



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Bilanci energetici

Anno Accademico 2019-2020

Docente: Renzo Mosetti

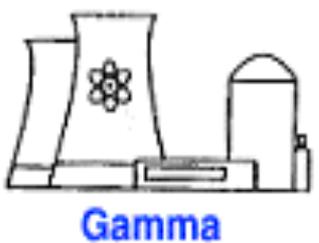
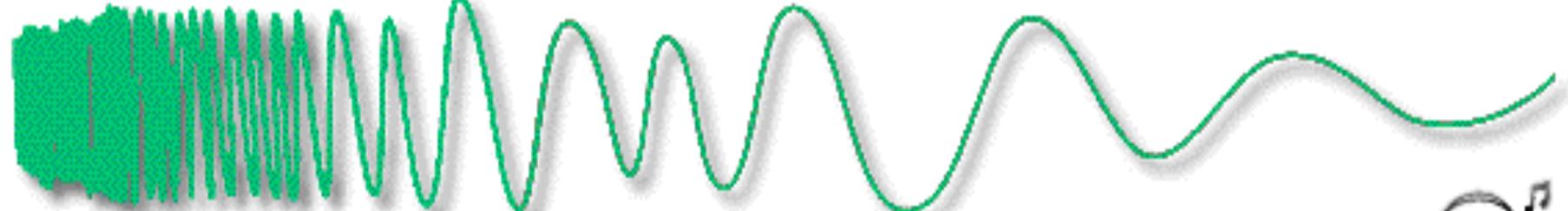
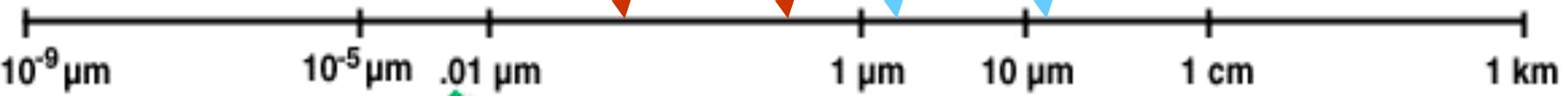
rmosetti@inogs.it

Electromagnetic Spectrum

incoming

outgoing

Wavelength Spectrum



Gamma



X-ray



Ultraviolet



Visible



Infrared



Microwave

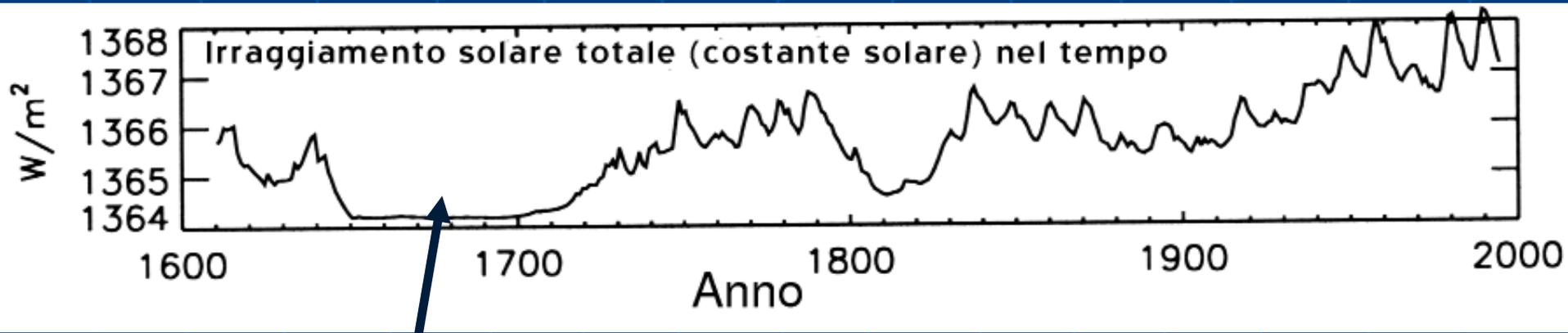


Radio

μm = micrometer (10⁻⁶ meter)

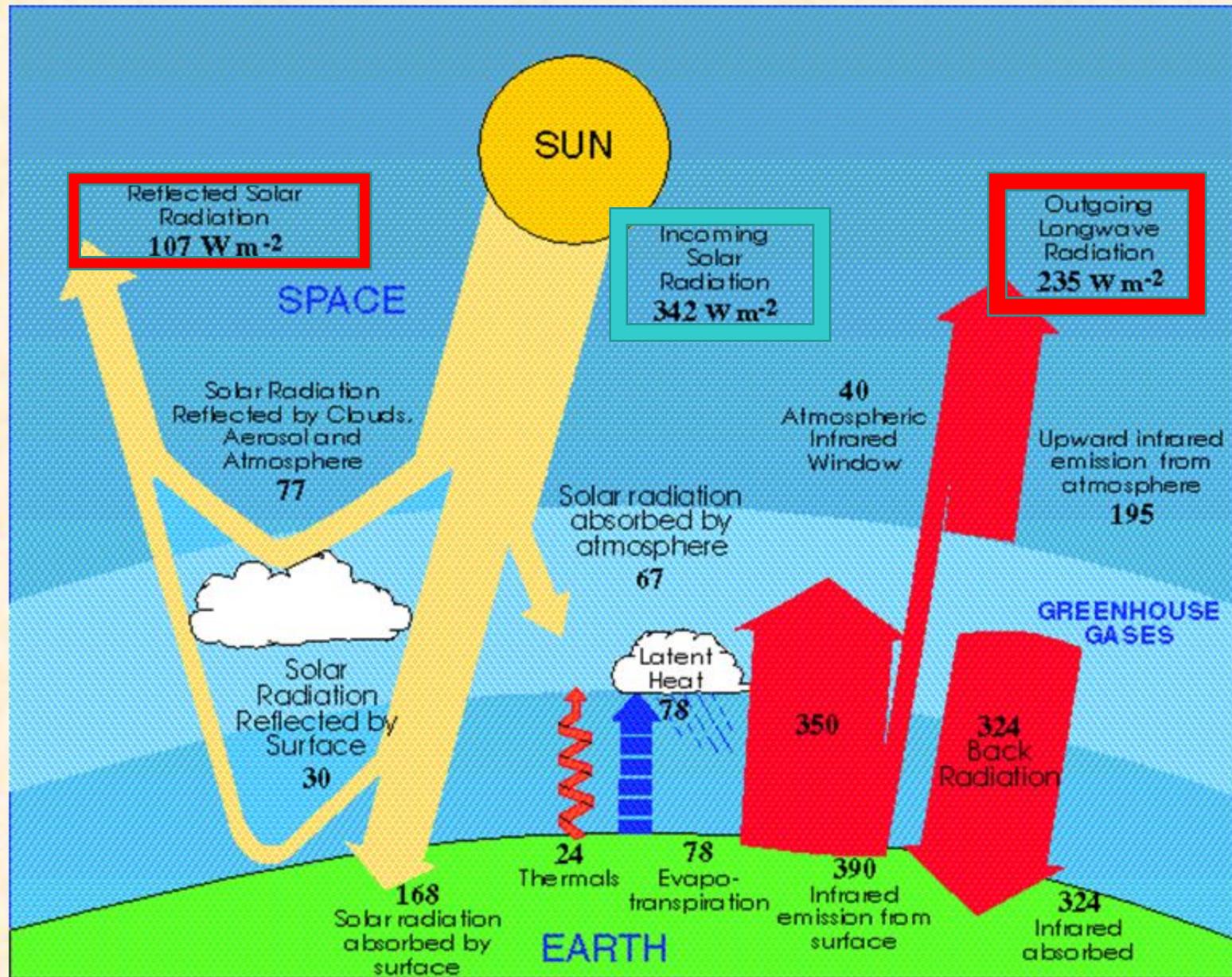
La costante solare, C , è definita come
*l'energia che incide nell'unità di tempo su un metro
quadrato di superficie esposto perpendicolarmente alla
linea di vista, fuori dall'atmosfera terrestre, posto alla
distanza media della Terra dal Sole.*

Le misure danno per la costante solare un valore pari a
 $C = (1366,3) \text{ W/m}^2$.



minimo di Maunder (1645-1715)

Il Bilancio Energetico della Terra



Il bilancio globale di calore negli oceani



Il bilancio di calore degli oceani è regolato da flussi in entrata ed in uscita. Si indica come "input" un processo attraverso il quale l'oceano acquista calore, mentre viene definito "output" un processo di perdita di calore da parte dell'oceano verso l'esterno. Una lista completa di tutti gli input e gli output è indicata di seguito (+ indica un input, - un output):

Input e output principali:

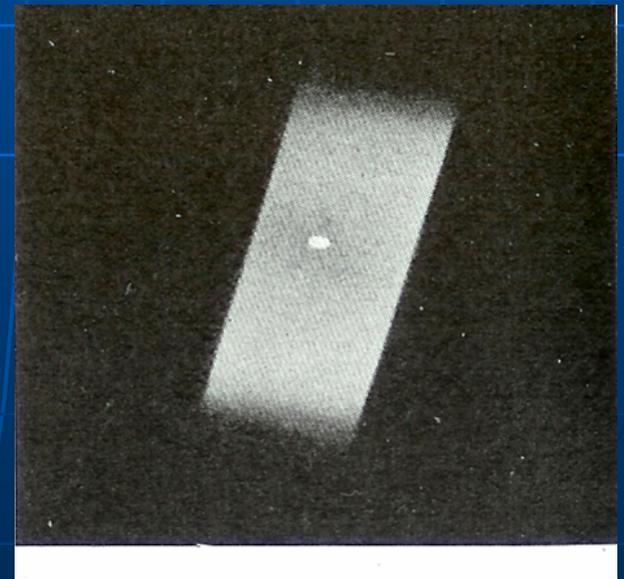
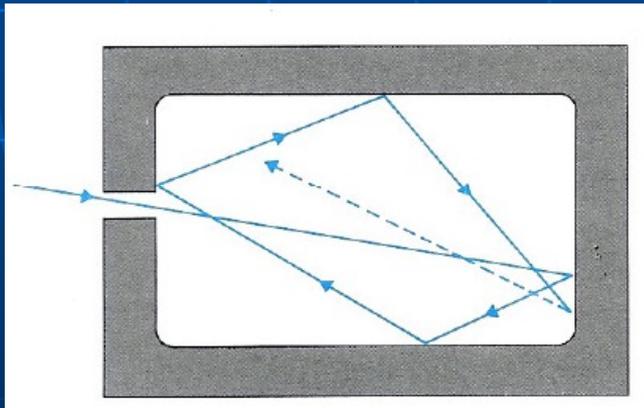
- radiazione del sole (+)
- radiazione di ritorno delle onde lunghe (-)
- trasferimento di calore diretto dall'acqua all'aria (trasferimento di calore sensibile) (-; + quando è dall'aria verso l'acqua)
- trasferimento di calore per evaporazione (-; + in caso di condensazione; questa situazione avviene molto raramente, di solito durante condizioni di nebbia in mare)
- trasferimento di calore per avvezione (correnti, convezione verticale, turbolenza) (- ou +); questo effetto si annulla a scala globale o in bacini chiusi.

Sorgenti secondarie:

- calore ricevuto per processi chimico/biologici (+)
- calore ricevuto dall'interno della Terra e dall'attività idrotermale (+)
- calore ricevuto per attrito di correnti (+)
- calore ricevuto da radioattività (+)

Il problema del CORPO NERO

Si dice Corpo Nero un sistema che assorbe tutta la radiazione dalla quale viene investito (ad es. un corpo cavo con un piccolo foro dal quale la radiazione entra ed esce). All'equilibrio termico il C.N. emette la stessa radiazione che riceve (il massimo possibile) che non dipende dalla sostanza di cui è fatto, ma solo da T .



Con uno spettrofotometro si può misurare l'intensità della luce emessa alle varie λ

Tale emissione ha un andamento di carattere generale, che può essere rappresentato in una famiglia di grafici $I(\lambda)$ [Intensità per unità di λ e di area] con un andamento a campana asimmetrica la cui forma specifica dipende dalla temperatura del C.N.

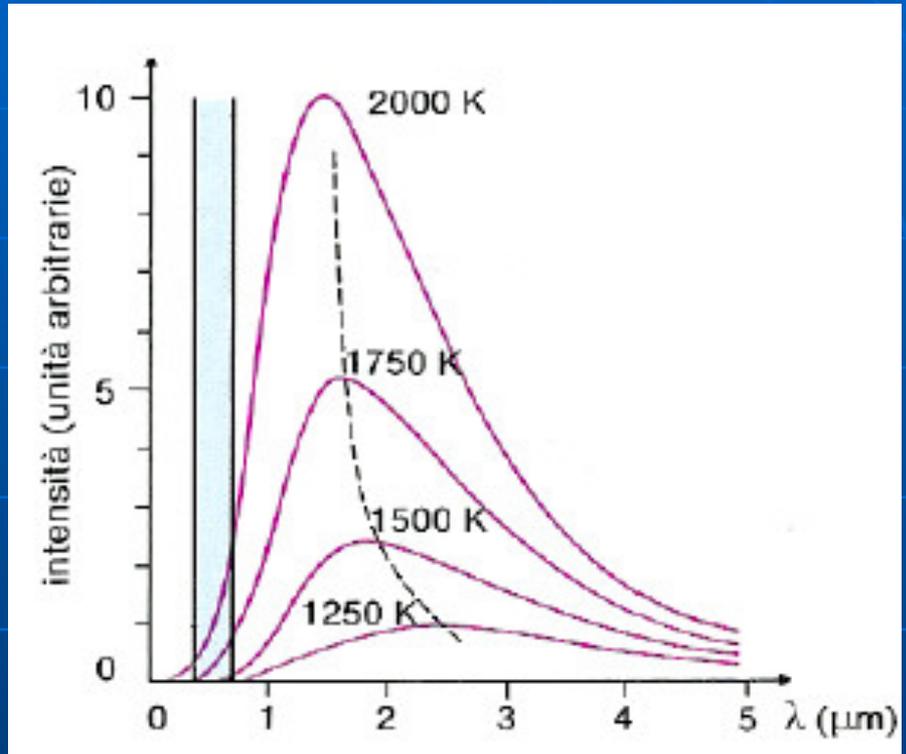
Sono state dedotte due leggi:

1) **Stefan- Boltzmann:**

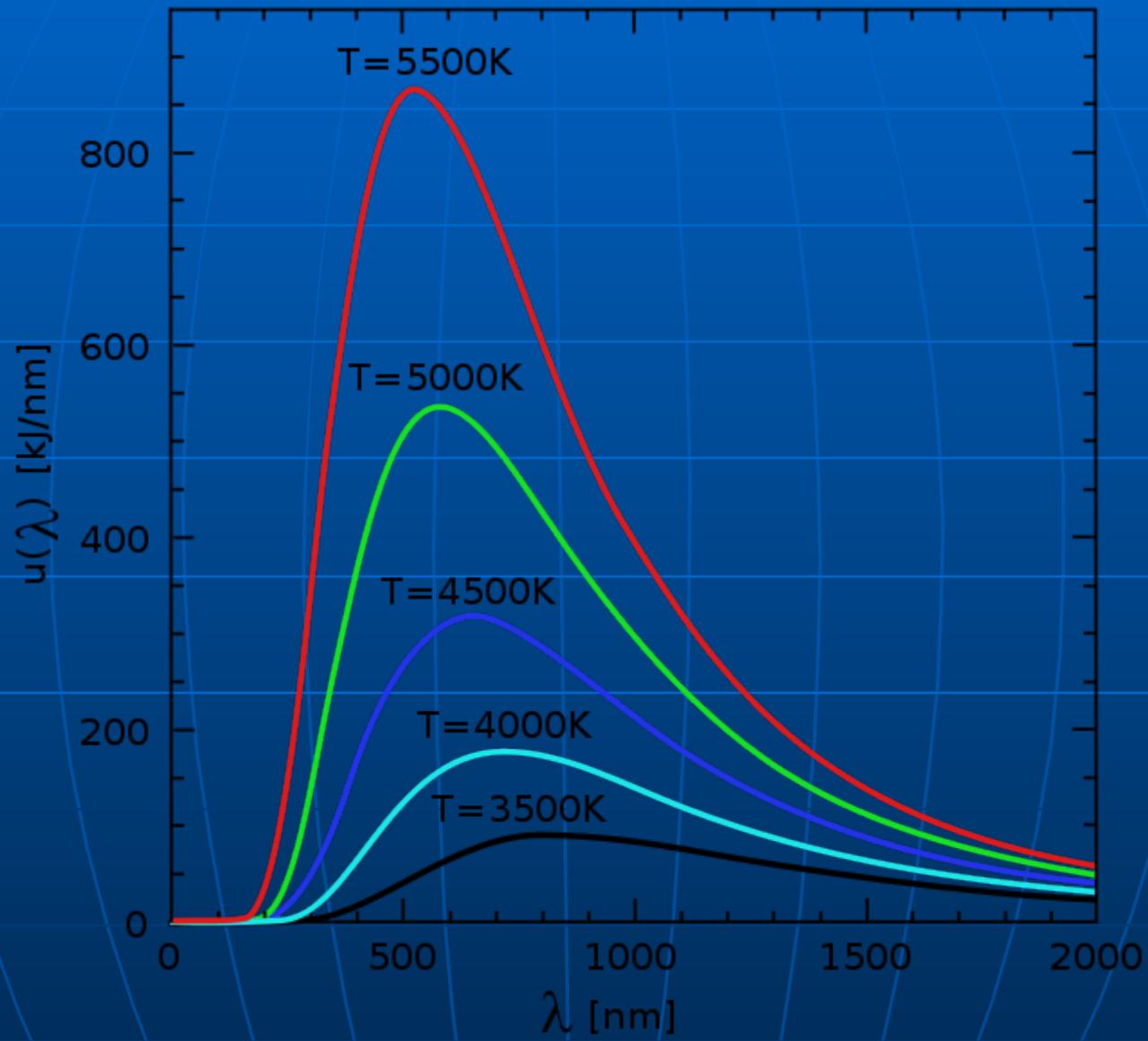
$$I_{\text{tot}} = \sigma T^4 \quad \text{W/m}^2$$
$$(\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4)$$

2) **Wien:**

$$\lambda_{\text{max}} T = \varepsilon \quad \Rightarrow \quad \lambda_{\text{max}} = \varepsilon / T$$
$$(\varepsilon = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m K})$$

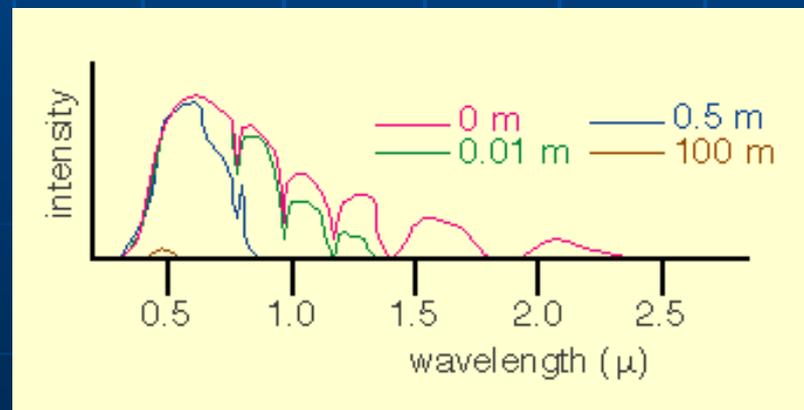


Spettro del C.N. a diverse T



La radiazione incidente è emessa dal sole a circa 6000 K (K sta per gradi Kelvin, equivalenti ai gradi della scala Celsius, ma il valore di 0°C corrisponde a quello di 273 K). Secondo la legge di Wien, il massimo della radiazione si ha per una lunghezza d'onda data da $\lambda = 2897 T^{-1}$, dove T è il valore di temperatura in K e λ (lambda) la lunghezza d'onda in micron (μm). La massima radiazione dal sole avviene perciò nell'intervallo di lunghezza d'onda della luce visibile ed ha un picco a 0.48 μm , nell'intervallo del blu. Questa decresce rapidamente spostandosi verso lunghezze d'onda minori (nello spettro dell'ultravioletto o UV) e lentamente spostandosi verso lunghezze d'onda più grandi (infrarosso).

Per effetto dell'assorbimento ad opera del vapore acqueo e dei vari gas atmosferici, in particolare ossigeno e idrocarburi, l'energia solare ricevuta dagli oceani varia irregolarmente con la lunghezza d'onda. In mare, l'assorbimento fa sì che la quantità di luce si riduca molto rapidamente con la profondità. (Per quanto riguarda l'incidenza verticale della luce (cioè le condizioni più favorevoli), in genere si rilevano i seguenti valori:



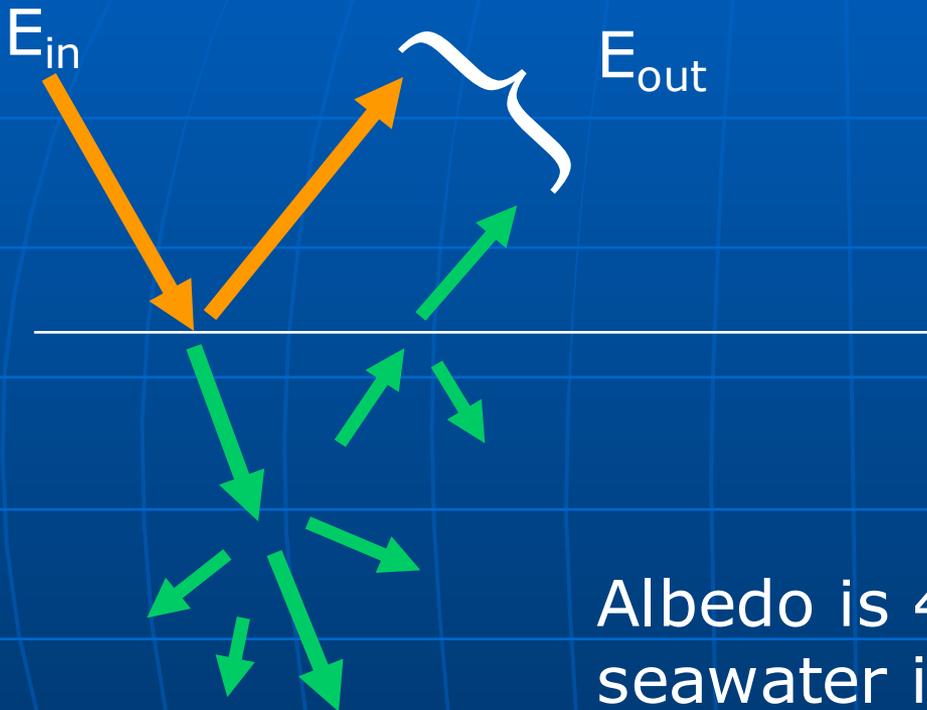
Output del bilancio di calore

La radiazione riflessa

Una parte della radiazione ricevuta dal sole è riflessa dalla superficie dell'oceano. La lunghezza d'onda in cui si concentra la maggior parte della radiazione riflessa si può calcolare dalla legge di Wien. Dato che la temperatura della superficie del mare è molto più bassa di quella del sole (circa 283 K), la radiazione di ritorno massima è concentrata intorno ai $10\ \mu\text{m}$, cioè nell'infrarosso, detta anche radiazione di calore.

Secondo la legge di Stefan-Boltzman, l'energia della radiazione è proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta (espressa in gradi Kelvin). Dunque, le variazioni giornaliere o stagionali della temperatura superficiale degli oceani hanno un effetto ridotto sull'energia della radiazione riflessa, in quanto queste variazioni sono piccole rispetto al valore della temperatura assoluta.

Albedo:



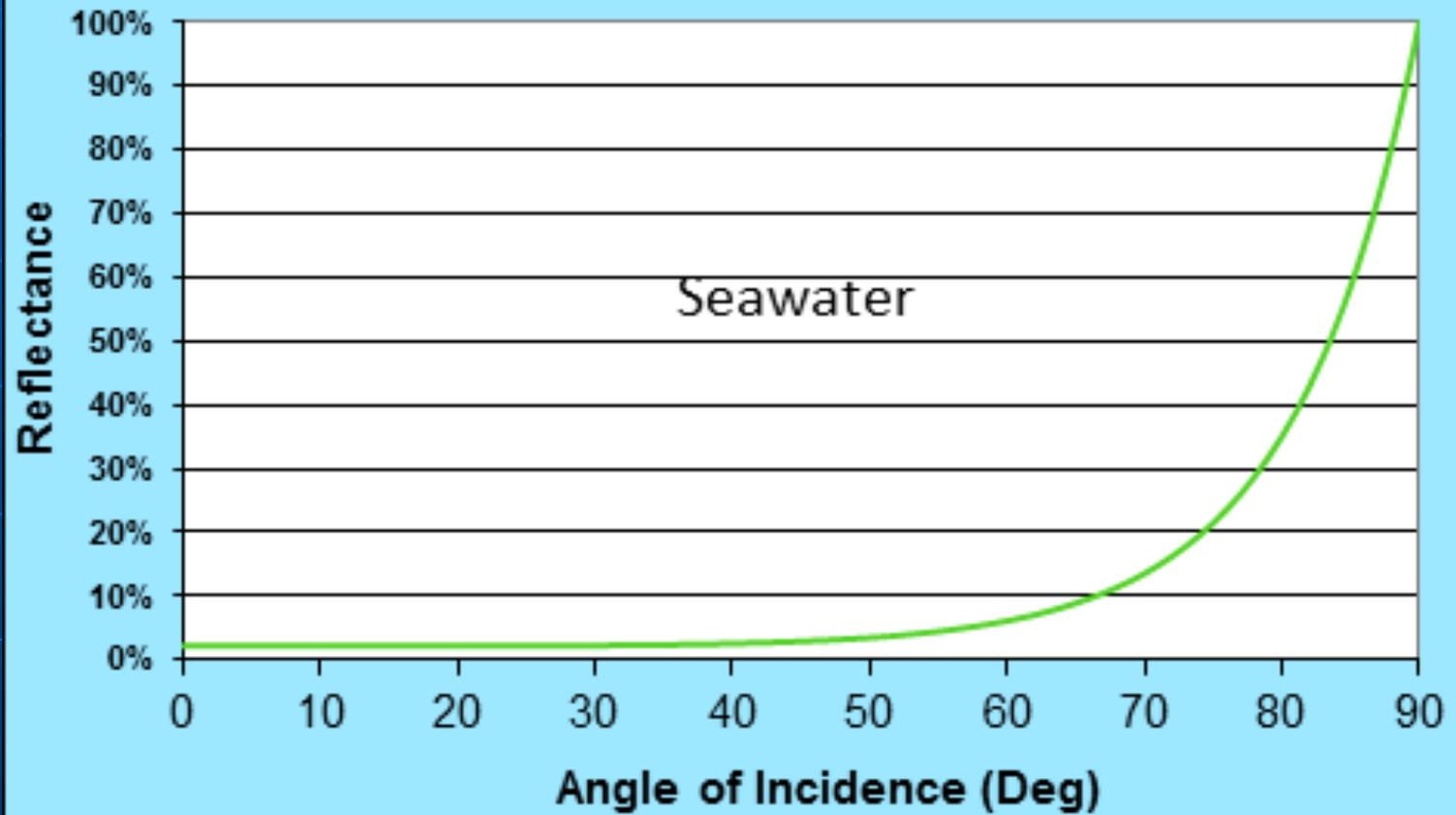
$$\text{Albedo} = E_{out}/E_{in}$$

(only shortwave, no thermal radiation)

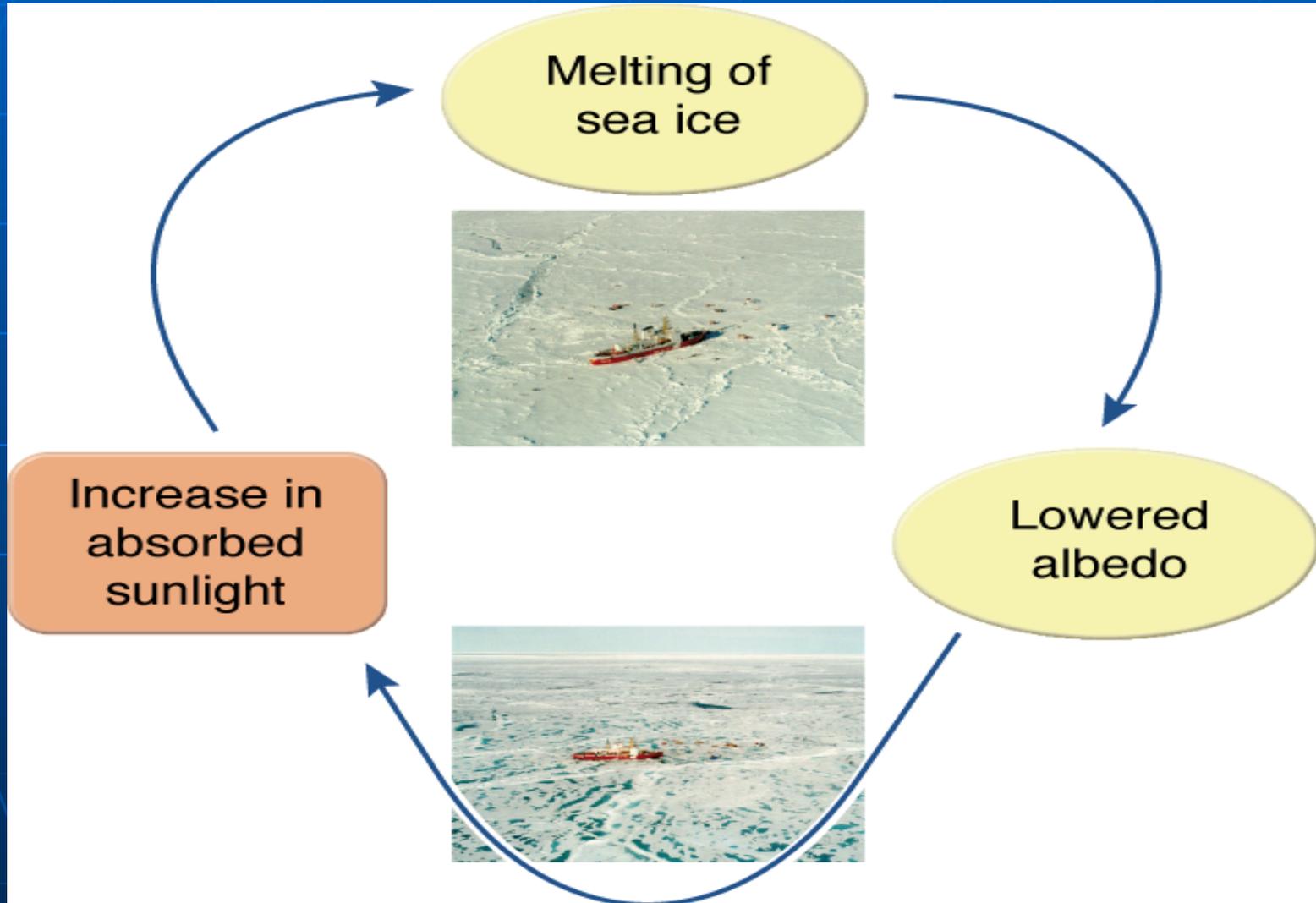
Albedo is 4.5% for clear smooth seawater if all radiation comes vertically from above ($\theta=0^\circ$), 13.5% for $\theta=70^\circ$.

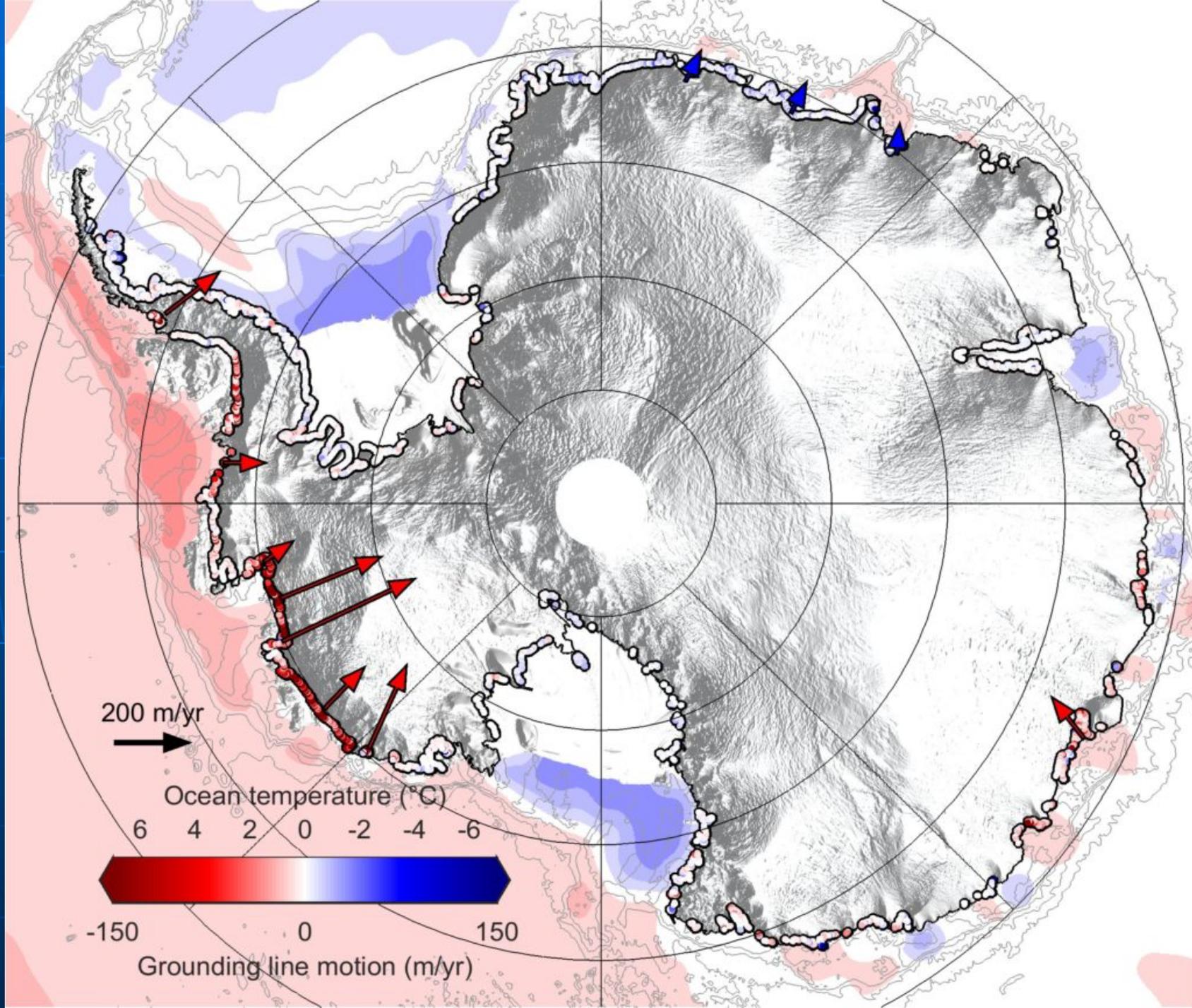
For diffuse light it depends on the distribution over angles.

Reflectance vs Angle of Incidence



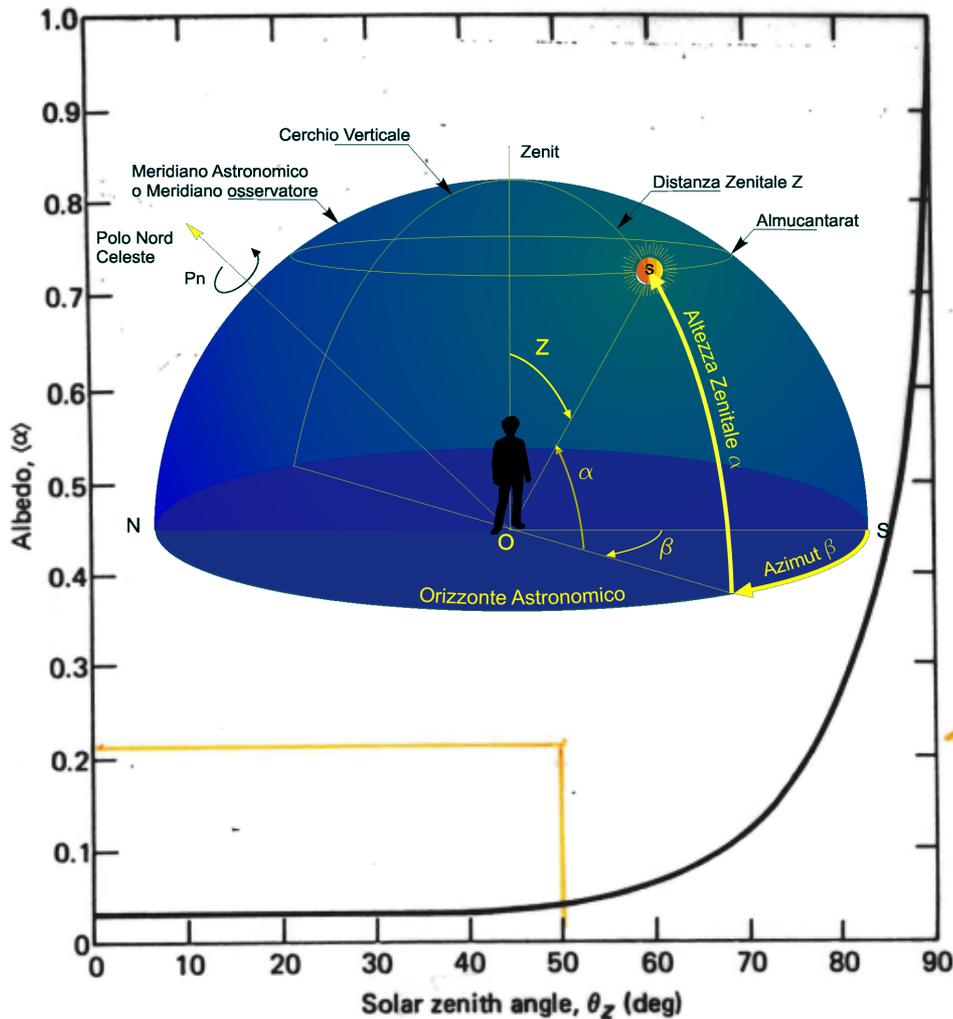
Esempio di feedback positivo



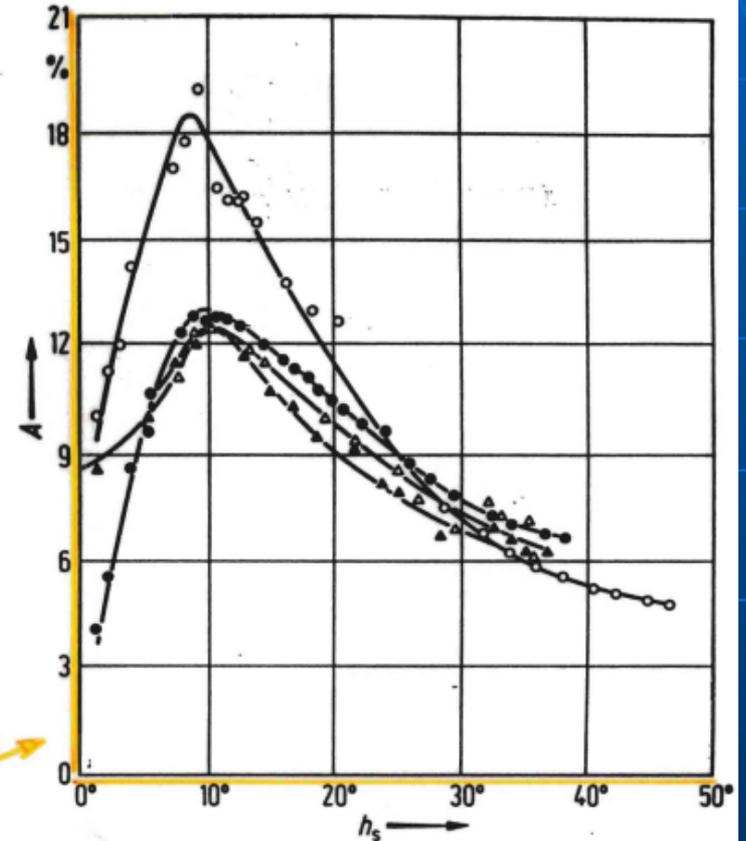


Albedo for smooth and rough sea surface, vs angle

Albedo for smooth sea surface



Albedo with wind roughness



Wind [m/s]	Sea state	Wave amplitude [m]
○ 7	moderately rough	0.5
● 8	rough	1.0
▲ 15-16	very rough	1.5-2.0
▲ 17-20	very rough	1.5-2.0