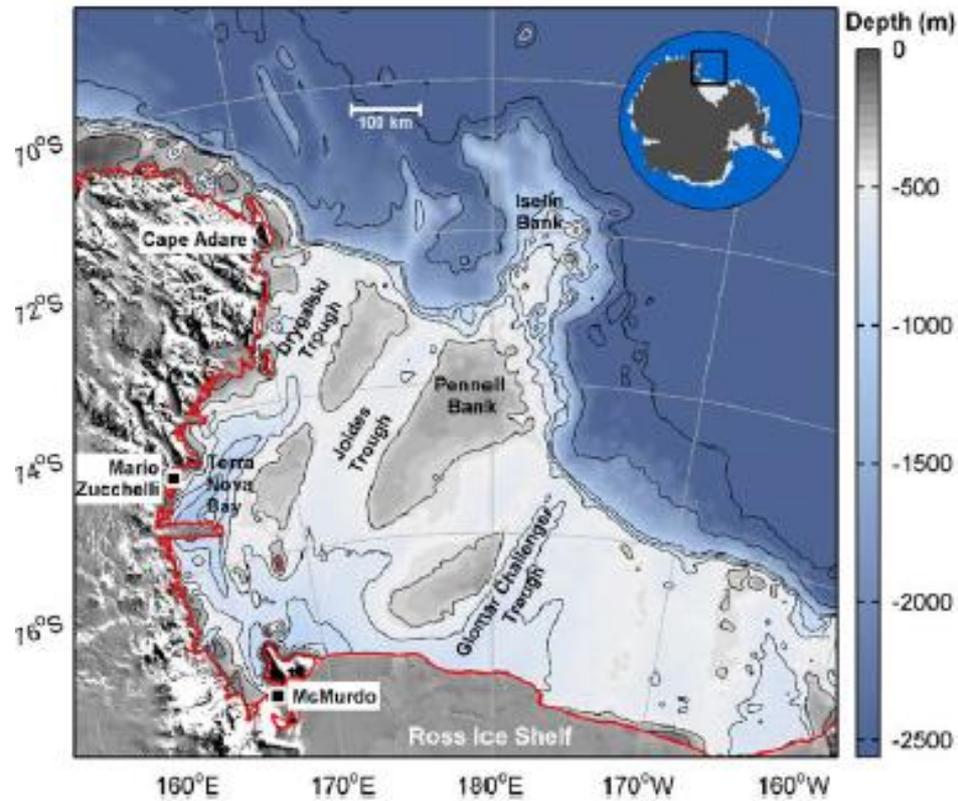


I cicli biogeochimici del carbonio, dei nutrienti (composti di N, P e Si) e dei metalli in tracce (Fe) hanno forti implicazioni per il funzionamento di un ecosistema e per gli scambi di gas tra atmosfera e oceano.

Le proprietà chimiche sono controllate dalle caratteristiche fisiche e dalla dinamica delle masse d'acqua e dalle attività biologiche



Il Mare di Ross è una delle aree più studiate dell'Oceano Meridionale:



1. Le acque della piattaforma continentale sono **tra le più produttive dell'Oceano Meridionale** (produzione primaria annua $\sim 23.4 \pm 9.98 \text{ Tg C a}^{-1}$);
2. E' un importante **sito di formazione** di masse d'acqua;
3. E' una delle più importanti **zone pozzo per il CO₂ atmosferico e altri gas clima alteranti**.

CLIMA

1994-2009

T-REX

2012-2014

ROME

2014-2016

CELEBER

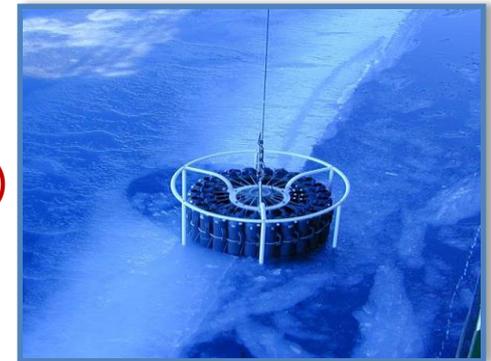
2017-2019

ESTRO

2019-2021

Il nostro contributo allo studio della biogeochimica del Mare di Ross:

1. Ossigeno disciolto (O_2) e nutrienti
2. Clorofluorocarburi (CFC 11, 12, 113)
3. Parametri del carbonio inorganico (C_T , A_T , pH, pCO_2 , Ω)
4. Micronutrienti (Fe e Cu).

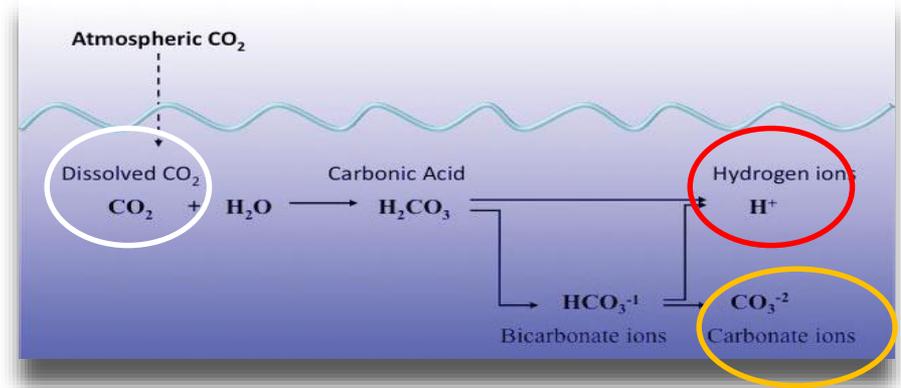
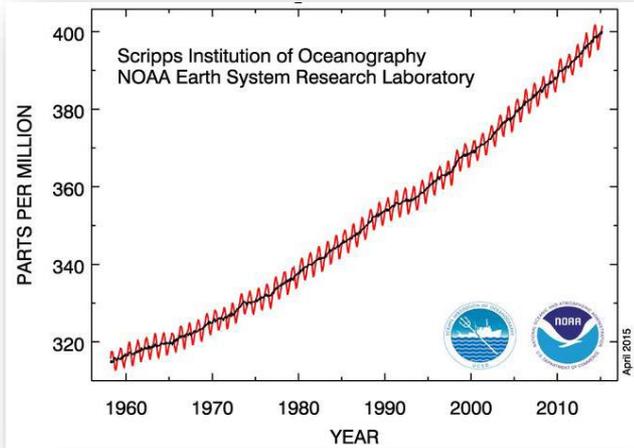


Allo scopo di:

1. Identificare i siti di recente ventilazione delle acque profonde e le loro trasformazioni lungo la scarpata continentale;
2. Stimare tempi di spostamento delle masse d'acqua profonde;
3. Valutare la capacità di assorbimento del CO_2 ;
4. Studiare il ruolo del Fe nella regolazione dell'assimilazione dei nutrienti e nello sviluppo algale.

La comprensione delle **forzanti fisiche e biologiche che determinano il sistema del carbonio inorganico** è di particolare importanza per:

- ✓definire le condizioni attuali;
- ✓valutare la futura variazione associata al cambiamento climatico.



Aumento di CO₂ atmosferico → maggiore assorbimento di CO₂ in acqua
→ variazione degli equilibri chimici:

- ✓Diminuzione del **pH (acidificazione oceanica)**
- ✓Diminuzione del **grado di saturazione (Ω) di calcite e aragonite**

Il Mare di Ross è vulnerabile per:

- ✓maggiore solubilità del CO₂ in acque fredde
- ✓bassa alcalinità totale = bassa capacità tampone

$$\Omega = \frac{[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}]}{K_{sp}}$$

Cosa possiamo misurare per capire come le acque oceaniche si stanno comportando rispetto all'acidificazione oceanica?

pH

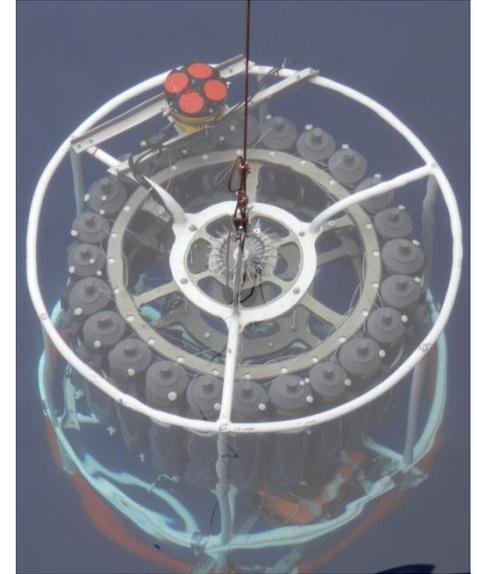
Alcalinità totale (ovvero la concentrazione delle basi)

Carbonio inorganico disciolto ($\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$)

Pressione parziale CO_2

e dai loro valori ricavare i dati di parametri accessori:

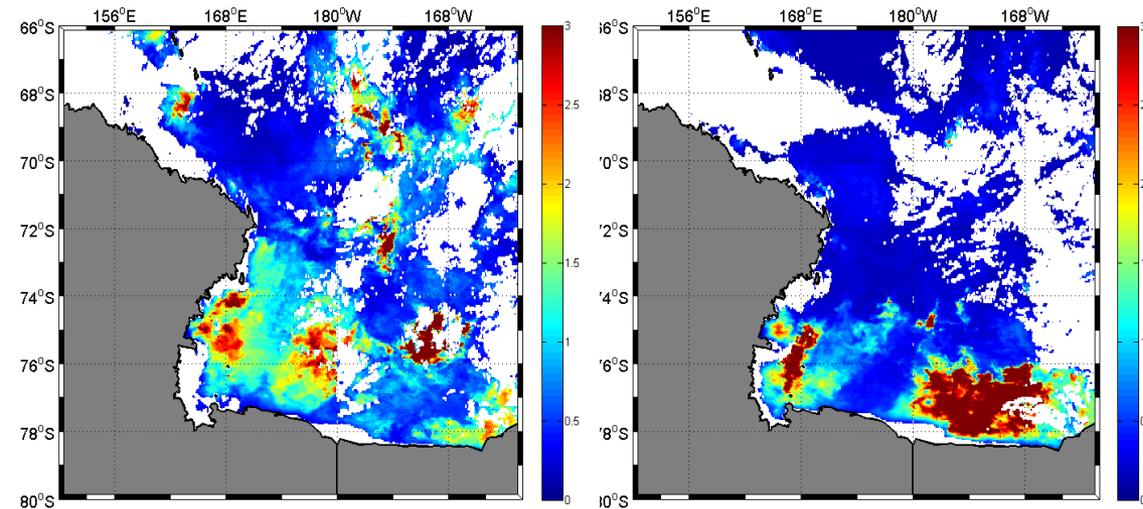
Stima della concentrazione di CO_2 antropico



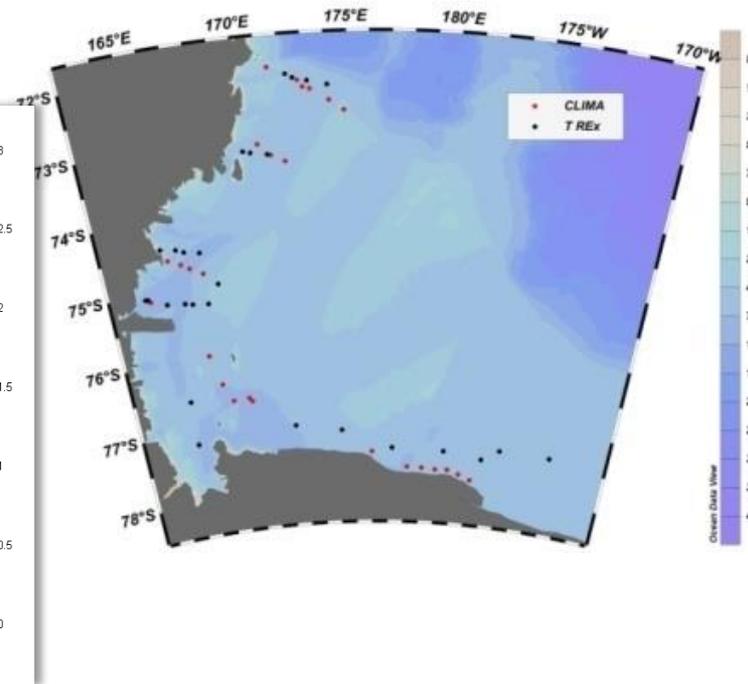
$$\Omega = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}{K_{\text{sp}}}$$



2006- 2012 CLIMA VS T-REX : VARIABILITÀ A LARGA SCALA SPAZIALE



Monthly mean satellite Chl-a in 2006 and 2012
(Aqua MODIS product from 4 km Level 3)

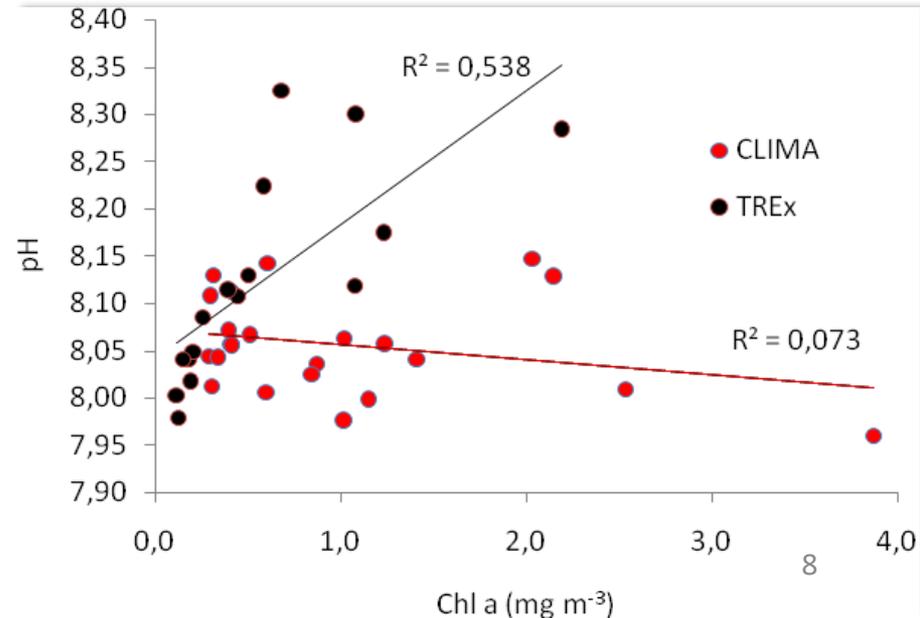


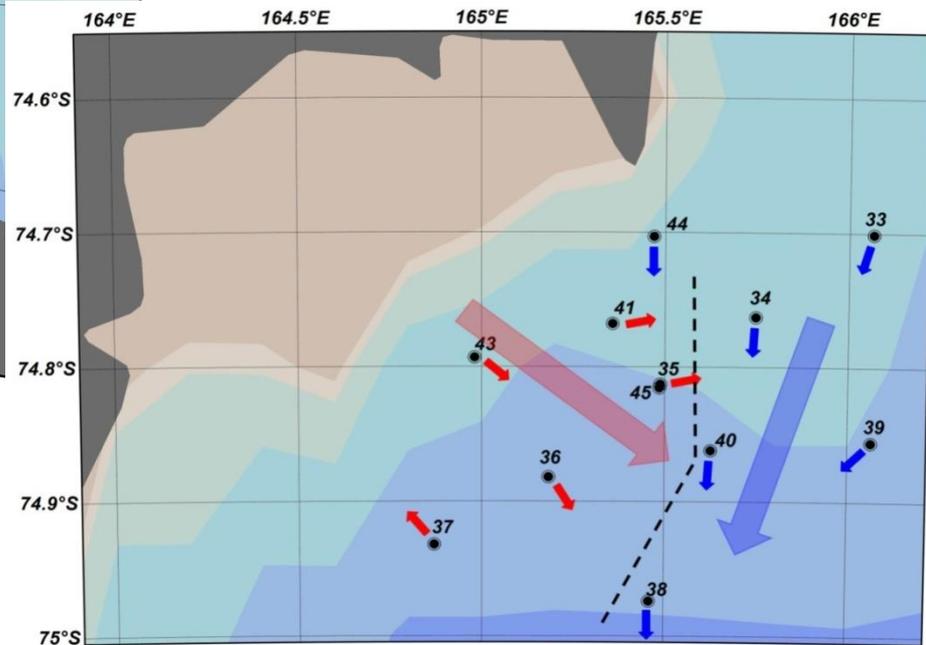
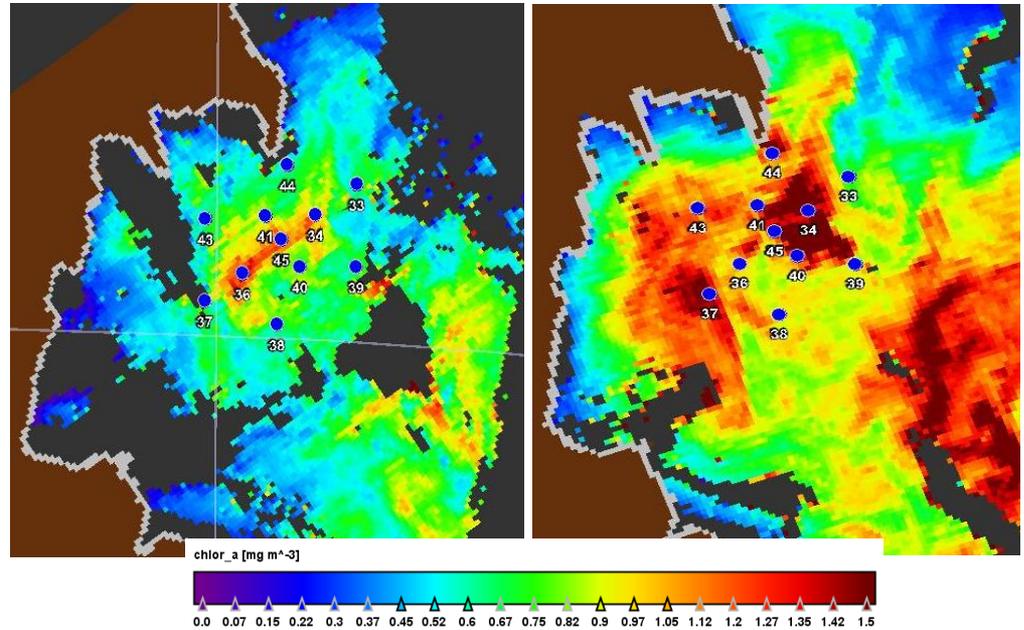
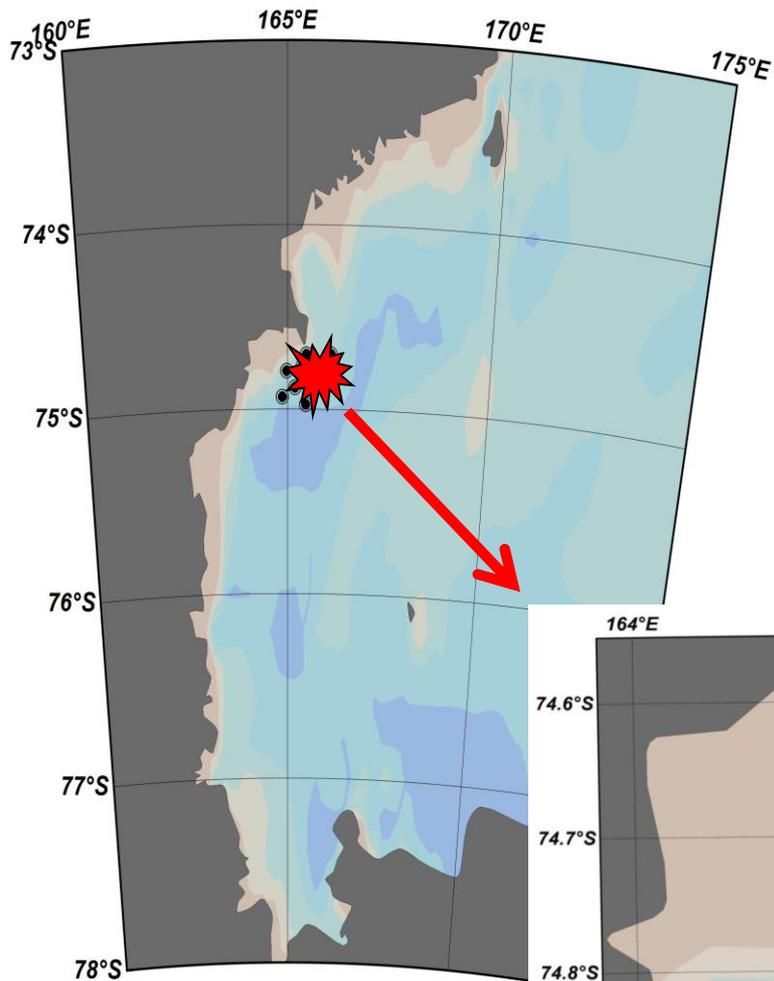
2006 CLIMA:

Il ghiaccio marino ha controllato **direttamente** la distribuzione dei

2012 T-REX:

Il ghiaccio marino ha controllato **indirettamente** la distribuzione dei parametri chimici, favorendo lo sviluppo del fitoplancton





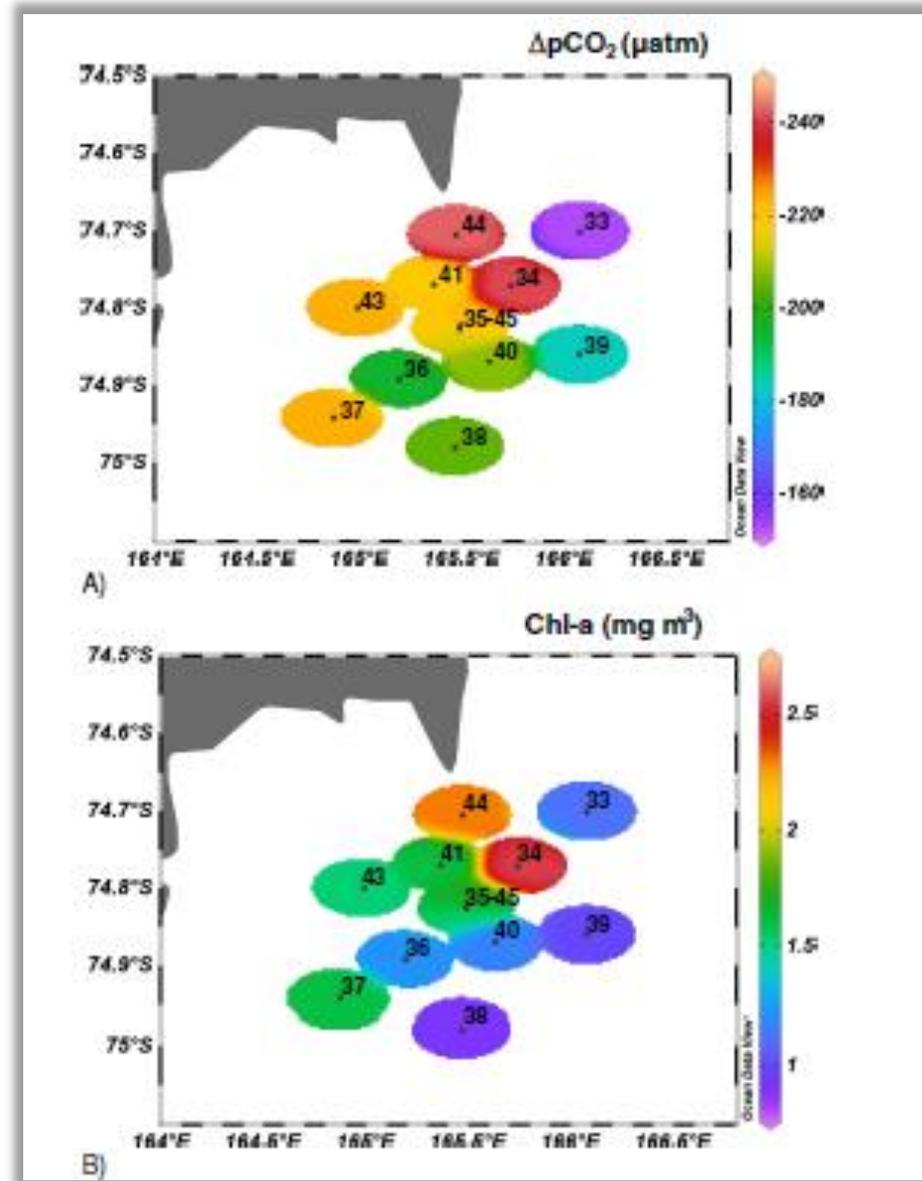
Ocean Data View



La differenza di pressione del CO_2 tra atmosfera e acqua ($\Delta p\text{CO}_2$) negativa

→ **trasferimento di CO_2 dall'atmosfera alle acque.**

La distribuzione del $\Delta p\text{CO}_2$ era coerente sia con i dati MODIS sia con le misure *in situ* di Chl-a suggerendo che **l'attività fotosintetica** fosse la principale forzante della **variabilità del sistema del carbonio inorganico.**



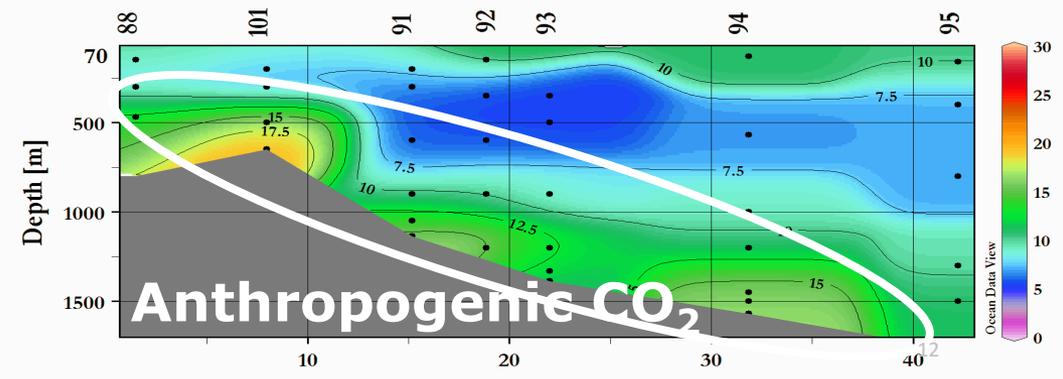
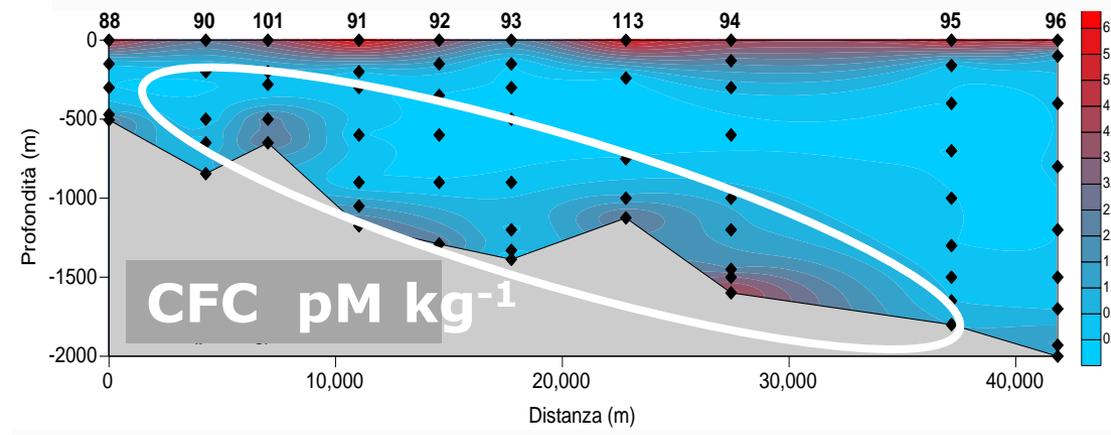
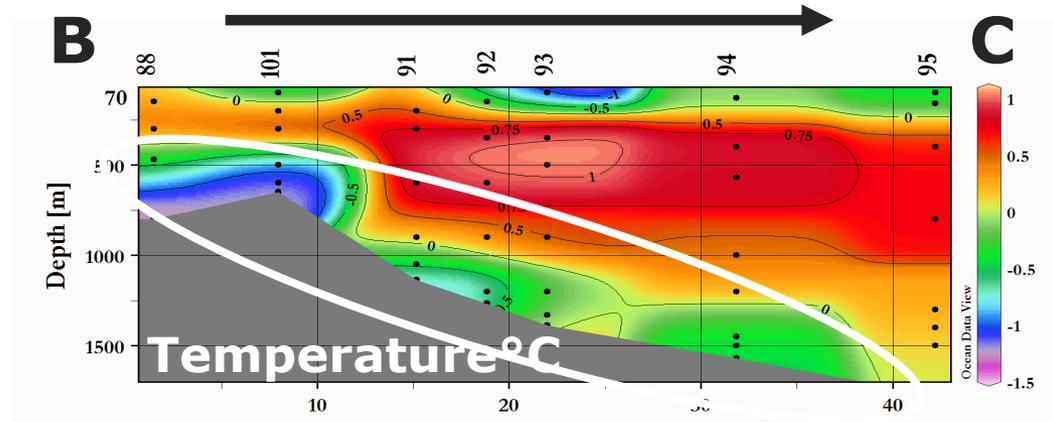
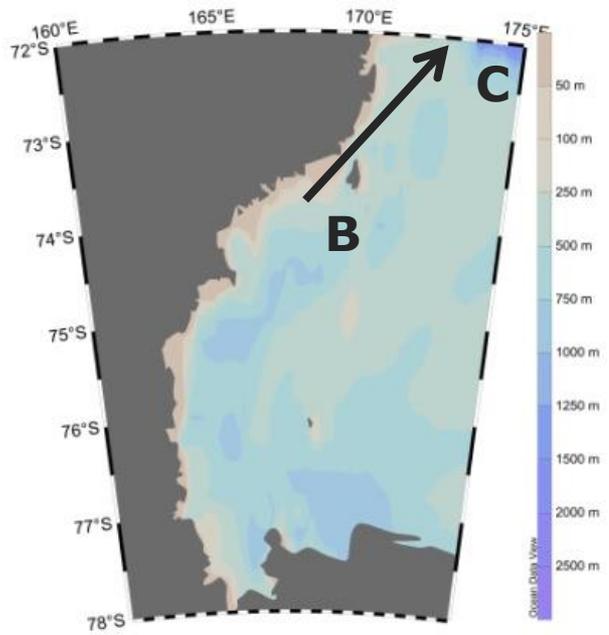
2006- 2017 DA CLIMA A CELEBER: VARIABILITÀ TEMPORALE

AASW	Valore	2006	2008	2012	2014	2017
pH	minimo	8,01	8,03	7,93	8,05	8,01
	max	8,19	8,17	8,17	8,42	8,26
	media	8,08	8,10	8,02	8,24	8,21
	dev.std	0,07	0,07	0,09	0,11	0,06
Ω_{Ar}	minimo	1,10	1,30	1,10	1,40	1,30
	max	1,90	1,80	1,80	3,10	2,30
	media	1,50	1,57	1,36	2,24	2,01
	dev.std	0,24	0,25	0,26	0,54	0,24

HSSW	Valore	2006	2008	2012	2014	2017
pH	minimo	7,99	8,00	7,98	7,97	7,97
	max	8,02	8,03	8,01	8,01	8,01
	media	8,01	8,01	7,99	7,98	7,99
	dev.std	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Ω_{Ar}	minimo	1,1	1,1	0,8	1,0	1,0
	max	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	media	1,2	1,2	1,0	1,1	1,1
	dev.std	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1



Nelle acque profonde si evidenzia la presenza di C antropogenico ($\text{CO}_{2\text{ant}}$)



I maggiori valori di $\text{CO}_{2\text{ant}}$ sono stati ritrovati nelle acque recentemente ventilate \sim CFC



Ferro negli oceani

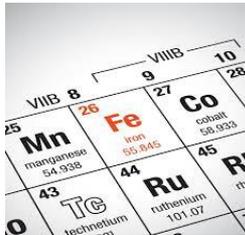
Elemento in tracce più studiato in acqua di mare perché essenziale per molti processi vitali di organismi batterici e algali:

N₂ fixation

Biosynthesis of Chl

e⁻ transport

NO₃ reduction



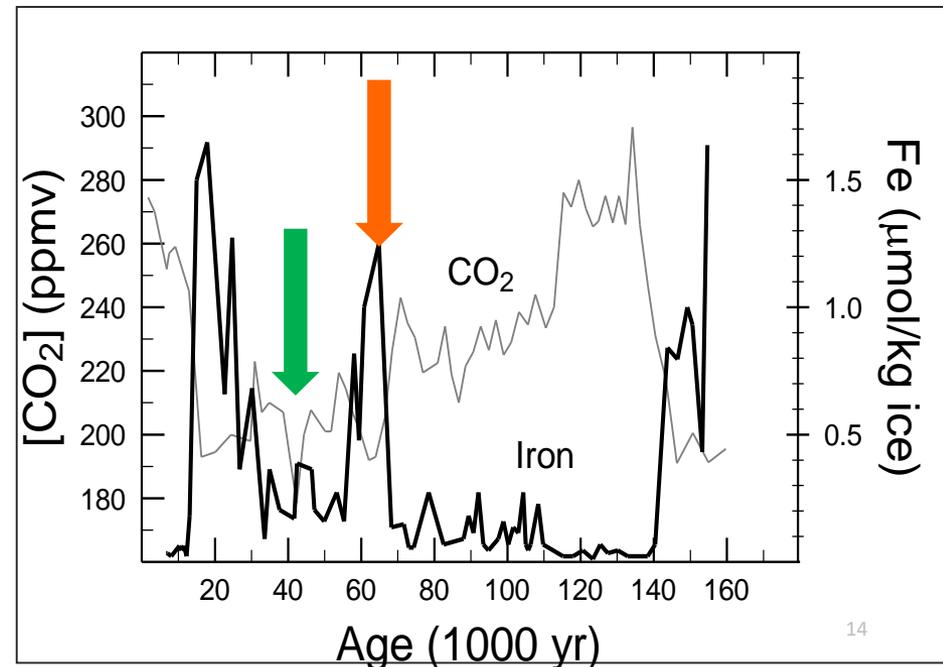
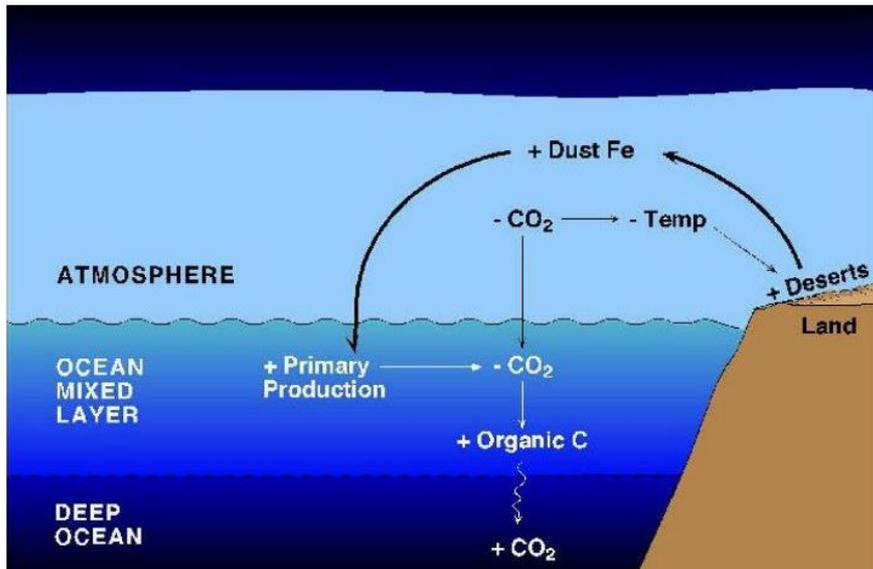
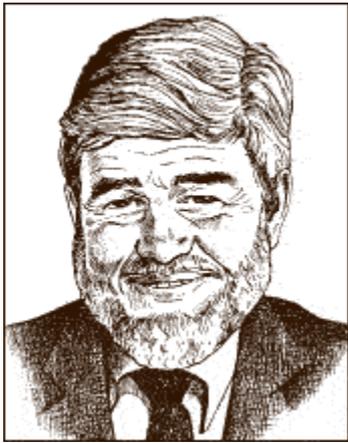
L'interesse per il ferro deriva dal **controllo che esercita sulla produttività degli oceani**, il conseguente sequestro del carbonio nell'oceano e la modulazione delle concentrazioni atmosferiche di CO₂

L'ipotesi del ferro di Martin

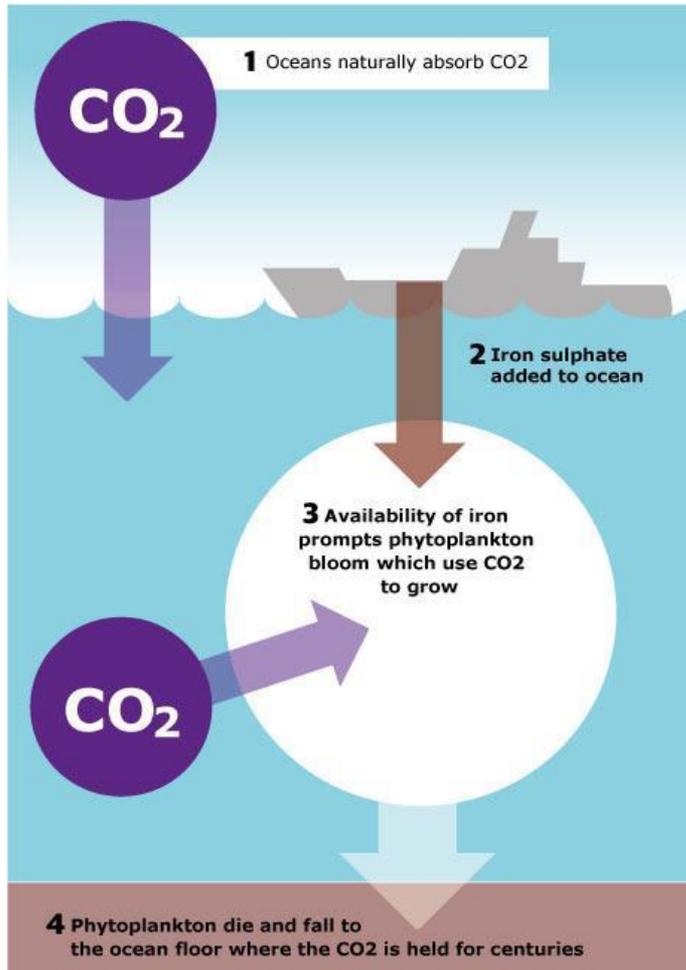
"Give me half a tanker filled with iron, and I'll give you another ice age"
John Martin (1989)

la polvere atmosferica **trasferisce Fe agli oceani** → **elevata produttività**
→ **assorbimento di CO₂** → **basse concentrazioni di CO₂ (200 ppm)** e basse temperature.

L'aumento delle concentrazioni di CO₂ da 200 a 280 ppm durante l'Olocene può di conseguenza essere collegato a una minore quantità di polvere atmosferica contenente Fe e quindi ad un minore assorbimento di CO₂ da parte del fitoplancton



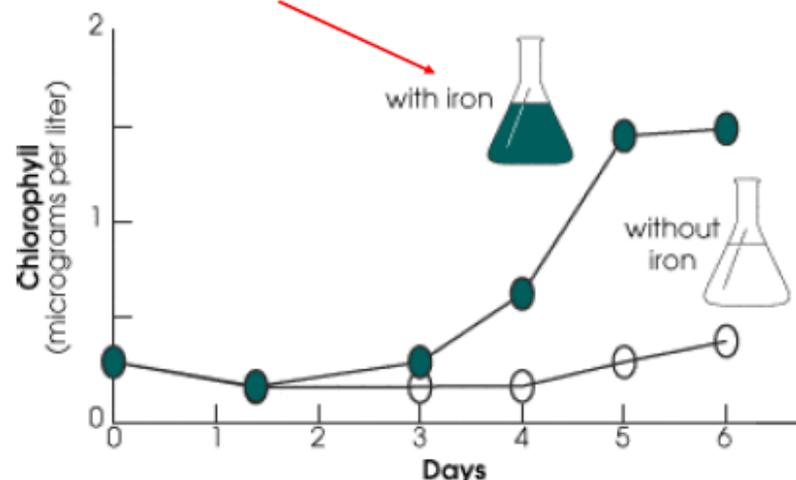
Esperimenti di fertilizzazione oceanica con ferro



L'ipotesi di Martin fu testata per la prima volta in acque oceaniche nel 1993.

Secondo l'ipotesi di Martin, l'aggiunta di ferro avrebbe favorito lo sviluppo di alghe, che attraverso l'assorbimento di CO₂ avrebbero ridotto la temperatura atmosferica.

The phytoplankton in the iron-dosed jar flourished after a few days.

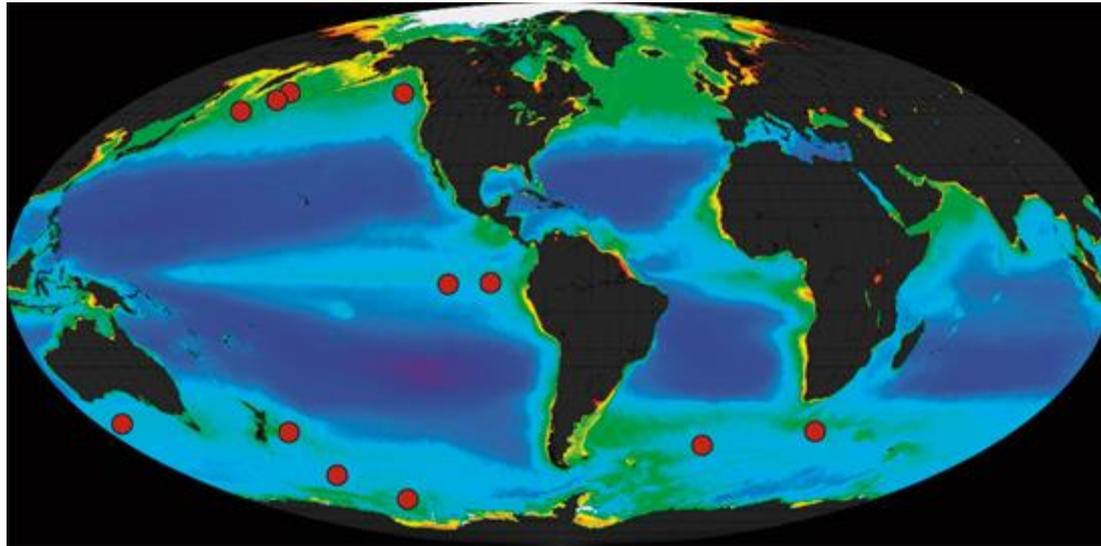


(Graph courtesy U.S. Joint Global Ocean Flux Study, based on data from K. Johnson and K. Coale.)

Esperimenti di fertilizzazione oceanica con ferro



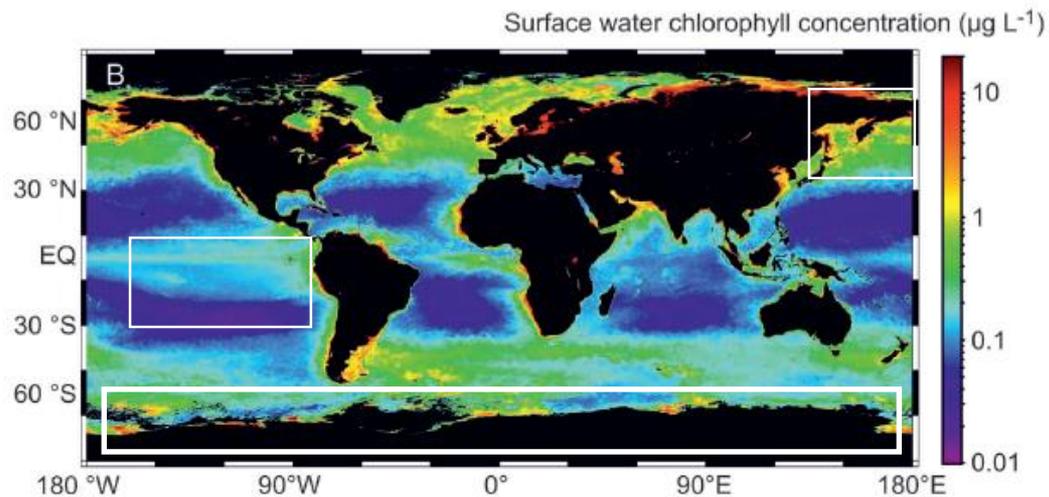
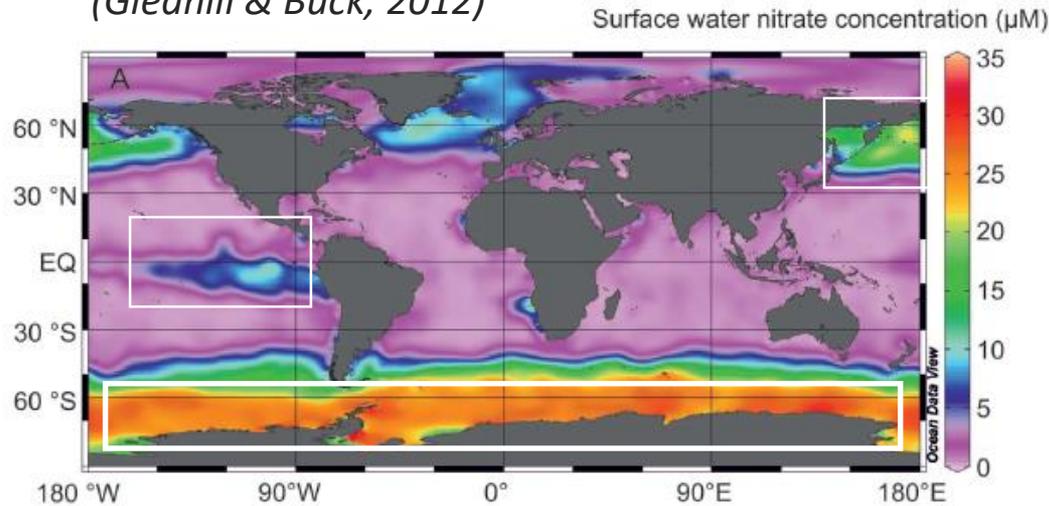
L'ipotesi di Martin è stata sperimentata sul campo dal 1993, in 12 small-scale open ocean experiments (*pallini rossi*)



- **Sub equatorial Pacific Ocean:** IronEx I-II Experiments
- **Southern Ocean:** SOIREE, EisenEx, SoFeX; Experiments
- **Sub Arctic Pacific Ocean:** Esperimenti SEEDS, SERIES Experiments

Zone High-Nutrient Low Chlorophyll (HNLC)

(Gledhill & Buck, 2012)

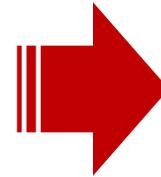


- Scarsa biomassa fitoplanctonica
 $[\text{chl-a}] < 1 \mu\text{g L}^{-1}$
- concentrazioni non limitanti di macronutrienti

1. O. Pacifico sub Artico
2. O. Pacifico sub Equatoriale
3. O. Meridionale
(paradosso antartico)

Risultati degli esperimenti di fertilizzazione oceanica

- ✓ aumento di clorofilla
- ✓ diminuzione di CO₂ e nutrienti



evidenze *in situ* del ruolo del Fe come elemento limitante la crescita fitoplanctonica

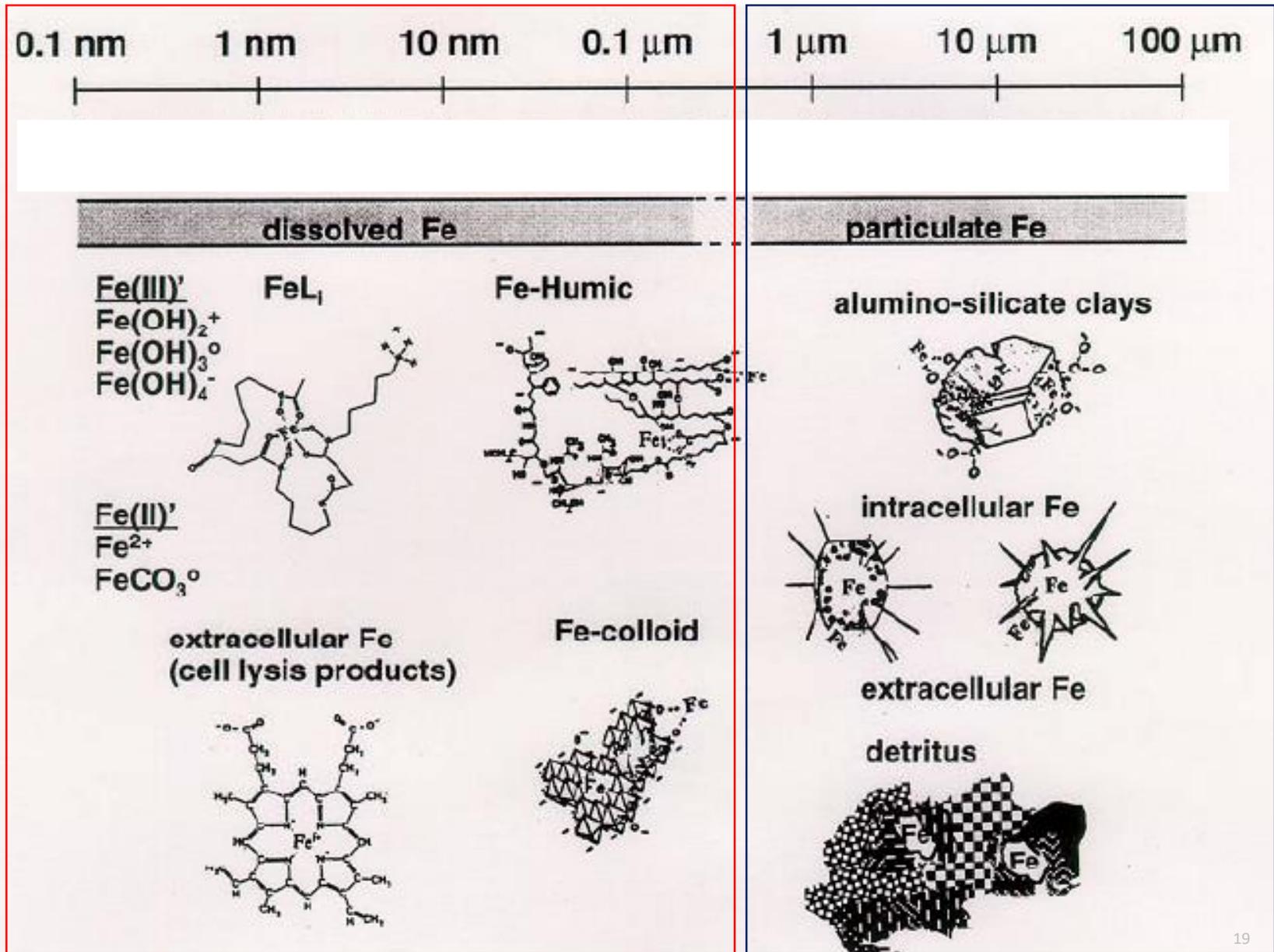
Risultati deludenti:

- risposte generali inferiori alle aspettative
- costi non sostenibili su larga scala
- danno alla catena trofica

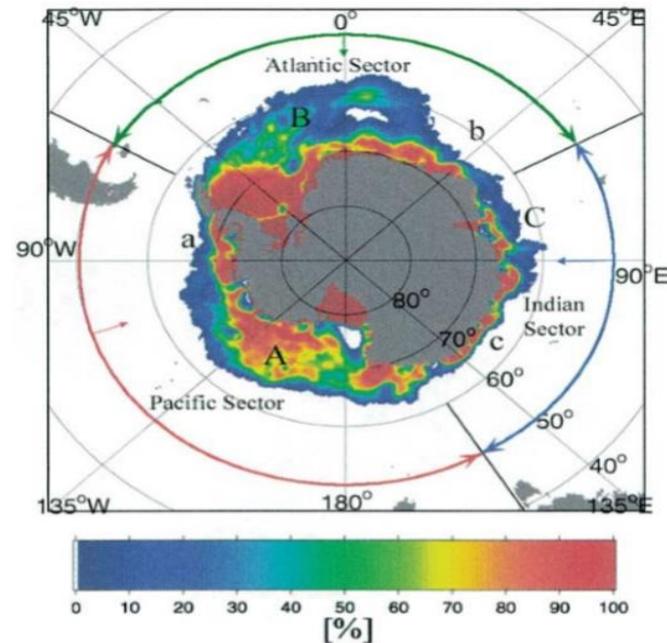
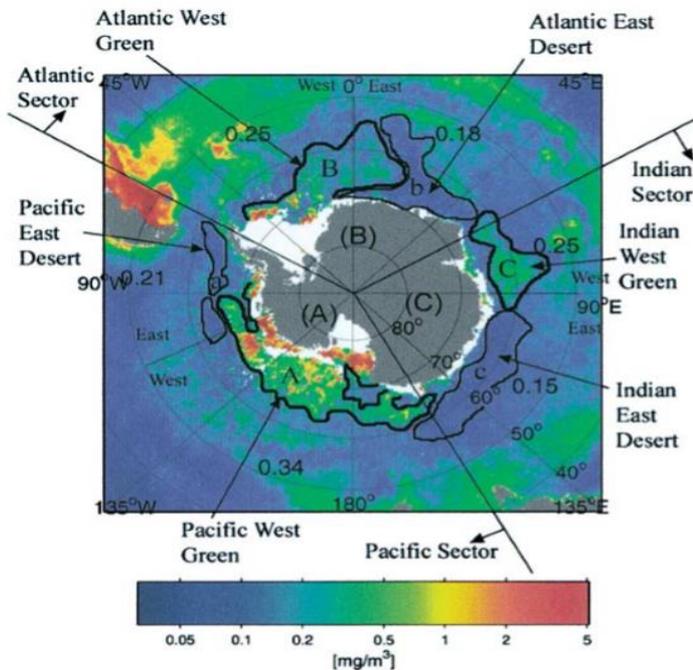


→ **IDEA SPECIAZIONE del Fe**

Ferro disciolto e particellato in acqua di mare



All'interno dell' Oceano Meridionale, regione HNLC Fe-limitata, sono state però identificate zone naturalmente fertilizzate da ferro (**desert and green areas**).

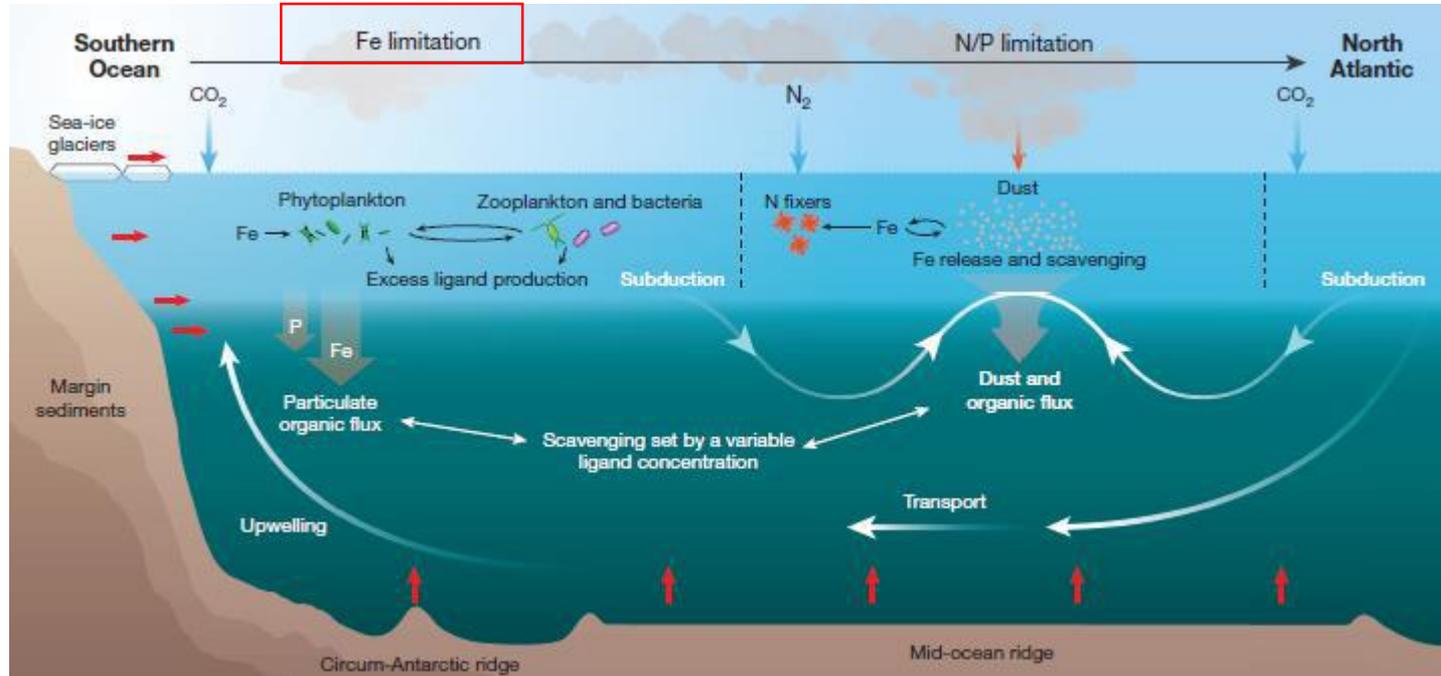


I settori con alta Chl sono caratterizzati da significativa presenza di ghiaccio marino in primavera ed estate.

Il ghiaccio marino contiene concentrazioni di ferro 1–2 ordini di grandezza maggiori rispetto all'acqua di mare, oltre che sostanze organiche (EPS) e clorofilla (alghe simpagiche), per cui funziona come fertilizzante naturale.

Ciclo biogeochimico del Fe nell'Oceano Meridionale

*Martin et al., 1991;
Tagliabue et al., 2017*



4 potenziali sorgenti di dFe per le acque superficiali: **Circumpolar Deep Water (CDW)** che intrude in zona di pattaforma, **sedimenti** in zone poco profonde e costiere, **fusione di ghiaccio marino** intorno al perimetro delle polynya e **fusione di ghiaccio glaciale** dagli Ice Shelf.

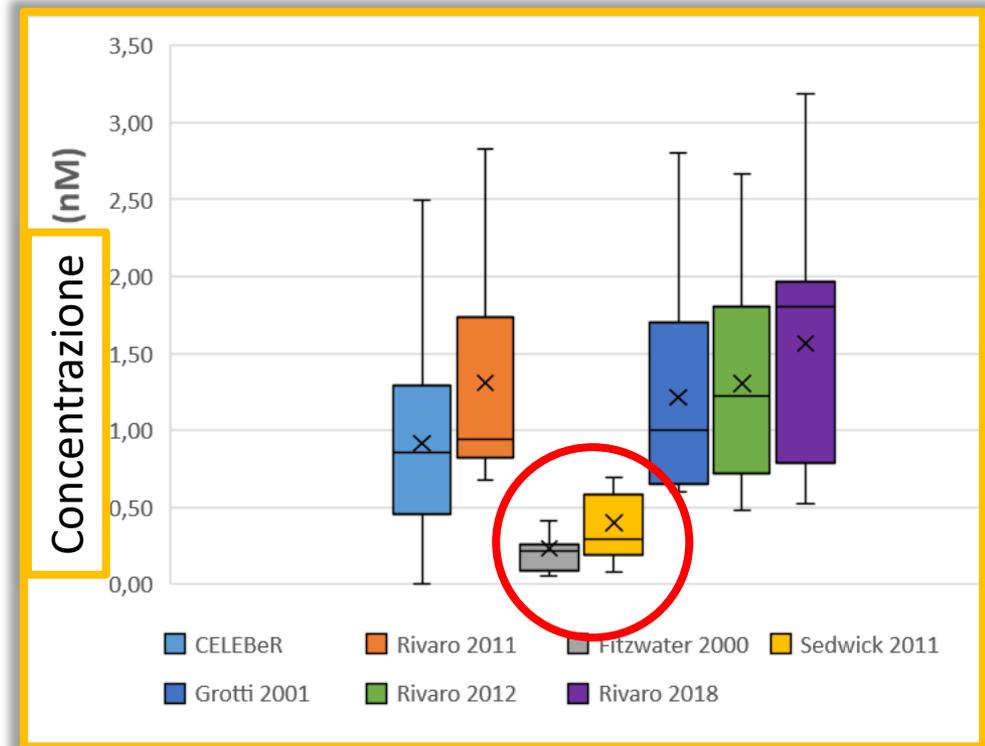
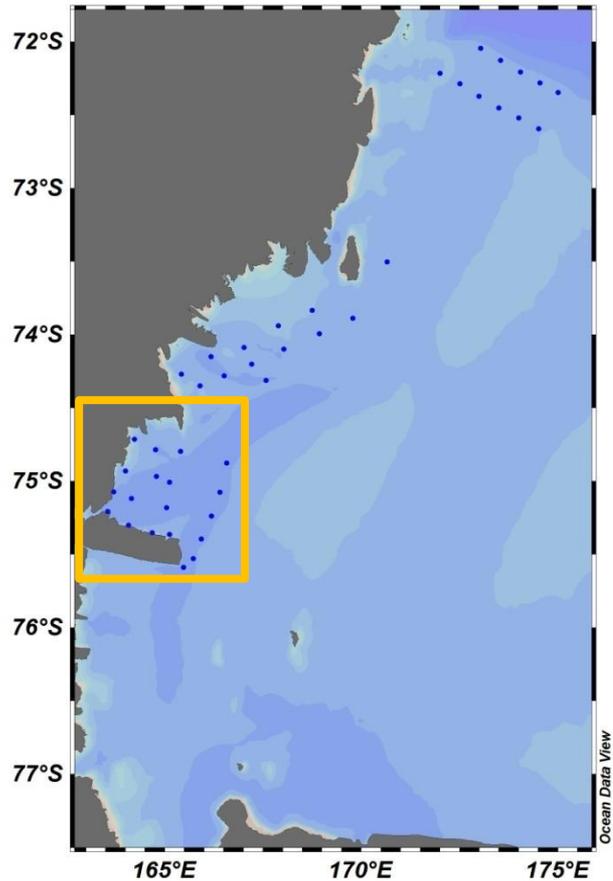
Il ferro “nuovo” è **rapidamente riciclato** nelle acque superficiali da diversi organismi: ad es. batteri dissolvono particellato e allo stesso tempo producono ligandi in grado di complessare il ferro, che lo mantengono in soluzione.

Lo scavenging rimuove ferro dalla soluzione.

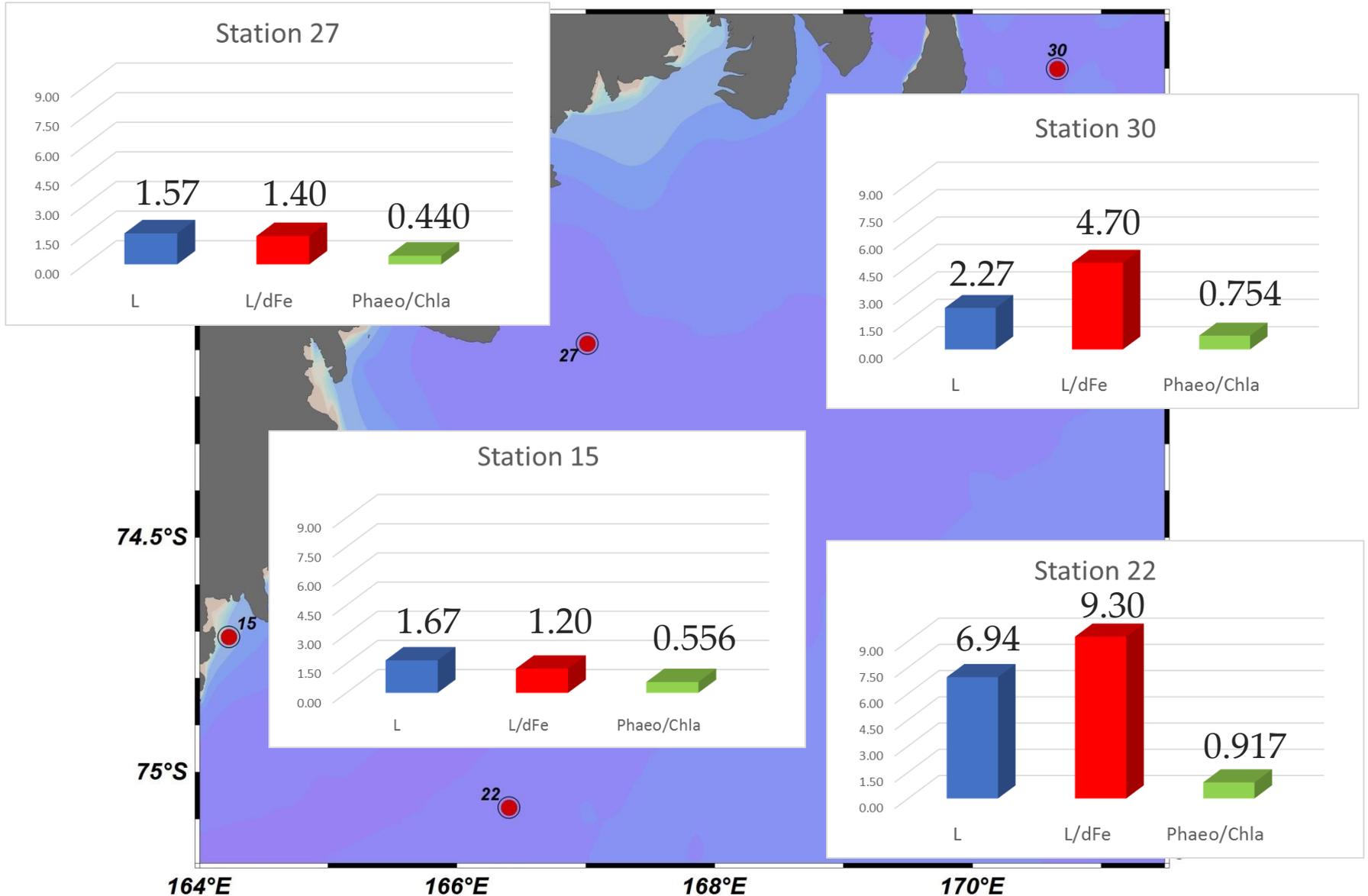
Il bilancio tra apporti e rimozioni determina la concentrazione del dFe nelle acque superficiali.

CELEBeR

(CDW Effects on glacial melting and on Bulk of Fe in the Western Ross Sea)

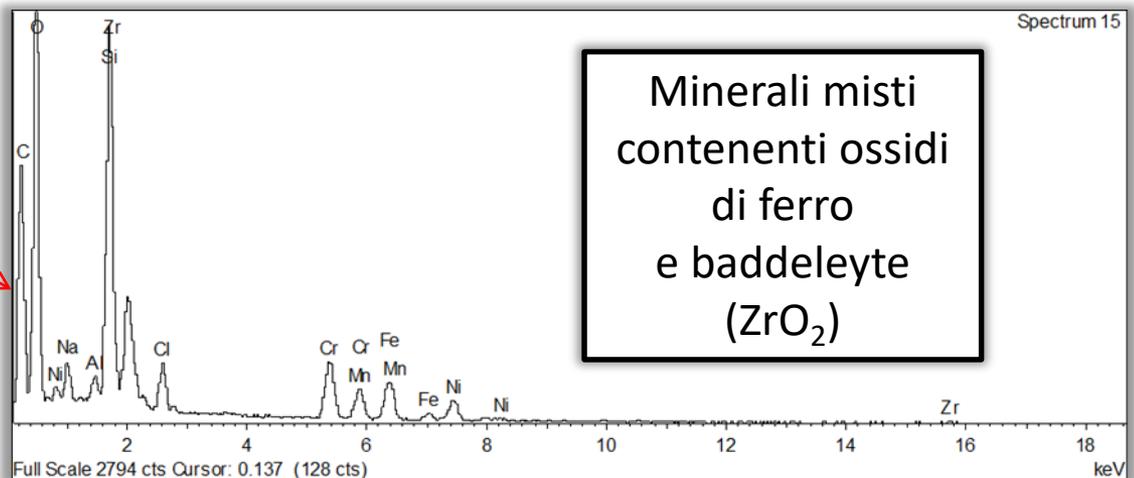
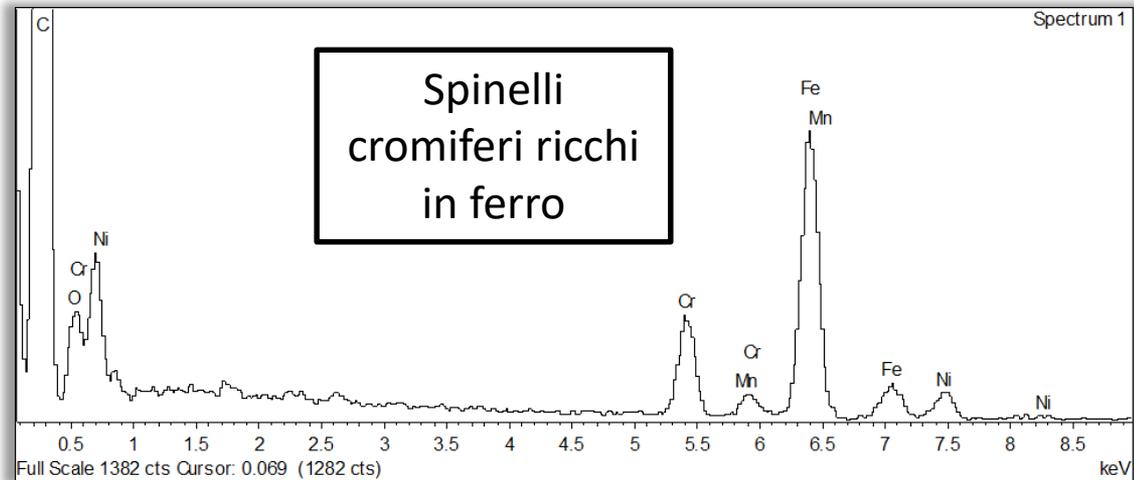
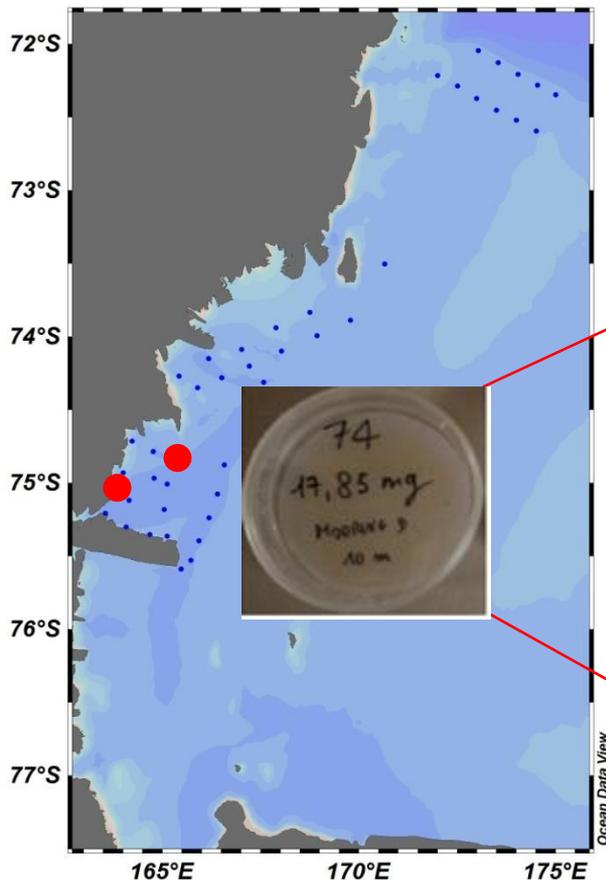


Il legame tra biologia e speciazione del ferro



L'apporto di ferro in profondità rilasciato dallo scorrimento dei ghiacciai costieri verso il mare

Il Fe(II) contenuto nelle particelle minerali è potenzialmente disponibile per l'ambiente, per l'instabilità del Fe (II) nelle condizioni ossidanti delle acque antartiche



Come il cambiamento climatico può condizionare la biogeochimica del Mare di Ross?

Indirettamente: condizionando

- la dinamica del ghiaccio marino,
- gli apporti di acqua dolce di fusione dei ghiacciai continentali,
- le caratteristiche fisiche delle acque e il regime dei venti

✓ Direttamente: attraverso l'assorbimento di CO₂.

Le risposte dell'ecosistema possono variare in maniera significativa:

- ✓ nello spazio e nel tempo
- ✓ tra aree di piattaforma e di mare aperto

come risultato delle differenze nelle dinamiche del fitoplancton, del fabbisogno e della disponibilità di nutrienti e di micronutrienti e nelle capacità di export del carbonio.

Cambiamenti attesi della biogeochimica del Mare di Ross:

Nelle prossime decadi:

- ✓ aumento degli apporti di ferro
- ✓ acidificazione oceanica

potrebbero alterare la produttività e gli equilibri nelle componenti dell'ecosistema, con importanti ripercussioni sul ciclo del carbonio e dei nutrienti sia a scala locale, sia a scala globale.



Grazie per l'attenzione

