

Raggi Cosmici e Clima

Raffaele Pontrandolfi

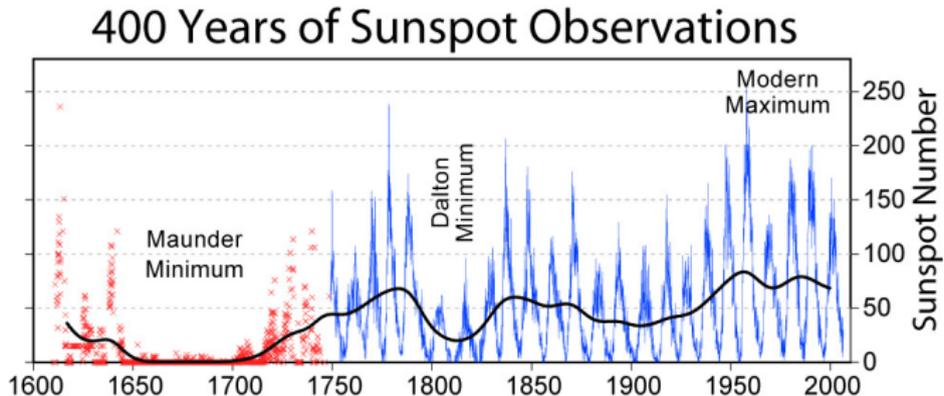
Corso di Astrofisica e Particelle Elementari

Motivazione

Mostrare la possibile influenza dei raggi cosmici galattici sul clima della Terra a diverse scale temporali.

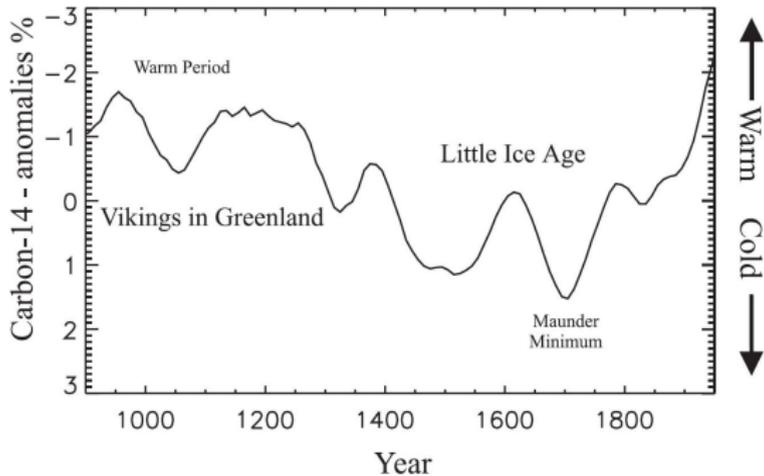
Attività Solare e Clima

La necessità di spiegare la connessione tra l'attività solare e il clima sulla terra indusse a pensare ai raggi cosmici. Già dall'inizio del Novecento, infatti, era noto che ci doveva essere una relazione tra in numero di macchie solari osservate e il clima.



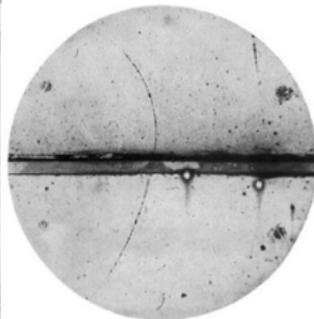
Attività Solare e Clima

Il ^{14}C può darci un indicazione dell'attività magnetica solare nel passato.



Attività Solare, Irradianza e Raggi Cosmici

I dati da satellite ci confermano che le variazioni di irradianza sono troppo piccole (circa 1% in un ciclo solare) per spiegare le variazioni climatiche correlate all'attività solare: deve essere invocato un altro meccanismo. Nel 1959 E.P. Ney ipotizzò che il flusso di raggi cosmici, modulato dal campo magnetico solare, potesse in qualche modo agire sulla formazione delle nuvole.



Raggi Cosmici e Nuvole

Per verificare che i raggi cosmici influenzino la formazione delle nuvole in modo rilevante N. Marsh e H. Svensmark hanno messo a confronto le variazioni di copertura nuvolosa con il flusso di raggi cosmici che raggiunge la troposfera.

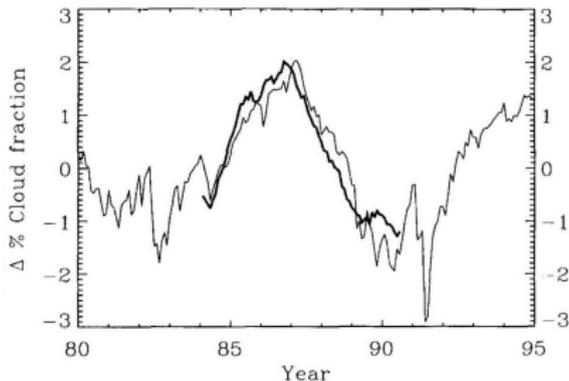
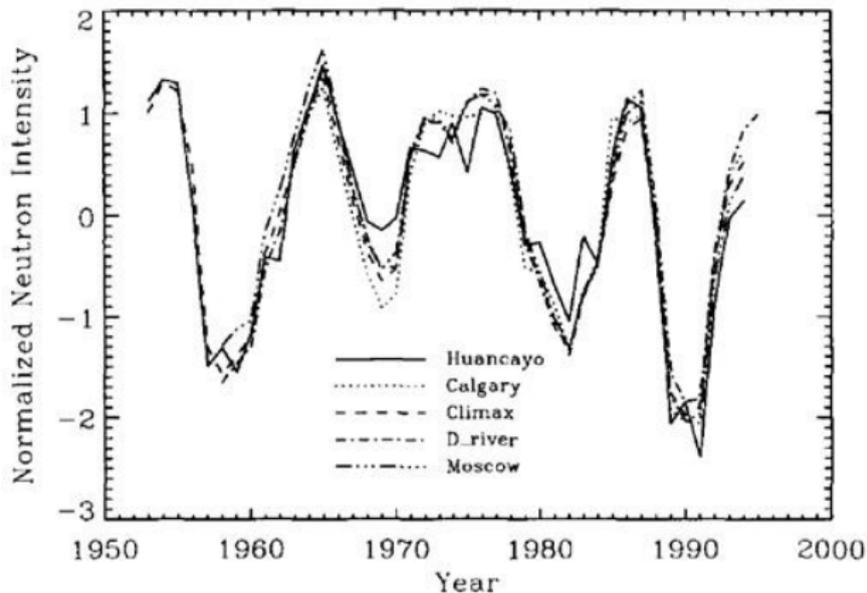


Figura: La linea spessa mostra la media corrente annua della totale copertura delle nuvole (variazioni in percentuale ISCCP-C2 monthly data). La linea sottile rappresenta la media mensile normalizzata dell'intensità dei raggi cosmici presa da Climax, Colorado usando la stessa scala.

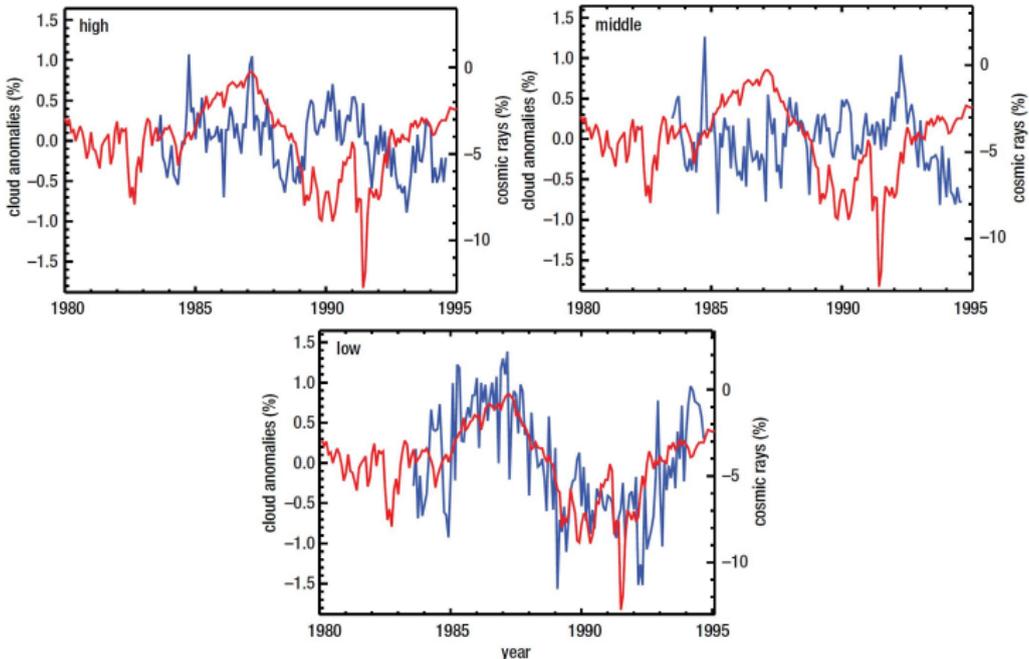
Raggi Cosmici e Nuvole

Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage



Raggi Cosmici e Nuvole

Che tipo di nuvole vengono influenzate dai raggi cosmici?



Forzante delle Nuvole

Definiamo il forzante radiativo medio \bar{N} come la differenza tra la l'energia solare irradiata netta \bar{E}^S (per unità di superficie) entrante all'estremità dell'atmosfera (Top of the atmosphere, TOA) e quella terrestre uscente, \bar{E}_{TOA} :

$$\bar{N} = (1 - \bar{A})\bar{E}^S - \bar{E}_{TOA}$$

Il contributo che portano le nuvole al forzante è dato dalla differenza tra il forzante in caso di cielo coperto e in caso di cielo libero:

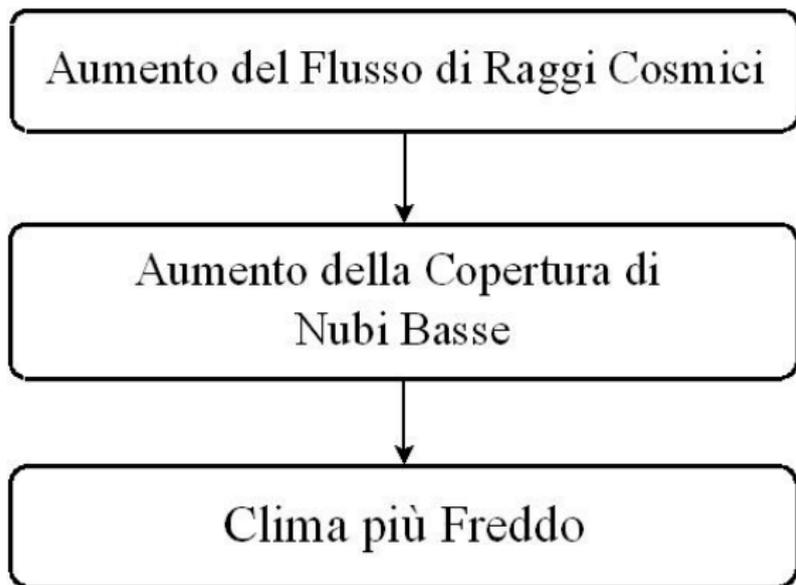
$$N_{cloud} = N - N_{clear\ sky}$$

TABELLA

Forzante radiativo delle nuvole, dall'esperimento ERBE (riassumendo Hartmann, 1993).

	High Clouds		Middle Clouds		Low Clouds	Total
	<i>Thin</i>	<i>Thick</i>	<i>Thin</i>	<i>Thick</i>		
Global Cloud Fraction %	10.1	8.6	10.7	7.3	26.6	63.3
Net CRF Wm^{-2}	2.4	-7.0	1.1	-7.5	-16.7	-27.7

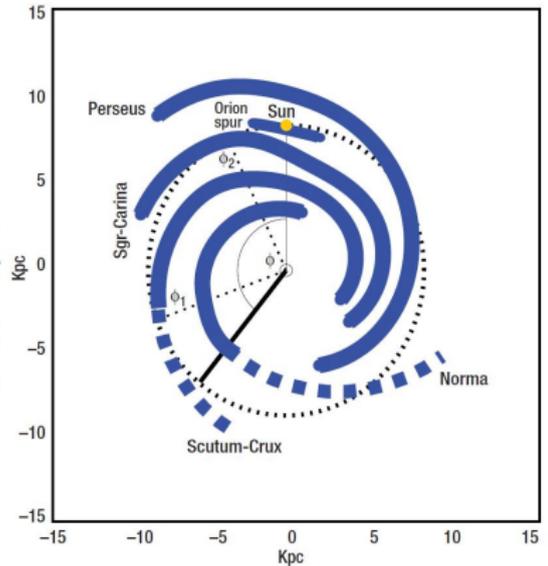
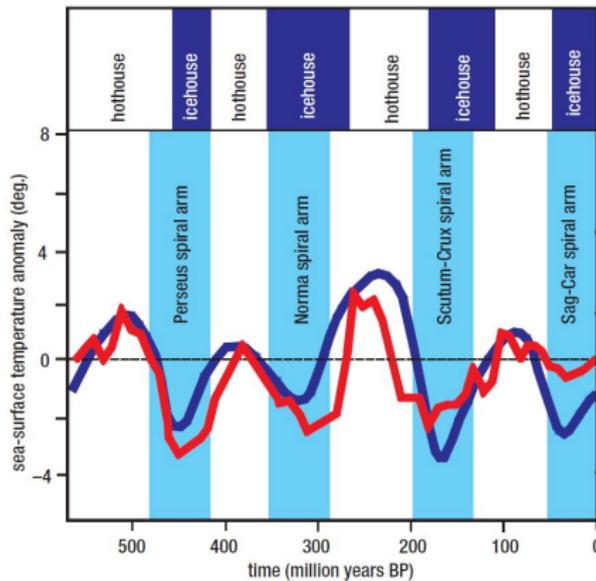
Forzante delle Nuvole



Dalla Galassia al Clima

Sono stati attribuiti gli episodi di caldo e freddo negli ultimi 550 milioni di anni ai quattro incontri che ha avuto il Sistema Solare con i bracci della Galassia durante il suo moto di rotazione attorno ad essa. I raggi cosmici infatti sono per lo più generati dai resti delle supernovae che, osservando le galassie simili alla nostra, sappiamo si trovano principalmente nei bracci, dove risiedono le stelle più massive. Quindi quando il Sole attraversa un braccio ci aspettiamo di trovare un flusso maggiore di raggi cosmici.

Dalla Galassia al Clima



Dalla Galassia al Clima

In particolare i picchi di raggi cosmici corrispondono agli episodi di clima freddo (e glaciazione) come segue:

- Braccio di Perseo : dal periodo Ordoviciano al periodo Siluriano
- Braccio del Cigno: Carbonifero;
- Braccio Scudo-Croce: dal Giurassico al primo periodo Cretaceo;
- Braccio del Saggittario: epoca Miocene;
- Sperone di Orione: dall'epoca del Pliocene a quella del Pleistocene.

Dal Clima alla Galassia

Il collegamento che creano i raggi cosmici tra l'evoluzione della Galassia e il clima può anche essere usato al contrario: sfruttare i dati geologici per aiutare la descrizione astronomica della Galassia. Utilizzando le temperature ricavate dal ^{18}O degli organismi fossilizzati nei pressi della superficie marina sono state mostrate delle oscillazioni ad alta frequenza di temperatura e quindi del flusso di raggi cosmici in seguito associate alle oscillazioni del Sole sul piano galattico.

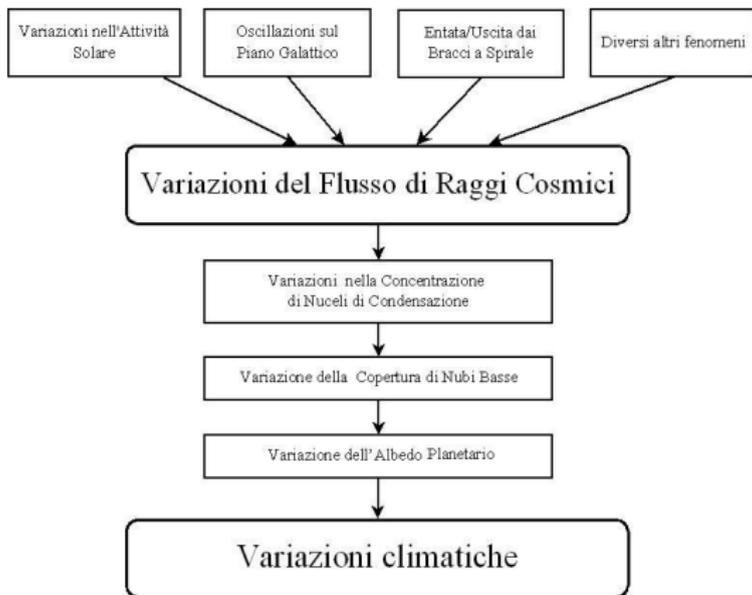
Densità di massa	Tempo di attraversamento dei bracci
$\rho_{local}(now) = 0.115 \pm 0.1 M_{\odot} pc^{-3}$	<i>Sgr – Car</i> = $34 \pm 6 Mys$
$\bar{\rho} = 0.145 \pm 0.1 M_{\odot} pc^{-3}$	<i>Scrutum – Crux</i> = $142 \pm 8 Mys$
$\rho_{arm}/\rho_{inter arm} \approx 1.5 - 1.8$	

Dal Clima alla Galassia

Grandezze ricavate dall'andamento del ^{18}O	Grandezze ricavate in altro modo
$\rho_{local} = 0.115 \pm 0.1 M_{\odot} pc^{-3}$	$\rho_{local} = 0.105 M_{\odot} pc^{-3}$ (Holm & Flynn, 2004)
$\rho_{arm}/\rho_{interarm} \approx 1.5 - 1.8$	$\rho_{arm}/\rho_{interarm} \approx 1.8$ (Drimmel & Spergel, 2001)
$W_i = 0.28 - 0.36 kpc$	$W_i = 0.3 kpc$ (Taylor & Cordes, 1993)

- 1 Variabilità Solare e Clima
 - Attività Solare e Clima
 - Attività Solare, Irradianza e Raggi Cosmici
 - Raggi Cosmici e Nuvole
 - Forzante delle Nuvole
 - Galassia e Raggi Cosmici
 - Dal Clima alla Galassia

Conclusioni



Conclusioni

Implicazioni di questa teoria:

- Climatologia
- Metereologia
- Astronomia
- Astrobiologia

Conclusioni

Cosa rimane da studiare:

- 1 I meccanismi di formazione delle nuvole nei quali sono implicati i raggi cosmici, sperando che i risultati dell'esperimento CLOUD possano aiutare a comprendere meglio i processi microfisici alla base di questi fenomeni;
- 2 I meccanismi di variabilità del campo magnetico solare a piccole e grandi scale temporali per fare previsioni sul clima.



Grazie per l'attenzione