

CoeLux®

L'ESPERIENZA QUOTIDIANA ALLA LUCE DEL SOLE

di Paolo Ragazzi*

Che esperienza è quella che facciamo tramite i nostri occhi? Da dove viene la luce che entra nel nostro bulbo oculare e trasmette dei segnali al nostro cervello? Ma soprattutto, cosa vediamo?

Una recente innovazione tecnologica, realizzata da uno spin-off dell'Università dell'Insubria di Como, ci consente di compiere un originale percorso alla scoperta della luce nei suoi aspetti più comuni.

** Dottorando presso il Dipartimento di Scienza a Alta Tecnologia dell'Università dell'Insubria di Como. Collabora con la start-up CoeLux®.*

Chi ha studiato un po' di Fisica, certamente sa che l'Optica (quel ramo della Fisica che studia la luce) usa diversi modelli per descrivere la luce.

In questo articolo verranno esposti alcuni semplici aspetti della luce, non con un approccio strettamente scientifico (sebbene ci sarà qualche riferimento alla Fisica), bensì da un punto di vista esperienziale, come possono essere osservati e vissuti da tutti. I diversi spunti che sono riportati sono tutti rintracciabili nella tecnologia CoeLux®, recente innovazione che aspira a rivoluzionare l'illuminazione artificiale.

Il raggio di luce

Per «luce» intendiamo quella particolare onda elettromagnetica (oscillazione regolare dei campi elettrico e magnetico) visibile con gli occhi. Senza affrontare l'articolato argomento «elettromagnetismo», è possibile comunque sottolineare alcune caratteristiche interessanti della luce.

Anzitutto, vale la pena notare i tre elementi fondamentali del fenomeno luminoso: la sorgente, il rivelatore (cioè l'occhio) e la modalità in cui si propaga il segnale (ovvero l'onda). Ben prima di qualsiasi spiegazione scientifica, il bambino impara che può coprire gli occhi con le mani e «bloccare» la vista: basta chiudere il rivelatore e nessun segnale viene più trasmesso al nostro cervello.

Ma è sufficiente osservare le ombre per capire un altro aspetto fondamentale della luce: essa normalmente propaga seguendo linee rettilinee. Ora, può sembrare facile intuire qual è la sorgente luminosa: quando essa è brillante e splende incontrastata e, magari, possiamo addirittura spegnerla e accenderla, a nessuno vengono dubbi nell'identificare quale sia il punto di partenza della luce.

Eppure con i nostri occhi noi non vediamo solo oggetti che *emettono* luce (per esempio la lampadina nella stanza), ma tutti gli oggetti *da cui ci arriva* la luce. Bisogna capire, qui, che la luce è un segnale: parte dalla sorgente, ma viene «rimbalzato» (riflesso) anche da tutti gli altri oggetti che le sono attorno. In questo senso, essi diventano *sorgenti secondarie*.

Immaginiamoci un cielo stellato: le stelle brillano di luce propria, sono le sorgenti, e il



mio occhio le vede, una ad una. La luce, o per meglio comprendere, un raggio di luce, è partito dalla stella e ha «centrato» la mia pupilla, avendo percorso la retta che unisce me e la stella (che impressione se pensiamo a quanta strada ha percorso!). Dall'angolo buio del cielo però nessun raggio è partito e io vedo l'oscurità, cioè non vedo niente. Nessun oggetto, in quella parte dell'Universo, ha emesso, o riflesso, un raggio di luce verso la mia pupilla, e quindi, osservando quella zona del cielo, io non vedo niente.

Consideriamo un altro esempio: quando accendo la lampadina nella mia camera, il filamento incandescente è la sorgente, che irradia la sua luce in tutte le direzioni; ma una sola è la direzione che centra la mia pupilla: è la retta che unisce il mio occhio alla lampadina. Infatti, se interpongo una mano, la lampadina scompare alla mia vista; però, l'aver messo un ostacolo fra la sorgente e il rivelatore non vuol per forza dire che non vedrò più niente (provate nella stanza con la vostra lampadina!).

Da dove arriva dunque tutta la luce che ancora c'è nel mio occhio? Perché non vedo l'oscurità? Ecco dunque le *sorgenti secondarie*: tutti gli oggetti che ci sono nella mia camera si colorano, illuminati dalla lampadina, e ri-emettono il segnale che quella ha lanciato. Da ciascuno di questi oggetti, nuove sorgenti, c'è un raggio che, seguendo una traiettoria rettilinea, centra il mio occhio. Per questo li vedo. Così, guardando l'oggetto, osservo in qualche modo la sorgente: se si spegne la sorgente non vedo più nulla; invece, quando la sorgente è accesa e osservo l'oggetto vedo il segnale della sorgente, così come l'oggetto è stato capace di «rimbalzarlo» verso di me.

Il Sole, il cielo e l'occhio

Immaginiamoci ora la luce del giorno: un bel Sole splendente illumina il paesaggio. Tutto qui? No, abbiamo già detto che ogni oggetto illuminato diventa una sorgente secondaria; ma in più, nella luce di un bel giorno soleggiato, c'è un elemento fondamentale, e anche leggermente diverso.

Per comprenderlo in maniera intuitiva, e tuttavia approfondita, dobbiamo ancora una volta osservare l'ombra.

L'ombra, ovvero una zona dove c'è meno luce, è un punto da cui non è possibile vedere il Sole: un oggetto impedisce alla luce, generata dalla stella, di arrivare direttamente (con un cammino rettilineo) in quel punto. Chiediamoci: quel punto riceve luce da qualche parte, per esempio da una sorgente secondaria?

È utile qui richiamare un altro concetto fondamentale, anche se espresso nella sua forma più semplice: la reversibilità del cammino ottico. Infatti, se io vedo una sorgente, anche questa «vede» me. Il tragitto che la luce percorre, essendo in tutti questi casi rettilineo, è unico nello spazio che ci separa.

Torniamo all'esempio e immaginiamoci di essere nell'ombra. Certamente non vedrò il Sole (sono nell'ombra); allora cosa vedo? C'è una gigantesca sorgente secondaria: il cielo! L'aver interposto un ostacolo fra me e il Sole non mi impedisce di vedere tutta la volta celeste del cielo.

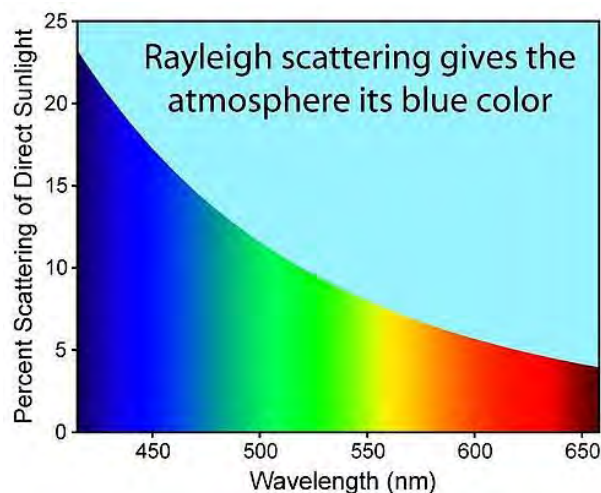
Ma il cielo, cos'è? L'atmosfera è fatta di aria trasparente, e, secondo la legge dello *scattering di Rayleigh* diffonde parte della luce solare. Con complessi calcoli dell'Ottica ondulatoria si riesce a descrivere in maniera accurata i dettagli di questo fenomeno: delle piccole variazioni di densità dell'aria (di scala nanometrica) presenti nell'atmosfera intercettano la luce solare e ne cambiano la direzione, in un certo senso la «rimbalzano».

Si verifica, perciò, che la luce viene diffusa in misura inversamente proporzionale alla sua lunghezza d'onda, in particolare seguendo una legge che contiene la quarta potenza di questa grandezza. Cosa significa? Per capirlo osserviamo lo spettro elettromagnetico nella banda del visibile e, sovrapposta ad esso, la curva che indica la quantità di luce del Sole che verrà diffusa dal cielo, in porzione differente per ciascuna lunghezza d'onda.

È facile constatare che l'effetto sarà molto diverso per la radiazione blu e per la radiazione rossa, essendo la prima molto più diffusa della seconda: per questo il cielo è azzurro! Allora l'intera cupola che sovrasta il nostro paesaggio diventa una enorme sorgente secondaria. Il nostro occhio quindi vede arrivare della luce – originata dal Sole – diffusa dall'aria trasparente.

$$I_{diff} \propto \frac{I_0}{\lambda^4}$$

L'intensità diffusa tramite lo scattering di Rayleigh è proporzionale all'intensità della luce incidente e inversamente proporzionale alla quarta potenza della lunghezza d'onda.



La porzione di luce diffusa dal cielo, colore per colore. Il cielo è azzurro perché le lunghezze d'onda «lunghe» sono molto meno diffuse rispetto a quelle «corte» (by Robert A. Rohde)

Per questo non è sufficiente intercettare la luce del Sole per creare un'ombra nera: il cielo continuerà a illuminare quel punto. Infatti, con un minimo di attenzione si può notare che l'ombra non è né nera né grigia, ma azzurra!

Luca naturale e sistema visivo

A questo punto risultano evidenti notevoli differenze fra l'illuminazione che c'è all'aperto e la tradizionale luce artificiale, mentre già emerge il punto di forza della tecnologia sviluppata da CoeLux® – che comunque è luce artificiale – nell'utilizzare lo stesso processo fisico che diffonde la luce «creando» il cielo.

Prima di parlare di questa innovazione, però, è interessante notare altre caratteristiche della luce naturale, e anche alcune relazioni che questa ha con l'occhio e il corpo umano.

Infatti, esistono diversi argomenti che esplicitano un legame fra l'occhio e la realtà così come è fatta: un esempio famoso è la particolare sensibilità dell'occhio nell'intervallo di lunghezze d'onda di massima emissione da parte del Sole. Alcuni effetti, però, sono proprio legati alla esistenza del cielo.

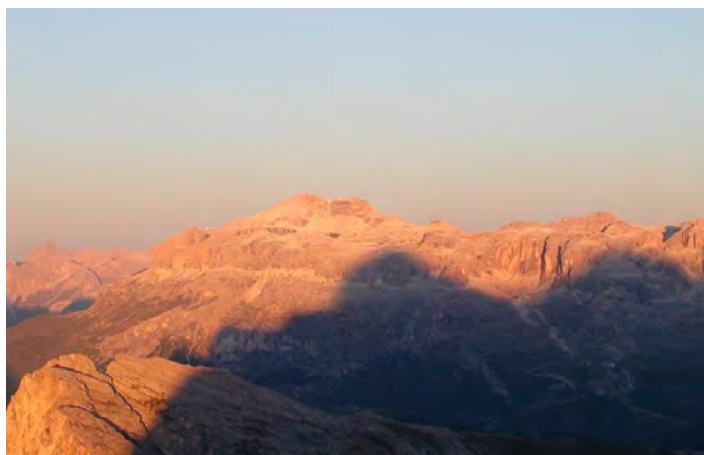
Dobbiamo notare qui che la compresenza del cielo e del Sole è una caratteristica propria dell'illuminazione naturale che c'è durante il giorno.

Certamente non bisogna dimenticare la varietà della luce naturale: basti pensare a un cielo plumbeo o pieno di nuvole bianche, alla luce dell'alba o alla particolare luce che c'è tipicamente quando osserviamo un arcobaleno. La realtà, anche da un punto di vista dello spettacolo che ci offre, è stupefacente; ed è una ricchezza immensa. Il corpo umano si è «adattato» per utilizzare anzitutto i dettagli più comuni e ricorrenti delle situazioni in cui si è sviluppato.

Pensiamo anzitutto alla natura del Sole. Esso è una stella, ovvero un ammasso incandescente di gas, che brucia a circa 6000 °C (gradi Celsius). Per questa sua consistenza il Sole è luminosissimo, ed emette moltissima luce visibile, in quantità equilibrata su tutto lo spettro percepibile con gli occhi. Non è superfluo notare qui che il Sole è accecante: la principale (e unica) sorgente di luce naturale è talmente potente da poter danneggiare l'occhio!

Il Sole, però, oltre che essere molto brillante e con diametro 100 volte quello della Terra, è anche molto lontano, ben 150 milioni di chilometri! Per questo la luce che arriva dal Sole è fortemente direzionale: il fascio di raggi solari che arriva in ogni punto della Terra ha percorso la distanza che separa la superficie del Sole da noi seguendo linee rette. Così, le ombre che staglia incontrando gli oggetti, sono molto *nette*, e hanno una penombra molto limitata (circa mezzo grado, ovvero l'angolo che il Sole sottende alla nostra vista).

Il nostro occhio, e il cervello, riconoscono questi dettagli immediatamente! Come si può intuire dall'immagine, quando il nostro sguardo sceglie un'inquadratura (parlare della visione tridimensionale arricchirebbe tutto il discorso, ma non ci sarebbe sufficiente spazio in quest'articolo!), questa «fotografia» viene sottoposta al cervello.



Nelle più diverse situazioni, anche da una sola inquadratura il nostro cervello "analizza" la posizione delle sorgenti luminose, e riconosce nei dettagli delle ombre la presenza del cielo e del Sole

Tutti i dettagli, anche quelli più nascosti, sono analizzati e ricondotti a un tipo di illuminazione ben preciso; così il cervello prova a ricostruire, anche avendo a disposizione una sola immagine, quali sorgenti luminose sono presenti nello spazio in cui ci troviamo.

La luce naturale ha un ulteriore aspetto molto prezioso. Infatti, è ben noto a cosa servono i coni ed i bastoncelli: i due tipi di *fotorecettore* più celebri sono deputati alla visione della realtà tramite la formazione di immagini nel nostro cervello; ma nel nostro occhio sono presenti anche le *cellule gangliari fotosensibili*. È interessante accennare a questi neuroni: essi sono stati scoperti nel 1923 e «dimenticati», per poi essere ri-scoperti negli anni Novanta.

Sono oggetto tutt'oggi di ricerca, ma a cosa servono? Fra le funzioni che essi svolgono, c'è la *sincronizzazione* dei ritmi circadiani; infatti, il nostro corpo «sa» quando è giorno e quando è notte, avendo una sorta di orologio interno! Questo serve, per esempio, a regolare la durata del ciclo sonno/veglia, il ritmo di variazione della temperatura corporea e altre funzioni del nostro organismo.

Cosa c'entra con la luce? Queste particolari cellule sono sensibili alla luce: non servono per «vedere», ma percepiscono la presenza della luce, e in particolare la luce del cielo; infatti, sono particolarmente sensibili alla luce blu. Quando esponiamo il nostro occhio alla luce naturale i ritmi interni del nostro corpo si accordano con le condizioni esterne. Ecco quindi, anche se solo accennato, un altro aspetto importante della luce naturale.

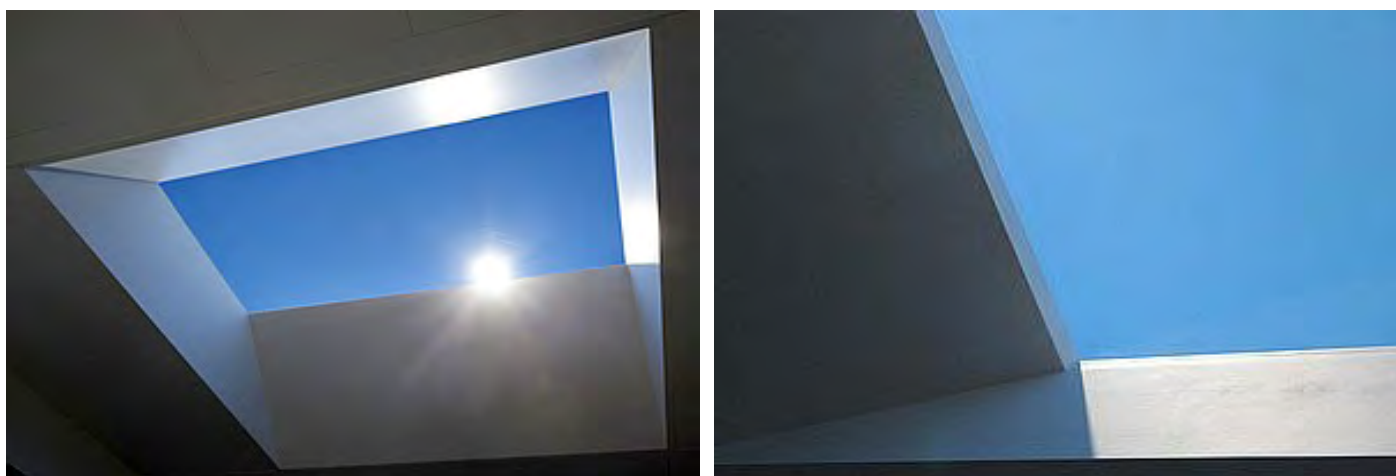
CoeLux[®], artificial skylight

Quanto abbiamo detto fino a questo punto ci permette di affrontare in un modo più completo l'argomento centrale di questo articolo. *CoeLux[®]* è un'azienda italiana, nata come *spin-off* fondata da Paolo Di Trapani dell'Università dell'Insubria di Como, che ha creato una nuova tecnologia dedicata all'illuminazione. L'idea fondamentale sulla quale si basa è la riproduzione della luce naturale, secondo le sue varie caratteristiche, quelle fin qui citate e altre, più o meno complesse.

È interessante esplorare brevemente la tecnologia che *CoeLux[®]* utilizza. Il dispositivo ottico, infatti, è costituito da diverse parti cruciali che adesso però, possiamo più facilmente individuare nella loro fondamentale importanza.

Abbiamo visto come, per imitare l'illuminazione naturale, si necessiti di una sorgente simile al Sole: *CoeLux[®]* utilizza una sorgente a LED (diodi luminosi) che emettono luce su tutto lo spettro visibile, sebbene non siano incandescenti a 6000 °C di temperatura, con una luminosità elevatissima, che si avvicina a quella del Sole. E la distanza di 150 milioni di chilometri? *CoeLux[®]* integra un sistema ottico che è in grado di far percepire il Sole molto distante, «ingannando» lo sguardo dell'osservatore.

Ed il cielo, con l'atmosfera trasparente e le sue variazioni di densità? *CoeLux[®]* utilizza un sottile strato di materiale nanostrutturato. Questo materiale permette che lo stesso fenomeno fisico che accade nell'atmosfera terrestre (*scattering di Rayleigh*) avvenga anche sotto la luce LED che è integrata nel dispositivo.



Il sistema CoeLux[®]

Ma ci sono anche altri aspetti interessanti di *CoeLux*®: la luce così riprodotta, infatti, sortisce sull'uomo effetti che sono somiglianti alla luce naturale, anche in aspetti che coinvolgono la percezione (coscientemente e inconsciamente). Com'è possibile? Grazie all'attenzione con cui viene studiata la luce, e alla fedeltà con cui viene riprodotta, consegue un elevato grado di realismo nel modo in cui è illuminata la stanza, tale da ingannare anche il cervello, che pure è abituato a riconoscere velocemente i dettagli anche se nascosti. Così il sistema *CoeLux*® – artificiale – viene percepito come una naturale apertura verso il cielo e il Sole¹.

Ma *CoeLux*® non è solamente un'ottima riproduzione della realtà. Lo vedremo nei prossimi paragrafi.

Uno sguardo attento

Quando vedo, cosa vedo? Nei paragrafi precedenti abbiamo affrontato alcuni aspetti della luce: il raggio di luce che arriva esattamente nel mio occhio, centrando la pupilla anche se ha percorso miliardi di chilometri, partendo diversi anni fa; la sorgente secondaria, che rimbalza la luce della sorgente verso di me; il cielo, che si colora di azzurro anche se è trasparente; il Sole, che brilla con le sue caratteristiche peculiari e così legate all'occhio umano; fino alla luce blu, che serve per il mio organismo, anche se non me ne accorgo.

Ma cosa vedo? Leggiamo cosa dice Patrizio Barbaro, autore di una biografia di Pier Paolo Pasolini:

«L'occhio guarda, per questo è fondamentale. È l'unico che può accorgersi della bellezza. [...]

Il problema è avere occhi e non saper vedere, non guardare le cose che accadono, nemmeno l'ordito minimo della realtà. Occhi chiusi. Occhi che non vedono più. Che non sono più curiosi. Che non si aspettano che accada più niente. Forse perché non credono che la bellezza esista.

Ma sul deserto delle nostre strade Lei passa, rompendo il finito limite e riempiendo i nostri occhi di infinito.»

Con l'occhio certamente vediamo una realtà descrivibile secondo il linguaggio fisico, e aiutandoci con altre discipline, come la medicina per esempio, possiamo descrivere un quadro complesso in modo abbastanza esauriente.

Ma l'oggetto qual è? Pasolini parla di una curiosità e di uno stupore che sono legati all'accadimento della bellezza. La luce, naturale o artificiale, è il mezzo (fisico) con cui si comunica questo accadimento.

Sinteticamente si potrebbe dire: vedere la luce e intravedere l'invisibile. I dettagli che riconosciamo nella luce possono essere un richiamo, un segno della bellezza che si nasconde in essa.

Conclusione

Negli ultimi mesi si è parlato in più occasioni della luce: nell'ottobre scorso il premio Nobel per la Fisica è stato assegnato agli inventori del LED blu, necessario per l'utilizzo nell'illuminazione; e recentemente è stato inaugurato dall'ONU l'Anno Internazionale della Luce. Nel 2014 *CoeLux*® ha presentato sul mercato del *lighting* il primo prodotto, che può portare un nuovo tipo di luce in ambienti dove il Sole e il cielo non possono arrivare, permettendo di godere una buona illuminazione anche in metropolitana, in tutte le costruzioni abitabili sotto terra, negli ospedali dove alcuni macchinari impongono la costruzione di *bunker*, ma anche nei negozi, quando per vedere il colore di un abito si vuole sempre uscire alla luce del Sole!

In questo articolo sono stati descritti alcuni aspetti dell'esperienza che facciamo della luce. *CoeLux*®, benché affronti lo stesso argomento da un punto di vista dell'illuminazione artificiale e delle applicazioni a essa legate, è un grande spunto per aiutare da un punto di vista esperienziale la scoperta di quei dettagli della luce che possono essere richiamo allo stupore per la bellezza che accade.

Paolo Ragazzi

(Dottorando presso il Dipartimento di Scienza a Alta Tecnologia dell'Università dell'Insubria di Como)

Note

1. Sul sito di [CoeLux® Experience the Sky](#) si trova una descrizione del sistema e delle sue applicazioni e la lista dei luoghi visitabili dove è installato; si possono inoltre vedere alcuni video.