

Le fotometeore

Introduzione

Guardando verso il cielo per osservare gli astri, può capitare di assistere involontariamente a dei fenomeni atmosferici con colorazioni inusuali, che possono lasciare l'osservatore ammaliato ed incredulo. Nella nostra atmosfera spesso si manifestano molteplici apparizioni luminose, reali od irreali e dai variopinti colori. Anche se non è possibile, vorremmo fermare il tempo per osservarle e studiarle prima che svaniscano. Corone, pareli, aloni, arcobaleni, glorie... da sempre incuriosiscono i nostri sguardi come anche i miraggi incantano ed alimentano la fantasia popolare. Saper riconoscere e fotografare questi spettacoli del cielo significa riuscire a cogliere "l'attimo fuggente" di un fenomeno che la natura concede raramente. Il firmamento è una fonte d'ispirazione per tutta l'umanità, è pacifico quindi che l'osservazione delle fotometeore, degli astri, dei fenomeni crepuscolari e delle aurore boreali rappresenti un elemento essenziale per la cultura scientifica. Il cielo costituisce infatti l'altra metà del paesaggio, è la finestra aperta da cui entra la luce del pensiero umano, è lo stimolo della ricerca dei meteorologi e degli astronomi. Tuttavia, più velocemente di quanto crediamo, stiamo perdendo la capacità di osservare il cielo, diurno o notturno che sia, semplicemente perché stiamo perdendo la sensibilità verso tali fenomeni!

Questo articolo vuole essere uno strumento utile e semplice per poter riconoscere e fotografare le fotometeore ed i miraggi più conosciuti; contiene una serie di consigli e di accorgimenti pratici che un astrofilo dovrebbe considerare se volesse applicarsi in tale campo dell'Osservazione. Tralascieremo gli arcobaleni ed il raggio verde perché già trattati in altri articoli presenti su questo sito.

Le fotometeore

Con il termine meteora, dal greco *metéora* "fenomeno celeste", in astronomia si è soliti intendere un fenomeno luminoso derivante dall'attraversamento dell'atmosfera da parte di un solido extraterrestre chiamato meteorite. Nel linguaggio della meteorologia, invece, alla meteora si associa un evento osservato nella libera atmosfera o sulla superficie terrestre. Esso può consistere in una precipitazione liquida o solida, oppure in una manifestazione ottica, elettrica o sonora.

Le meteore vengono classificate in idrometeore (nebbia, neve, ghiaccio, pioggia...), in litometeore (fumo, tempesta di polvere...), in elettrometeore (aurora polare, lampo...) ed infine in fotometeore (corona, alone, parelio, arcobaleno...). Con quest'ultimo termine s'intende un fenomeno luminoso prodotto dalla riflessione, dalla rifrazione, dalla diffrazione o semplicemente dall'interferenza della luce solare, lunare o astrale con le particelle presenti nella bassa atmosfera (troposfera).

Lo storico tedesco di nimbologia¹ Wolkenpuff afferma che i vapori dell'atmosfera si dividono in tre gruppi fondamentali: gli iperionti, i perionti e gli iponti.

Gli iperionti sono le nuvole sopra l'osservatore, i perionti sono le nebbie e le foschie che avvolgono il medesimo e gli iponti sono quelli che si distendono ai suoi piedi. In questa ottica si possono suddividere le fotometeore: l'arcobaleno, la corona e l'alone appartengono agli iperionti; l'arcobaleno bianco, da nebbia o da foschia, è tipico dei perionti; la gloria si verifica solo negli iponti.

Corone ed iridescenze

Le nubi costituite da minuscole gocce d'acqua e cristalli di ghiaccio possono formare le corone quando passano davanti al Sole, alla Luna o, in rari casi, ad un astro con magnitudine visuale nulla o negativa. Esse sono costituite da una serie di cerchi colorati sovrapposti fra loro o disgiunti, con raggio variabile da alcuni primi d'arco a circa 10°. Si possono trasformare in iridescenze con colorazioni irregolari se gli anelli si sfilacciano; in questi casi il fenomeno può essere visto fino a 45° dal Sole. Gli anelli assumono i colori dello spettro con il rosso verso l'esterno a differenza degli aloni che hanno il rosso all'interno. Le nubi che generano le corone devono essere sottili e semitrasparenti, come possono esserlo gli altostrati, gli altocumuli, le nubi lenticolari ed i cirri. Si possono formare in ogni stagione ed in ogni luogo, sono molto frequenti le formazioni di iridescenze alle estremità delle nubi lenticolari in alta montagna. Esistono, inoltre, anche rari casi di formazione dovuta a grani di pollini.

Aloni e pareli

Quando la luce del Sole o della Luna passa attraverso i cristalli di ghiaccio esagonali dei cirri, può essere rifratta e formare i fenomeni alonari. Gli aloni si differenziano fra loro in base all'elevazione della fonte luminosa ed in base alla forma ed al movimento dei cristalli di ghiaccio che possono essere piatti od allungati.

Il parelio (conosciuto anche con i nomi di *sun dog* o di *mock sun*) può essere considerato un fenomeno alonare costituito da due macchie luminose poste alla stessa elevazione del Sole (o della Luna), con distanze angolari fisse ed opposte alla fonte luminosa. Le distanze sono generalmente pari a 22°; tuttavia, in condizioni rare, è possibile la formazione di una coppia anche a 46° dal Sole. Le macchie manifestano la colorazione tipica dell'iride con il rosso verso il Sole e spesso vengono scambiate per "oggetti volanti non identificati".

¹ La nimbologia è un ramo della meteorologia che studia la formazione, lo sviluppo e le forme delle nubi. Questo campo di studi è nato nel Medioevo, successivamente ha conosciuto l'apice tra il XIX ed il XX secolo. Tuttora sta segnando il passo a favore delle tecniche statistiche impiegate nella moderna meteorologia. L'opera fondamentale della simbologia del XX secolo è *Das wesen der Wolken von dem Wissenschaftlichen punkt aus*, Tubinga 1923, 3 volumi di G. Von Ap und zu Wolkenpuff.

I pareli si possono presentare associati ad un alone od isolati: sono associati se il Sole o la Luna sono molto bassi sull'orizzonte, in tal caso entrambi sono posti ad una distanza di 22° dall'astro; altrimenti, se questo è alto, i pareli si allargano fino a 24° dal Sole o dalla Luna, mentre l'alone rimane fisso a 22° .

Raramente si può assistere alla formazione di un cerchio parelico, ovvero nella manifestazione di una tenue stringa bianca che unisce i pareli con il Sole e che può arrivare ad estendersi fino a 360° . Su tale cerchio talvolta possono apparire delle vere e proprie code associate ai pareli.

Gli aloni possono avere un raggio di 22° o di 46° dal Sole ed il loro spessore può variare da un minimo di 9° ad un massimo di 35° . Gli aloni lunari sono più rari e sempre posti ad una distanza di 22° dalla Luna.

Esiste una vasta casistica di fenomeni alonari che prende il nome di archi; essi possono presentarsi a distanze angolari molto lontane fra loro e possono avere il centro della loro curva nel Sole, in posizioni antisolari o zenitali. Ai bordi inferiori dell'alone maggiore si possono manifestare simmetricamente gli archi infralaterali.

Di tali fenomeni è possibile visionare delle rappresentazioni con il simulatore virtuale gratuito "Halo" (<http://www.sundog.clara.co.uk/halo/halosim.htm>).

Colonna solare

Questo fenomeno consiste nella visione di una colonna luminosa che si estende dal disco solare verso il basso o verso l'alto e che si può anche verificare con il Sole situato pochi gradi sotto l'orizzonte. La causa di questa fotometeora è la riflessione della luce solare da parte di cristalli di ghiaccio orizzontali e paralleli fra loro.

Questo fenomeno è ben visibile nelle formazioni cirriformi vicine all'orizzonte in tutti i mesi dell'anno e nelle nebbie ghiacciate nei mesi invernali. In Italia si può formare facilmente nelle grandi pianure umide del Nord all'alba o al tramonto.

Subsun

Volando con un'aeromobile sopra un tappeto di cirri si può facilmente notare una luce bianca ovale molto intensa provenire dalle nubi. Tale luce potrebbe sembrare una riproduzione del disco solare posta al disotto dell'orizzonte tanti gradi quanto è alto il Sole.

La causa va addotta ai fini cristalli di ghiaccio appartenenti ai cirri che creano una riflessione paragonabile per natura alla corona solare, ma diversa nella forma: tonda od ellittica. In rari casi la fotometeora può essere circondata da una aureola o da un vero e proprio anello colorato (detto "Anello di Bottlinger").

Glorie

Talvolta si possono verificare fotometeore molto complesse come quella dello “*Spettro di Brocken*”, più conosciuta con il nome di “gloria”. Quando un osservatore, da una posizione elevata, come può essere una vetta di un monte, vede la propria ombra proiettata su un tappeto di nuvole al disotto dei suoi piedi, contornata da una corona, sta osservando la rarissima gloria. Sono molto frequenti le osservazioni del fenomeno effettuate dagli aeromobili in volo. Il gloria è un antelio, ovvero un fenomeno che si verifica nella direzione opposta al Sole.

La teoria formulata da Van De Hulst H. C. (in “*Light Scattering by Small particles*”, New York, 1957) afferma che gli anelli della gloria vengono formati da minuscole gocce e da cristalli di ghiaccio appartenenti ai cirri o alle nebbie; secondo tale studio il raggio degli anelli concentrici può variare da un minimo di 1.2° ad un massimo di 8.3°.

Raggi crepuscolari

Sono fasci luminosi alternati a bande scure provenienti dal Sole. Tali luci sembrano divergere per un effetto prospettico, in realtà sono parallele fra di loro.

La causa è la dispersione della luce solare causata dalle molecole e dalle particelle come polvere, caligine, foschia, nebbia o velature. I raggi crepuscolari si possono vedere apparire improvvisamente tra i bordi dei cumulonembi, tra le cime delle montagne, oppure vicino all’orizzonte prima del tramonto (come nella foto) o dopo l’alba.

Illusioni ottiche

Le illusioni ottiche in cielo possono essere di natura sia fisica sia fisiologica – cerebrale. Nel primo caso si parla di deformazioni derivanti da vere e proprie incurvature che subiscono i raggi luminosi quando attraversano zone d’atmosfera disomogenee, come quelle desertiche o marine; nel secondo caso si tratta di inganni derivanti dai processi cognitivi.

Illusioni ottiche fisiche: i miraggi

Talvolta il senso della vista viene ingannato, l’osservatore perde così gli opportuni punti di riferimento nel riconoscere razionalmente un fenomeno reale. Stiamo parlando di illusioni ottiche, ovvero di tranelli che la natura sottende facendo percepire erroneamente la posizione o le dimensioni di oggetti fisici.

In particolari condizioni meteorologiche ed orografiche oggetti posti a grande distanza dall’osservatore possono produrre immagini virtuali ed essere visti deformati o capovolti, anche da diversi osservatori distanti fra loro molti chilometri.

La causa prima di tali illusioni sono gli elevati gradienti verticali termici e barici di alcune porzioni d’aria vicine alla superficie del suolo nelle stagioni calde. Gli strati dell’atmosfera più bassi, a contatto

diretto con il suolo, a causa dell'irraggiamento, si riscaldano maggiormente rispetto a quelli superiori; successivamente, se non si producono correnti ascensionali, si vengono a creare sia un vero e proprio tappeto di aria calda instabile sul suolo sia una variazione verticale di densità dell'aria tale da produrre fenomeni ottici di rifrazione e di riflessione. In questo caso i raggi luminosi (ovvero l'immagine) che attraversano questo spessore di aria vengono incurvati, riflessi ed inviati a grandi distanze, come se al suolo ci fosse uno specchio deformante.

Questi fenomeni si possono comunemente classificare in “miraggi superiori” se l'osservatore crede di essere al di sopra dell'oggetto osservato, ed in “miraggi inferiori” se, viceversa, si reputa di essere al di sotto di ciò che si osserva. In quest'ultimo caso i raggi luminosi vengono deformati con un andamento parabolico.

Il fenomeno del miraggio generalmente si osserva su desertiche distese sabbiose o sul mare, dove la temperatura del suolo o dell'acqua è sensibilmente superiore a quella dell'aria sovrastante. Nei mesi più caldi l'illusione può avvenire sulle roventi distese d'asfalto o perfino vicino a superfici verticali. Si hanno i miraggi anche quando lo spessore d'aria calda galleggia tra due strati più freddi, così si possono vedere navi ed iceberg sospesi a mezz'aria, o stravaganti deformazioni del disco solare come il rarissimo fenomeno del “Novaya Zemlya” o del Sole ad “Omega”.

Vediamo ora i più comuni tipi di miraggi:

Novaya Zemlya

L'illusione ottica del “Novaya Zemlya” è un “miraggio superiore” e consiste nel vedere il disco solare, durante il tramonto, deformato così tanto da apparire come una sottile striscia di luce che si distende lungo la curvatura dell'orizzonte marino per molti gradi di azimut. Il fenomeno può durare diversi minuti e prende nome dall'arcipelago di Novaya Zemlya (C. S. I.), nel Mar Glaciale Artico, dove sembra essere stato osservato per la prima volta.

Fata Morgana

Anche l'illusione ottica della “Fata Morgana” è un “miraggio superiore”. Può essere osservata frequentemente sull'orizzonte marino, ove le forti inversioni di temperatura provocano immagini deformi, fluttuanti e sovrapposte, simili a colonne o torri. Il nome deriva da una espressione usata dai navigatori italiani nel Mediterraneo durante il XV secolo. Il fenomeno sembra manifestarsi con maggiore intensità nello Stretto di Messina, sulle distese desertiche del Centro America e sulle larghe piste d'atterraggio degli aeroporti.

Sole ad “Omega”

L'illusione del Sole ad “Omega” consiste nel vedere l'immagine solare che prende la forma di un salvadanaio o della lettera dell'alfabeto greco Omega e può essere classificato come “miraggio

inferiore”. L’immagine è costituita, nella parte superiore, dal disco solare reale unito, nella parte inferiore, all’immagine virtuale del Sole riflessa sia dal mare, sia da uno strato d’aria calda appena sopra l’orizzonte.

Le deformazioni del disco solare variano con la sua elevazione ed il numero degli strati d’aria contigui, caratterizzati dai diversi gradienti termici e barici: il disco solare può apparire come una Omega rovesciata se l’inversione termica avviene molto distante dall’orizzonte (miraggio superiore); come un “cubo” se il tappeto d’aria rifrangente taglia a metà il disco solare e quindi riflette la parte superiore dell’astro capovolta e schiacciata. Se persistono molti strati d’aria sovrapposti fra loro si potrebbe notare il Sole deformato a “pentagono”, oppure a “fungo”, a “fungo rovesciato”, a “goccia”, a “piramide”, o addirittura con i lembi esterni sfilacciati, come se si stesse osservando un quadro astratto.

Per poter ammirare e fotografare queste meravigliose deformazioni, si deve avere la possibilità d’osservare l’orizzonte marino da una posizione elevata e libera da ostacoli; il cielo deve essere limpido come durante le fredde giornate invernali, quando spira la tramontana o durante i secchi anticiclone estivi.

Rifrazione astronomica

Un’altra comune illusione è la rifrazione astronomica che consiste nella deviazione dello spettro elettromagnetico visibile, proveniente dall’esterno dell’atmosfera terrestre, da parte di strati d’aria di diversa densità. Tale deformazione consiste in un incremento di declinazione degli astri sulla volta celeste, ovvero in un innalzamento dell’oggetto rispetto alla sua posizione reale nello spazio. Questo significa che la rifrazione ritarda il tempo del tramonto degli astri e ne anticipa il loro sorgere. Questo tipo di illusione ottica è ovviamente nulla allo zenit e massima all’orizzonte.

Black drop

Della black drop, letteralmente “goccia nera”, s’è parlato recentemente durante il transito di Mercurio. Questo fenomeno consiste nel vedere il disco di un pianeta a forma di goccia durante le fasi iniziali e finali di un transito. Non si conosce con esattezza il meccanismo fisico legato alla formazione della goccia, tuttavia esiste una teoria del 1922, proposta dal Prof. Guido Horn d’Arturo (allora direttore dell’Osservatorio Astronomico di Bologna), la quale sostiene che la forma distorta del disco derivi da un’errata percezione del corpo celeste dovuto all’astigmatismo dell’osservatore. L’astigmatismo è un diffuso difetto della cornea che fa apparire i dischi planetari allungati o schiacciati ai Poli.

Nella comunità scientifica molti astronomi non credono che il fenomeno sia legato ad un’illusione ottica ed hanno tentato di dare una spiegazione con una serie di teorie fisico – astronomiche; tuttavia permangono ancora dei dubbi.

Illusioni ottiche fisiologiche – cerebrali

Spesso il voler vedere ardentemente un fenomeno inganna la psiche dell'osservatore: il fenomeno non si verifica, quindi la pupilla non lo vede, ma come per la visione del raggio verde, il cervello lo crea soggettivamente ed illude l'osservatore, che lo vede solo perché è suggestionato dal desiderio di osservarlo. Questo meccanismo cerebrale è stato studiato fin dall'antichità: illustri filosofi come Aristotele, Tolomeo o Confucio cercarono di analizzarlo.

Usualmente la mente cerca di effettuare dei paragoni tra gli oggetti che conosce meglio e quelli osservati tendendo ad ingrandire le dimensioni del fenomeno meno conosciuto; quando, invece, non riesce a trovare il termine di paragone, non avviene nessuna deformazione. Questo è sperimentabile nell'osservare il Sole o la Luna quando sono bassi sull'orizzonte e vicini a colline, monti, edifici... Si può notare che appaiono più grandi di come lo siano in realtà, proprio per i paragoni effettuati dai processi cerebrali tra ciò che si conosce bene (orizzonte terrestre, edifici) e quello che è osservato in cielo.

Probabilmente una tra le illusioni più diffuse, anche se spesso è ignorata, è quella costituita dall'errata visione della sfera celeste, la quale appare erroneamente come se fosse un lenzuolo piatto ed allungato tra l'orizzonte e lo zenit. Gauss ha spiegato che questa percezione è dovuta alla postura fisiologica dell'uomo: gli occhi sono disposti orizzontalmente e per guardare in alto si devono compiere dei movimenti muscolari inusuali che servono per spostare la testa, così la mente viene influenzata negativamente tanto da alterare la percezione visiva.

Per quanto strano, si deve imparare ad osservare: se gli occhi non sono allenati a vedere un fenomeno fuori dal comune (ad esempio la superficie planetaria attraverso il telescopio) non riescono a trasmettere i giusti impulsi al cervello, il quale a sua volta non è in grado di elaborare prontamente i nuovi segnali ricevuti. Ne consegue che il meccanismo della ricezione/percezione umana si trova impreparato ed inganna la psiche dell'osservatore.

Si possono verificare vere e proprie deformazioni geometriche o cromatiche, quando si osservano i dettagli delle superfici planetarie; si verifica che gli astrofili meno esperti, volendo inconsciamente vedere sempre più dettagli, superino i limiti fisici della combinazione "cervello – occhio – telescopio" così da far compiere alle cellule cerebrali delle errate integrazioni, non riuscendo più a percepire correttamente la forma e le sfumature dei dettagli osservati; ne consegue che gli osservatori poco esperti credono di vedere, in modo errato, più dettagli di altri meglio equipaggiati. Per evitare questa illusione si dovrebbe allenare il sistema occhio – cervello con alcuni esercizi propedeutici. Così con l'esperienza si può passare dal "vedere" al "saper osservare".

Da un punto di vista strettamente fisiologico le differenze fra "il vedere" ed "il saper osservare" potrebbero essere ricondotte alla visione tridimensionale. La percezione della tridimensionalità non è altro che la costruzione mentale – virtuale effettuata dal soggetto dopo aver percepito l'immagine sulla

propria retina in modo bidimensionale. Il problema è quindi spiegare come avviene il meccanismo della percezione e capire quali sono le determinanti che la influenzano

La percezione

Non trattiamo le complesse teorie dedicate ai processi percettivi perché ciò esula dallo scopo di questo lavoro, quindi ci limitiamo semplicemente ad accennare i principali filoni di ricerca.

Per comprendere meglio cosa sia la “percezione” è utile citare il Nobel Rita Levi Montalcini che la definisce come *“atto della coscienza con cui si acquista consapevolezza di un oggetto esterno attraverso l’interpretazione degli stimoli sensoriali che da esso provengono o mediante un procedimento intuitivo”*; un ulteriore aiuto proviene dal Prof. H. Rheingold (in *La Realtà virtuale*, Baskerville, Bologna 1993) il quale afferma: *”...costruiamo modelli del mondo all’interno della nostra mente, utilizziamo i dati provenienti dai nostri organi di senso e le capacità di elaborazione dell’informazione del nostro cervello,...quello che vediamo è in realtà un modello mentale, una simulazione percettiva che esiste soltanto all’interno del nostro cervello...”*.

La percezione rappresenta quindi lo stadio successivo all’acquisizione dell’immagine: il cervello, dopo che gli occhi hanno convertito gli stimoli luminosi in informazioni neurali, codifica le informazioni e ricostruisce l’immagine per poi interpretare il mondo che ci circonda; questa è la ragione per cui si vedono persone e paesaggi invece di punti, linee o sfumature di colori.

La possibilità che ha un osservatore di riconoscere se stia realmente osservando un fenomeno reale o se sia inconsciamente ingannato dai suoi stessi processi fisiologici – cerebrali è oggetto di studio delle teorie di Psicologia che hanno come scopo lo studio la conoscenza. La dinamica percettiva della conoscenza è il fenomeno alla base dei fenomeni ottico – cognitivi (ed quindi anche la causa scatenante delle illusioni ottiche), che inglobano una vasta gamma di espressioni logiche, emotive e sensoriali.

La “Psicologia della Gestalt” afferma che nel cervello esistono delle sagome precostituite con le quali viene confrontata l’informazione visiva percepita in ingresso; se questo confronto dà esito positivo l’informazione viene riconosciuta come identica alla sagoma e quindi collocata in una certa categoria d’appartenenza, altrimenti il sistema percettivo altera la visione e quindi inganna l’osservatore creando appunto un’illusione ottica fisiologica.

Un altro approccio è la “Teoria dell’Informazione Strutturale”; essa sostiene che l’immagine percepita dal “sistema occhio – cervello” è quella che contiene in sé il minimo numero di informazioni necessarie a ricostruirla. In particolare, gli elementi della visione vengono tradotti in un codice che viene a sua volta confrontato con altri simboli precostituiti, utili al riconoscimento finale.

Entrambe le teorie sopra citate focalizzano l’attenzione sugli aspetti costruttivi dei processi percettivi, tuttavia esistono anche altri approcci che adottano visioni molto differenti fra loro, tra le quali si può

ricordare la “Teoria Gibsoniana della Percezione”. Gibson considera come un unico sistema l’osservatore e l’ambiente esterno, quindi la percezione non viene più vista come un processo mentale soggettivo, ma come un meccanismo di interazione uomo – ambiente. L’autore introduce inoltre il concetto della “persistenza del percetto” che assume un ruolo rilevante in presenza delle illusioni ottiche: si continua a percepire un oggetto per un breve periodo anche dopo che è cessata la sua visione.

Nell’ambito degli studi della relazione percezione – attenzione, segnaliamo anche la “Teoria Neurofisiologica dei processi attentivi” secondo la quale gli stimoli percepiti dall’esterno danno luogo alla comparsa di uno stato di allerta dell’organismo. Se la visione corrisponde ad immagini già conosciute, la corteccia cerebrale invia un segnale che blocca l’attenzione dell’osservatore; in caso contrario se tali elementi sembrano nuovi rispetto ai modelli preesistenti, il sistema reticolare si attiva creando uno stato di allerta nell’organismo. Tale situazione di tensione può provocare una distorsione dell’immagine e, quindi, un’illusione ottico – fisiologica, soprattutto se il soggetto è influenzato da elementi emotivi, quali il forte desiderio di vedere il fenomeno.

Marco Meniero, Andreina Ricco

Bibliografia

Lecture consigliate sulle fotometeore ed i miraggi:

- Aguado E., Burt J.E., “Weather & Climate”, II ed., Prentice Hall, Upper Waddle River, NJ 07458, U.K.
- Bernacca E., “Che tempo farà”, ed. Mondadori, Milano, 1971
- Bone N., “Meteors”, Sky Publishing Corporation, Cambridge, 1993
- Boyer, C.B., “The rainbow”, Princeton University Press, Princeton, 1987
- Brown P. L., “Il libro delle stelle”, Mursia, Milano, 1975
- Candy P., “Le meraviglie del cielo”, Il Castello, 1997
- Caroselli G., “Il tempo per tutti”, Mursia, Milano, 1995
- Cecchini G., “Il cielo” vol. I, II, Unione Tipografico – ed. Torinese, Torino, 1969
- Colella G., Meteorologia Aeronautica, IBM editore, 2001
- Colin A. R., “Come osservare il cielo”, Istituto Geografico De Agostani, Novara, 1997
- De La Cotardièrre, P. “Dizionario di astronomia” Gremese Editore-Larousse, Roma, 1989

- Ferreri W., “Come osservare il cielo con il mio primo telescopio”, Il Castello, Milano, 1995
- Gadsden M., Schroeder W., “Noctilucent clouds”, Springer Verlag, Berlino, 1989
- Greenler R. “Rainbows, Halos, and Glories”, Cambridge University Press, Cambridge, 1980, CB2 2RU, U.K.
- Houze R. A. Jr., ‘Cloud dynamics’, Accademic Press Inc., San Diego, Ca, 1993
- Iago L., “Aurora Boreale”, Rizzoli, Milano, 2001
- Ludlum D. M., “Weather”, Harper Collins Publisher, 77 – 85 Fulham Palace Rd., London, W6 8JB, U. K.
- Lynch D. K., Livingston W., “Color and Light in Nature” II ed., Cambridge University Press, Cambridge, CB2 2RU, U.K.
- Maraini F., Roiter S., “Il Nuvolario”, Marsilio
- O’Connel D. J. H., Treusch C., ‘The green flash and other low sun phenomena’, North Holland Publications Co., Amsterdam, 1958
- Syun – Ichi A., “La dinamica dell’aurora polare”, tratto da Quaderni - Le Scienze (Sole e Terra n. 80, 1984)
- Tanga P., Falorni M., “Osservare i pianeti”, Media Press, 1994
- Tape W., “Atmospheric halos”, American Geophysical Union, Washington D.C., 1994

Lecture consigliate sui processi cognitivi:

- Attneave F., “Some informational aspects of visual perception”, Psychological Review, n. 61
- Bara B. G., “Scienza Cognitiva”, Torino, Bollati Boringhieri
- Benjafield, J. B. “Psicologia dei Processi Cognitivi”, Il Mulino, 1995
- Benjafield, J. B., “Cognition”, Englewood Cliffs, N. J., Prentice – Hall
- Cesa – Bianchi M., Beretta A., Luccio R., “La percezione”, Milano, 1970
- Gilden D. L., Schmuckler M. A., “The perception of natural contour”, Psychological Review, n. 100
- Hubel D., Occhio, cervello e visione”, Nuovi classici della Scienza, Zanichelli, Bologna, 1991
- Lindsay P. H., Norman D. A., “L’uomo elaboratore d’informazioni” (trad. italiana di Giunti Barbera)
- Montalcini R. L., “La galassia mente”, Baldini & Castaldi, Milano, 1999
- Penna M. P., Pessa E., “Le interfacce uomo – macchina”, Di Renzo Editore, 1996
- Pessa E., Penna M. P., “La Rappresentazione della Conoscenza. Introduzione alla Psicologia dei Processi Cognitivi”, Armando Editore, 1994