

## ASSORBIMENTO ATMOSFERICO

GIUSEPPE GIUDICE

Tutti sanno che l'atmosfera terrestre è in genere opaca alle radiazioni elettromagnetiche, tranne che in due 'finestre' dello spettro, cioè la finestra ottica e la finestra radio.

Tra le due è situata la zona infrarossa dello spettro, nella quale l'atmosfera è in parte trasparente (in limitate bande) soprattutto a grandi altezze, dove la presenza di vapore d'acqua è molto ridotta.

Nell'ultravioletto, e ancor più nei raggi X e gamma, l'opacità dell'atmosfera, almeno a livello del suolo, è totale.

Dal punto di vista fisico, l'assorbimento è causato dall'interazione delle radiazioni con gli elettroni atomici e molecolari; siccome questi si presentano in stati discreti di energia, anche l'assorbimento è presente a lunghezza d'onde discrete. Nel caso delle molecole, tuttavia, i livelli energetici sono estremamente numerosi e formano quindi non delle righe isolate, ma delle bande, formate a loro volta da una miriade di righe estremamente vicine, tanto da simulare un continuo.

Quantitativamente è possibile calcolare l'assorbimento moltiplicando la densità di colonna di aria in direzione della stella considerata (in atomi o in grammi al centimetro quadrato) per l'opacità dell'aria a quella lunghezza d'onda (in centimetri quadrati per grammo o per atomo). Si ottiene in questo modo la profondità ottica, il cui logaritmo naturale dà l'attenuazione in Neper.

Diagrammi di opacità sono presentati nella figura 1.

La densità di colonna dei singoli gas non è facilmente calcolata, sia perché la composizione dell'atmosfera varia con la quota, sia perché una delle specie più importanti ai fini dell'assorbimento, il vapor d'acqua, varia di molto con le condizioni meteorologiche.

In letteratura si trovano allora più facilmente dei diagrammi (o tabelle) precalcolati per quote e condizioni standard, riferite per esempio ai più importanti siti astronomici.

Un esempio è la tabella 1, relativa al sito di Manua Kea (4200 m) e reperita in rete. In questo caso l'attenuazione è data in magnitudini per massa d'aria.

Si può confrontare con la figura 2, che riferisce l'attenuazione (in percentuale) allo zenit e al livello del mare.

Si noti che il declino della trasmissione percentuale alle lunghezze d'onda del blu e del violetto è dovuto alla diffusione e non all'assorbimento.

Per quanto riguarda la trasparenza atmosferica nell'infrarosso, essa dipende in maniera essenziale dalla densità di colonna del vapor d'acqua, e quindi dalla quota (ipotizzando condizioni meteorologiche ottimali). Sono ovviamente privilegiati i siti desertici e l'Antartide.

La figura 3 mostra la trasmissione atmosferica nell'infrarosso a 4.2, 14, 28 e 41 chilometri.

La figura 4 mostra la trasmissione dal suolo allo spazio per l'infrarosso. La

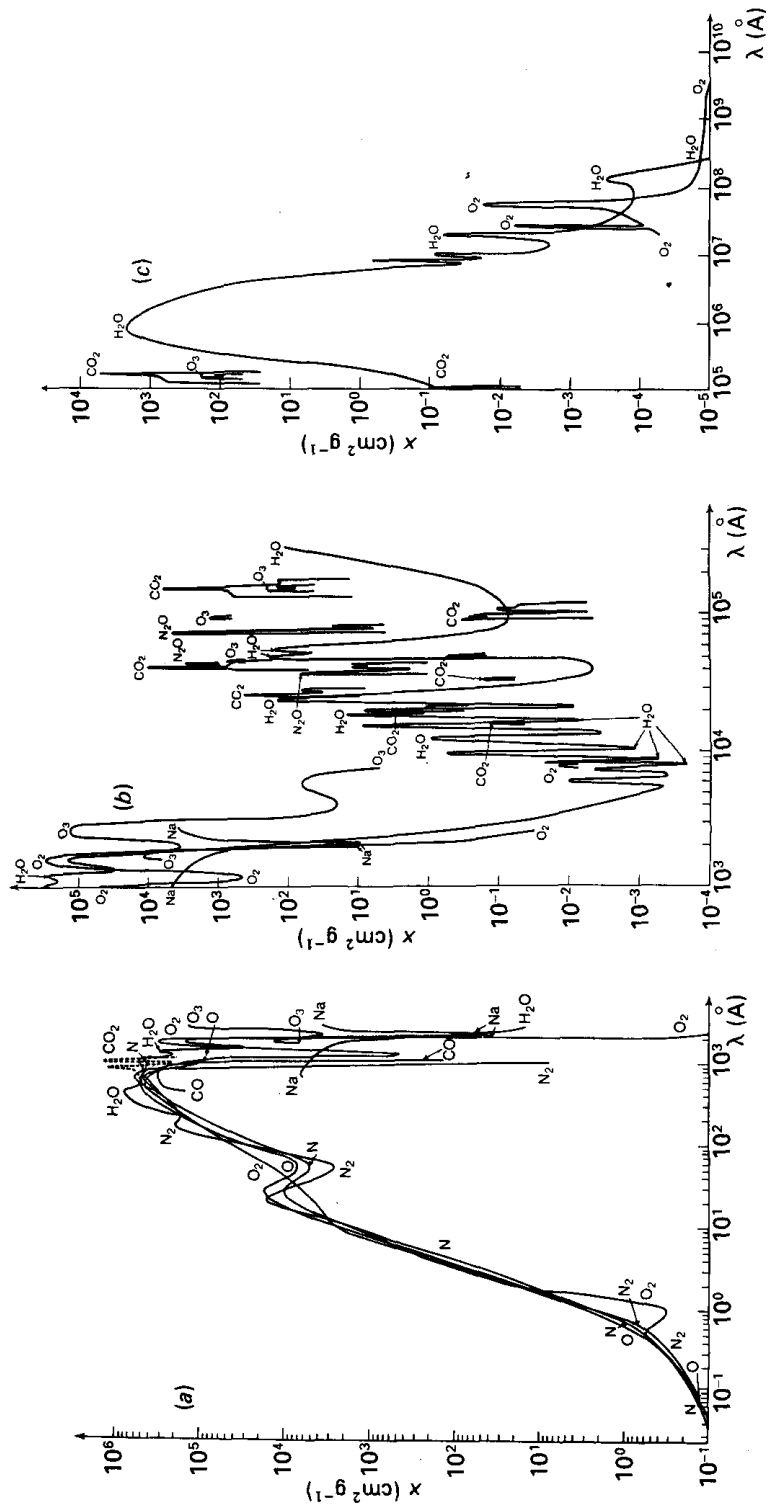


FIGURA 1. Attenuazione dei fotoni in funzione della lunghezza d'onda per vari costituenti dell'atmosfera. L'ordinata è il coefficiente di attenuazione di massa in  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ . (a) raggi X e EUV; (b) UV, ottico e infrarosso; (c) regione radio. Da Zombeck, adattato da Pecker, *Space observatories*, 1970.

TABELLA 1. Assorbimento atmosferico a Manua Kea

Lunghezza d'onda (nm)	Estinzione (mag / massa d'aria)
310	1.37
320	0.82
340	0.51
360	0.37
380	0.30
400	0.25
450	0.17
500	0.13
550	0.12
600	0.11
650	0.11
700	0.10
800	0.07
900	0.05

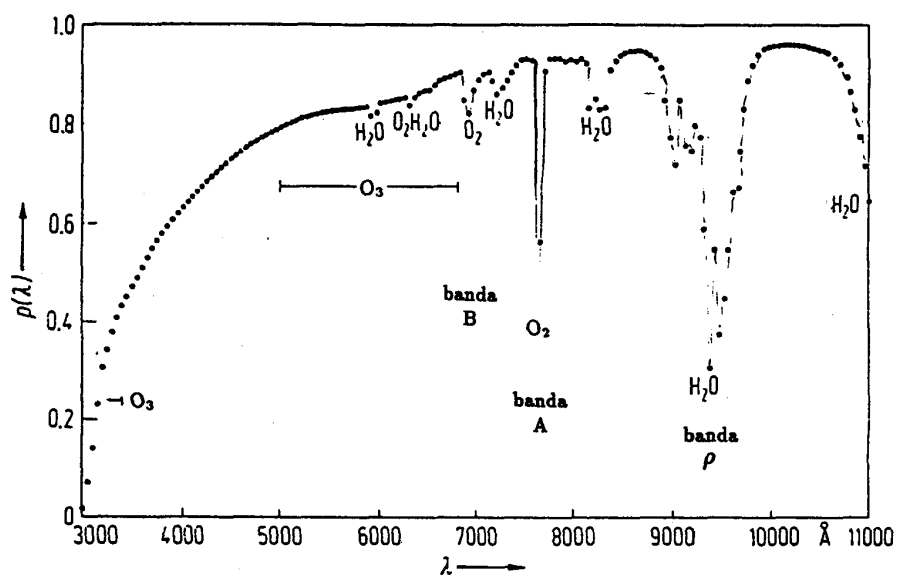


FIGURA 2. Trasmissione percentuale dell'atmosfera in funzione della lunghezza d'onda allo zenit e al livello del mare. Sono indicate le molecole maggiormente responsabili per l'assorbimento. Da Barbieri, *Lezioni di astronomia*, Zanichelli

scala lineare dei numeri d'onda maschera il grosso intervallo di oscuramento al di sotto di  $300 \text{ cm}^{-1}$ , ed esagera l'ampiezza della finestra radio, che a questa scala è quasi invisibile, essendo situata al di sotto di  $10 \text{ cm}^{-1}$  ( $300 \text{ GHz}$ ). I valori della trasmissione, specie in corrispondenza del centro delle bande (circa 100 %), mi

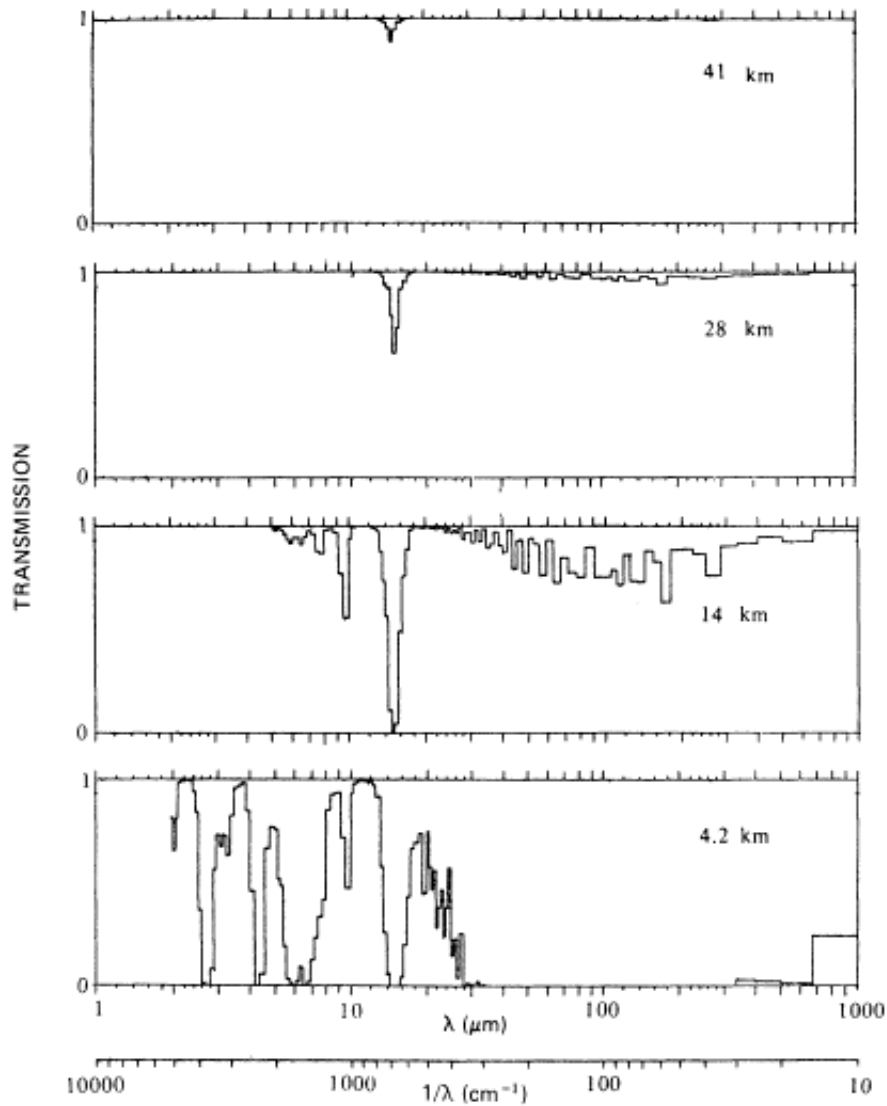


FIGURA 3. Trasmissione percentuale dell'atmosfera in funzione della lunghezza d'onda a quattro altitudini. Da Zombeck, che la riprende da Fazio, *Frontiers of Astrophysics*, Harvard University Press, 1976.

sembrano ottimistici. In ogni caso si vedono chiaramente le bande di trasmissione nell'infrarosso che prendono il nome di banda *I* (a  $11000\text{ cm}^{-1}$ ), banda *J* (a  $8000\text{ cm}^{-1}$ ), banda *K* (a  $6000\text{ cm}^{-1}$ ), banda *K* (a  $4500\text{ cm}^{-1}$ ), banda *L* (a  $2800\text{ cm}^{-1}$ ), banda *M* (a  $2000\text{ cm}^{-1}$ ), banda *N* (a  $1000\text{ cm}^{-1}$ ), banda *Q* (a  $500\text{ cm}^{-1}$ ).

I dati per Manua Kea sono riportati in tabella 2.

La finestra radio si estende tra 15 MHz e 300 GHz; il primo limite è dovuto alla riflessione da parte della ionosfera, il secondo limite è più convenzionale e segna

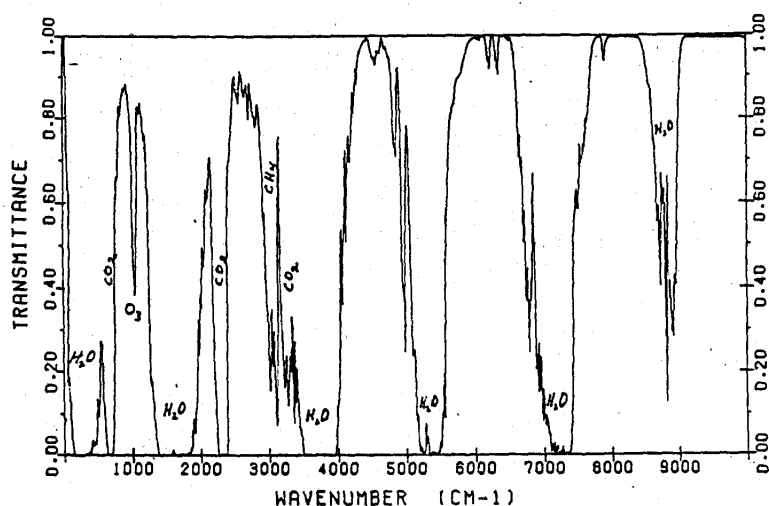


FIGURA 4. Trasmissione percentuale dell'atmosfera in funzione del numero d'onda dal suolo allo spazio. Elaborazione dalla U.S. Standard Atmosphere. Da S.A. Clough et al., in *Atmospheric transparency for satellite applications*, G. V. Silvestrini ed., 1986, pag. 290.

TABELLA 2. Assorbimento atmosferico infrarosso a Manua Kea. I dati indicati con asterisco sono misurati in banda stretta, gli altri in banda larga.

Lunghezza d'onda (nm)	Estinzione (mag / massa d'aria)
1.25 (J)	0.10
1.65 (H)	0.06
2.2 (K)	0.09
3.4 (L)	0.16
3.8 (L')	0.09
4.8 (M)	0.22
7.8*	0.46
8.7*	0.12
9.8*	0.15
10.0 (N)	0.15
10.3*	0.07
11.6*	0.08
12.5*	0.13
20.0 (Q)	0.42

il confine tra radioastronomia (che usa antenne) e astronomia infrarossa (che in queste lunghezze d'onda usa i bolometri).

L'aspetto che qui interessa della trasparenza atmosferica è illustrato in figura 5, in termini di opacità zenitale (in dB e Neper) in funzione della frequenza.

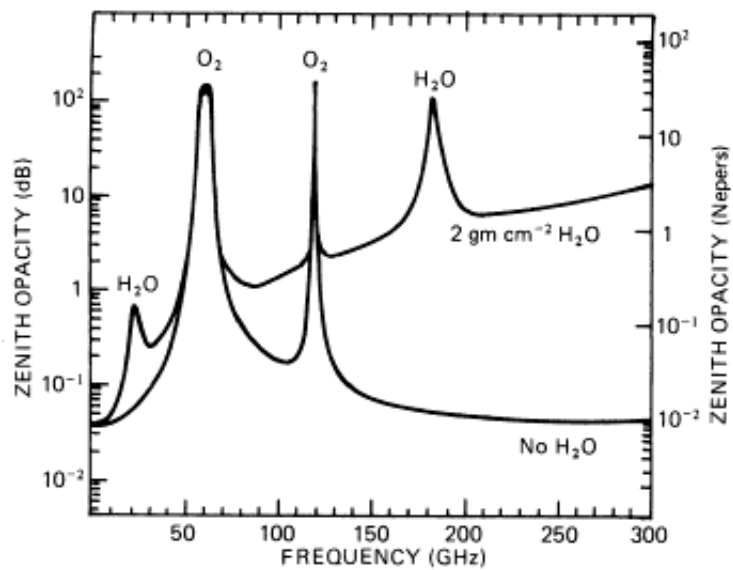


FIGURA 5. Opacità zenitale dell'atmosfera in funzione della frequenza per la banda radio. Da Zombeck, che lo riprende da Thompson, A.R. et al, *Interferometry and synthesis in Radio Astronomy*, Wiley-Interscience, 1976.