

verificano sulla superficie del Sole e che culminano con spettacolari e brillantissime eruzioni che proiettano materia solare – per lo più costituita da particelle cariche – fino a qualche milione di chilometri dal Sole. Quando tali particelle cariche in movimento si portano fino a qualche decina di migliaia di chilometri dalla Terra, modificano anche l'intensità, la conformazione e la simmetria del campo magnetico terrestre. Le influenze sulle attività umane sono molteplici, come indicato nella tabella seguente.

|                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| • Telefoni cellulari   | • Ripetitori TV                 |
| • Orologi atomici      | • Pipeline                      |
| • Satelliti in orbita  | • Esplorazioni geofisiche       |
| • Misure dell'ozono    | • Rilevamenti anti-sommergibili |
| • Trasmissioni radio   | • Linee elettriche              |
| • Passeggeri in aereo  | • Radar                         |
| • Astronauti in orbita | • Esperimenti nell'atmosfera    |

Tabella 2.4 – Le "vittime" delle tempeste magnetiche.

## ◇◇ 2.2.2 FENOMENI OTTICI NELL'ATMOSFERA

Le molecole d'aria, le polveri, le goccioline, i cristalli di ghiaccio delle nubi e le gocce di pioggia in sospensione nell'atmosfera provocano ovviamente effetti di assorbimento, riflessione, diffusione e rifrazione sui raggi in arrivo dal Sole. I fenomeni ottici che ne derivano sono in genere da annoverare tra i più grandiosi e i più affascinanti in natura.

### LA DIFFUSIONE DELLA LUCE E IL CIELO BLU

I fotoni della radiazione solare in larga misura (80-85%) riescono a raggiungere direttamente il suolo (*radiazione solare diretta*) senza subire alcuna interazione con l'ambiente atmosferico e conferendo pertanto alla luce il tipico colore bianco. La rimanente frazione invece, nell'urtare le molecole dell'aria e gli altri aerosol presenti nell'atmosfera, subisce un processo di *scattering*, ovvero viene diffusa in tutte le direzioni, anche se la porzione di fotoni diffusi in avanti è maggiore di quelli diffusi all'indietro o lateralmente. La porzione di luce diffusa e le direzioni prevalenti di diffusione dipendono dal rapporto tra il raggio  $r$  delle particelle e la lunghezza d'onda  $\lambda$  della radiazione incidente. Se il rapporto è molto piccolo – come nel caso delle molecole d'aria ( $r =$  qualche millesimo di micron) e dei fotoni della radiazione solare nel visibile ( $\lambda =$  qualche decimo di micron) – allora la diffusione segue la *legge di Rayleigh*, ovvero l'intensità della radiazione diffusa è inversamente proporzionale a  $\lambda^4$ . Questo significa che quanto minore è la lunghezza d'onda della radiazione, tanto maggiore è la sua deviazione. Dalla tabella 2.5 si riconosce quindi che tra i colori che compongono la radiazione solare visibile, quelli maggiormente diffusi sono nell'ordine il violetto e il blu, mentre la diffusione è modesta per l'arancione e il rosso.

## La radiazione e violetto: ecc

|                             | Violetto |
|-----------------------------|----------|
| $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ ) | 0,42     |
| $1/\lambda^4$               | 32       |

Tabella 2.5 – Lunghezza c

In realtà la diffusione rarefatta da avere visibile (0,5  $\mu\text{m}$ ). Tale ed è quindi tale strada su suolo le molecole e pertanto la luce non fumo della sigaretta via via che si diluisce Nello spazio interplanetario non viene ovv

### ROSSO DI SERA, SOLE AR

Quando le particelle della radiazione solare ghiaccio delle nubi allora la diffusione segue in tutte le direzioni suo naturale colore Tuttavia, se la nube

◇◇◇

La radiazione diffusa dall'atmosfera è composta in larga misura dai colori blu e violetto: ecco perché il cielo ci appare di colore blu.

◇◇◇

|                             | Violetto | Blu  | Verde | Giallo | Arancione | Rosso |
|-----------------------------|----------|------|-------|--------|-----------|-------|
| $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ ) | 0,42     | 0,48 | 0,52  | 0,56   | 0,60      | 0,72  |
| $1/\lambda^4$               | 32       | 19   | 14    | 10     | 8         | 4     |

Tabella 2.5 – Lunghezza d'onda e inverso della quarta potenza della lunghezza d'onda ( $1/\lambda^4$ ) per ogni colore.

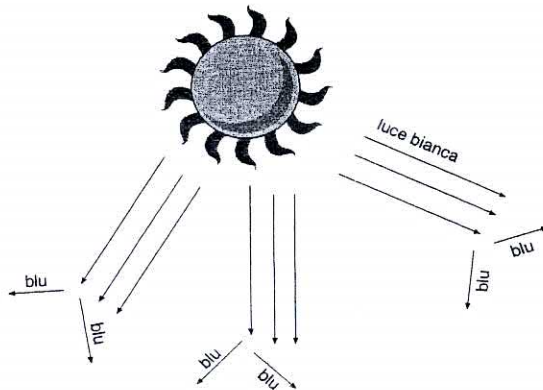


Figura 2.14 – Riflessione di Rayleigh da parte delle molecole d'aria.

In realtà la diffusione secondo Rayleigh avviene solo se le molecole d'aria sono abbastanza rarefatte da avere tra di loro una distanza superiore alla lunghezza d'onda della luce visibile ( $0,5 \mu\text{m}$ ). Tale condizione si riscontra solo intorno a 100 chilometri circa di altezza ed è quindi tale strato a conferire il tipico colore azzurro al cielo. Invece in prossimità del suolo le molecole sono troppo vicine per dare luogo alla diffusione secondo Rayleigh e pertanto la luce non appare di colore blu. Lo stesso comportamento lo si riscontra nel fumo della sigaretta che all'inizio, essendo molto concentrato, è quasi bianco, ma poi, via via che si diluisce nell'aria, assume una colorazione blu.

Nello spazio interplanetario, non essendovi molecole d'aria o aerosol, la luce solare diretta non viene ovviamente diffusa cosicché il cielo appare nero.

#### ROSSO DI SERA, SOLE ARANCIONE E RAGGIO VERDE

Quando le particelle hanno un raggio  $r$  comparabile con quello della lunghezza d'onda della radiazione solare – come nel caso del pulviscolo o delle goccioline e dei cristalli di ghiaccio delle nubi che hanno dimensioni dell'ordine di qualche decina di micron – allora la diffusione segue la *legge di Mie* ovvero i singoli colori della luce solare sono diffusi in tutte le direzioni con la medesima intensità cosicché la radiazione solare conserva il suo naturale colore bianco (Figura 2.15). Ecco perché le nuvole ci appaiono bianche! Tuttavia, se la nube ha uno spessore notevole – come, ad esempio, nei cumulonembi –

allora la quantità di luce diffusa in grado di riemergere verso il basso, alla base, è alquanto modesta cosicché la nube ci appare di colore scuro.

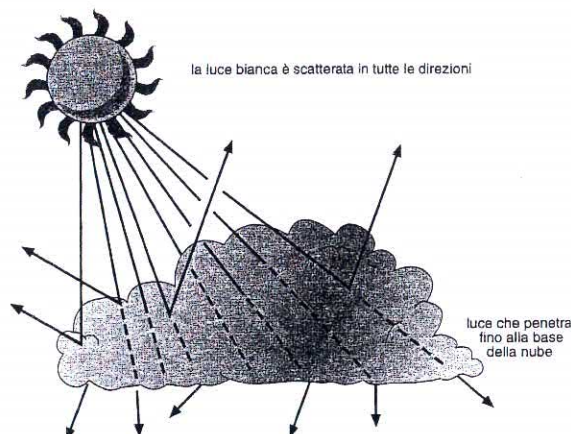


Figura 2.15 – Diffusione della luce solare da parte delle nubi.

La luce bianca diffusa dalle impurità tende a offuscare il colore blu del cielo. Di conseguenza un cielo biancastro è sintomo inequivocabile di un'elevata concentrazione di aerosol (polveri e/o goccioline di foschia).

Nelle ore centrali del giorno, in atmosfera libera da nubi e da impurità, i raggi solari, essendo perpendicolari alla superficie terrestre, attraversano uno strato atmosferico di spessore minore e pertanto anche la piccola porzione di luce visibile soggetta a scattering verso il blu riesce comunque a raggiungere quasi integralmente il suolo cosicché la luce solare mantiene quasi intatta la sua composizione. Ecco perché il Sole a mezzogiorno ci appare giallastro, il colore predominante nella radiazione visibile. Ma al tramonto, quando il Sole è appena 4-5 gradi sopra l'orizzonte, i raggi solari debbono percorrere un tragitto circa 12 volte più lungo che a mezzogiorno. Anche in questo caso all'inizio il colore più diffuso è ancora il blu, ma man mano che il raggio luminoso avanza nell'atmosfera tende a esaurire la componente blu – perché dispersa per diffusione – e poi quella verde; rimane, alla fine, il giallo-arancio e quindi, alla fine del tragitto, la luce assume tale colore, essendo gli altri ormai assenti. Ecco perché in atmosfera limpida il Sole al tramonto appare arancione.

Come appare invece il tramonto qualora nell'aria ci siano anche molte impurità, come polveri e goccioline di nubi? In questo caso gli aerosol provocano un forte scattering nel giallo e nel verde, i colori predominanti nella radiazione solare. Pertanto via via che il raggio luminoso avanza dal Sole verso il suolo, perde – oltre al blu diffuso dalle molecole d'aria – una porzione crescente di giallo e di verde cosicché alla fine predomina, il rosso, colore meno coinvolto nei processi di diffusione. Ecco perché con aria inquinata il Sole al tramonto appare rosso.

## All'alba e al tramonto la dispersione di luce

Uno dei fenomeni presenti durante i tramonti è la dispersione di luce. Questo fenomeno è detto: "diffusione"

I raggi solari che all'orizzonte visibili attraverso la atmosfera – dalle loro piccole luminosità

Talvolta, al tramonto, i raggi verdi. C'è un rischio prima di raggiungere il nocciolo della sfera vi è un'elevata concentrazione di particelle fortemente assorbenti che meno disturbano il raggio luminoso ma talvolta è oss

Il raggio luminoso è composto da:

- l'umidità
- l'orizzonte
- l'elevazione

Il motivo per cui il tramonto è rosso è dovuto alla dispersione di luce e alla presenza di particelle più grandi che disperdono i colori più brevi.

## LA RIFRAZIONE DELLA LUCE

Un'altra causa della dispersione di luce, cioè la dispersione di luce, è la rifrazione della luce.

◇◇◇

All'alba e al tramonto le nubi sono colorate di rosso, a causa della forte diffusione di luce gialla e verde da parte delle goccioline delle nubi.



◇◇◇

Uno dei più noti detti marinai dice: "Rosso di sera bel tempo si spera". Tenendo presente che, nei nostri mari, i fenomeni meteorologici si spostano, nella maggioranza dei casi, da Ovest verso Est e che l'inquinamento è elevato quando le correnti verticali che rimescolano l'atmosfera sono deboli o addirittura assenti e quindi quando l'aria è stabile, possiamo allora, perdendo la rima, rileggere il nostro detto: "Nelle prossime ore l'aria intorno a noi sarà stabile e non darà luogo a formazioni nuvolose"... ma in questo modo nessuno lo ricorderebbe e citerebbe.

I raggi solari che, anche dopo il tramonto, seguitano a raggiungere l'atmosfera prossima all'orizzonte visibile, vengono diffusi in tutte le direzioni – con i processi di Mie o di Rayleigh – dalle molecole e dalle impurità presenti nell'aria, conferendo al cielo la caratteristica luminosità del crepuscolo, la cui durata è dell'ordine di 30 minuti.

Talvolta, al tramonto o all'alba, appena al di sopra del disco solare possono essere osservati dei raggi verdi. Come già detto, quando il Sole è prossimo all'orizzonte, i raggi blu si esauriscono prima di arrivare al suolo, perché fortemente diffusi, cosicché la luce che riesce a raggiungere il nostro occhio è in prevalenza di colore arancione o rosso. Ma se nell'atmosfera vi è un'elevata concentrazione di vapore, allora anche l'arancione e il rosso vengono fortemente assorbiti e, di conseguenza, sono soprattutto i raggi verdi a predominare perché meno disturbati lungo il loro tragitto. Sfortunatamente la quantità di luce trasportata solo dal *raggio verde* è modesta e pertanto il fenomeno è raramente visibile a occhio nudo ma talvolta è osservabile momentaneamente per qualche secondo (*green flash*).



Il *raggio verde*, fenomeno piuttosto raro da osservare a terra, è molto più frequente da vedere in Oceano, per i seguenti motivi:

- l'umidità nei bassi strati è spesso molto elevata;
- l'orizzonte è spesso molto ben visibile;
- l'elevazione dell'occhio sull'orizzonte per un navigante è sempre bassa.

Il motivo più importante della maggiore frequenza delle osservazioni del raggio verde è comunque molto più banale: chi naviga ha la voglia e il tempo di osservare i fenomeni meteorologici e astronomici, e il tramonto è spesso uno dei migliori momenti in barca.

#### A RIFRAZIONE DELLA LUCE E IL SOLE APPARENTE

◇◇◇

Un'altra categoria di fenomeni ottici è legata al processo di *rifrazione della luce*, cioè la deviazione di traiettoria subita dai raggi luminosi ogni qualvolta passano da un mezzo trasparente a un altro di diversa densità.

◇◇◇