



AICA

DIDA^{ttica}
infor**MATICA**

"Se ascolto dimentico, se vedo ricordo, se faccio capisco"

27^a DIDAMATICA 2013

**Tecnologie e Metodi
per la Didattica
del Futuro**

ATTI

**Pisa, 7-8-9 Maggio 2013
Area della Ricerca CNR**



La robotica educativa al servizio di scuola, università e ricerca

**introduce e coordina
Bruno Tiribilli
ISC-CNR, Firenze**

Sperimentare la rifrazione ottica giocando con un robot NXT.

Bruno Tiribilli¹, Franco Quercioli², Massimo Vassalli³, Michele Basso^{4,1}

¹ *Istituto dei Sistemi Complessi del CNR, Sede di Firenze*
Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino – Firenze
bruno.tiribilli@isc.cnr.it

² *Istituto Nazionale di Ottica del CNR, Sezione di Sesto Fiorentino*
Via Nello Carrara, 1 - 50019 Sesto Fiorentino – Firenze

³ *Istituto di Biofisica del CNR*
Via De Marini 6, 16149 Genova

⁴ *Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Firenze,*
via S.Marta 3, 50139 Firenze

La luce che attraversa l'interfaccia tra due materiali differenti, ad esempio l'aria e il vetro di una lente, modifica la direzione di propagazione perché la sua velocità è diversa nei due mezzi. Questo semplice ma fondamentale concetto, alla base di tutta l'ottica geometrica, può essere mostrato in maniera divertente utilizzando non un ingombrante banco ottico ma un piccolo robot costruito con i pezzi LEGO® e pilotato da un controller NXT.

1. L'ottica con il Lego

Diversi anni fa, nacque l'idea di utilizzare il LEGO® per realizzare dei montaggi ottici in sostituzione dei più comuni montaggi in metallo, pesanti e costosi. L'idea di utilizzare il LEGO® per il montaggio di esperimenti didattici di ottica fu presentata al *Fifth International Topical Meeting on Education and Training in Optics* (Quercioli et al.,1997), e da subito suscitò tale interesse da ricevere l'attenzione della stampa specialistica e non.(Bell,1997; Irwin,1997; Brooks,1997; Quercioli et al, 1998a - b; Carts-Powell,1998). Da allora nel corso degli anni sono state realizzate innumerevoli configurazioni di sistemi ottici. Dai primi esempi di singoli montaggi che replicavano i classici sistemi professionali, agli esperimenti completi di interferometria, microscopia, filtraggio ottico. In seguito sono stati riprodotti alcuni tra gli strumenti ottici più comuni come il telescopio, il microscopio, il telemetro, il sestante ecc. Fino alle ultime nostre realizzazioni: la televisione, un visore 3D, un microscopio a forza atomica.

Queste realizzazioni sono state oggetto di pubblicazioni, presentazioni a congressi, mostre (Acciai et al.,2001, Giacomelli et al. 2008) exhibith e vari eventi culturali fra cui il Festival della scienza di Genova, fin dalla prima edizione. Gran parte delle realizzazioni sono presentate in un sito dedicato: www.scienzaludica.it. con una ricca descrizione per immagini.

2. Scienza ludica alla lavagna

Un esperimento di ottica richiede l'utilizzo di lenti, specchi, prismi e altri componenti ottici che devono essere accuratamente posizionati e allineati. I montaggi tradizionali sono solitamente pesanti e ingombranti, spesso costosi e di aspetto austero. Utilizzando dei mattoncini modificati inserendo a pressione uno o più magneti cilindrici è possibile realizzare vari sostegni per componenti ottici, sorgenti e specchi, ottenendo una sorta di “banco ottico” su una lavagna magnetica che si presta facilmente ad una lezione in classe (Quercioli et al, 2009).

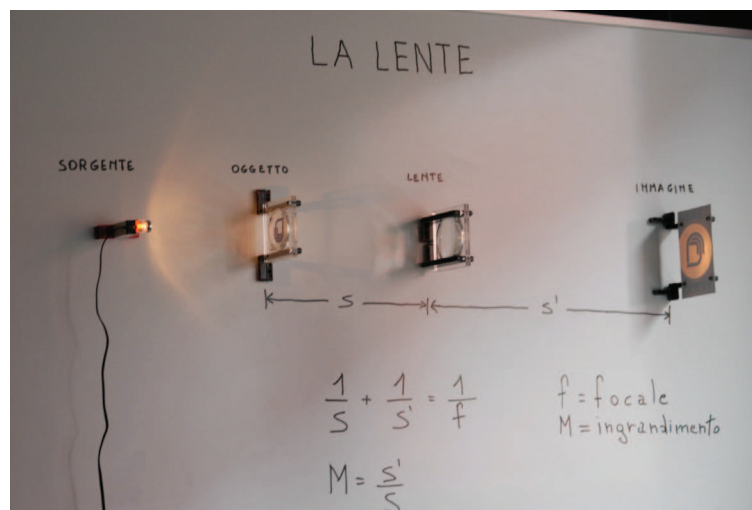


Fig.1 – Ottica Ludica alla lavagna: un percorso ottico realizzato con componenti LEGO® modificati inserendo a pressione piccoli magneti cilindrici nel lato inferiore

3. RayLight: un robot che si muove come un raggio di luce

Semplici esperimenti che mostrano alcuni fenomeni ottici quali la riflessione e la rifrazione, non sono difficili da realizzare con attrezzature elementari, in rete se ne trovano vari esempi, noi abbiamo utilizzato la “lavagna” illustrata al paragrafo precedente.

Tuttavia il collegamento di questi fenomeni al fatto che la velocità di propagazione della luce cambia in mezzi diversi, ad esempio aria e vetro, non è affatto semplice da illustrare con esperienze didattiche, eppure proprio questo concetto è alla base dell'ottica geometrica.

Per mostrare la diversa velocità di propagazione ed i suoi effetti abbiamo realizzato “RayLight” (Tiribilli et al., 2011). Il robot (Fig. 2) è costruito con 132 pezzi LEGO®, le istruzioni di montaggio sono disponibili sul sito www.scienzaludica.it. Programmando il suo controller NXT (LEGO

Mindstorms®) è possibile definire una semplice regola di comportamento: la velocità di ciascuna ruota può assumere due valori preimpostati alta o bassa e la scelta tra questi dipende dal colore (chiaro o scuro) del materiale su cui si sta muovendo il sensore corrispondente.

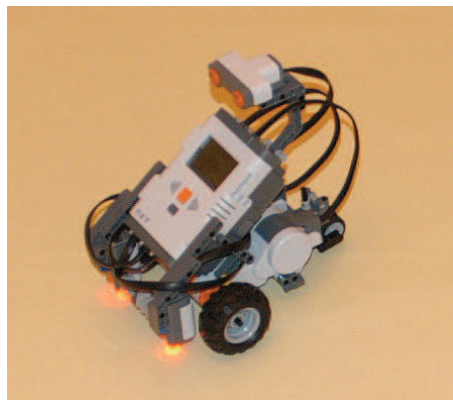


Fig. 2 RayLight: un robot con due ruote motrici indipendenti e due sensori ottici posizionati anteriormente vicino alle due ruote.

Ad esempio se la ruota di sinistra si trova su una superficie scura, o più precisamente il sensore di luce ha un valore sotto una certa soglia, il motore sinistro riceverà un comando per andare a velocità bassa.

Passando da una zona chiara ad una scura il robot rallenta e, se il passaggio avviene da una direzione non ortogonale alla linea di separazione dei due “mezzi”, uno dei due sensori interverrà per primo e farà rallentare il motore della ruota corrispondente; di conseguenza il robot sterzerà da quella parte. Il comportamento che si osserva è in tutto simile a quello di un raggio di luce che entra in un mezzo trasparente ed è soggetto alla deviazione dovuta alla rifrazione ottica. Il software è stato inizialmente realizzato utilizzando il LEGO® MINDSTORMS® NXT Software v1.0 che fa parte del kit NXT ed è semplicissima da utilizzare anche da ragazzi di 10 -15 anni. Successivamente, per avere a disposizione un robot da usare in occasione di exhibith e mostre e che avesse un comportamento più preciso e stabile, ad esempio rispetto alle condizioni di illuminazione e di livello di carica, alcuni studenti di ingegneria dell'Università di Firenze hanno sviluppato degli schemi di controllo più sofisticati, realizzati ricorrendo al linguaggio di programmazione MATLAB/SIMULINK e ai toolbox Real-Time Workshop, Real-Time Workshop Embedded Coder e Embedded Coder Robot. Maggiori dettagli sono disponibili sul sito www.scienzaludica.it nella sezione Progetti alla pagina RayLight.

4. Esperimenti

E' possibile utilizzare il RayLight su qualsiasi superficie chiara (anche un foglio di carta da pacchi è adatto) ma per comodità abbiamo approntato un "tappeto" chiaro, di 1m di larghezza per 2m lunghezza, con una riga rossa al centro per riferimento. La linea rossa è percepita come livello alto dal sensore di luce, non viene distinta dal bianco e quindi non influenza il comportamento del robot. Le sagome scure sono ritagliate a partire da fogli di materiale plastico sottile (polipropilene 1mm), di 100 cm per 50 cm e sono ripiegabili per facilitarne il trasporto. Dopo aver posizionato la sagoma scelta per l'esperimento, il RayLight viene posizionato ad un lato del tappeto nella direzione voluta, si preme il tasto di partenza e si osserva il comportamento del robot. La sua traiettoria rimane rettilinea finché non incontra la zona scura dove la sua velocità (e traiettoria) cambierà.

La diversa velocità è facilmente osservabile infatti le due velocità impostate nel programma sono marcatamente diverse, valori tipici sono 20cm/s sul chiaro e 13cm/s sullo scuro (il rapporto è circa 1,54 ed è confrontabile con il valore dell'indice di rifrazione di alcuni vetri ottici e materiali plastici). Per sottolineare questo aspetto, insieme agli studenti, si possono misurare i tempi che il robot impiega per percorrere una sagoma scura lunga 1 metro e la stessa distanza su una zona chiara, per poi ricavare le due velocità. Anche il cambiamento di direzione si apprezza facilmente.

Se ad esempio si tratta di un elemento rettangolare disposto obliquamente la traiettoria di RayLight viene deviata due volte, sulla faccia di ingresso e su quella di uscita. Si può notare che la direzione di uscita è parallela a quella di ingresso ma spostata di lato come avviene per la luce che attraversa una lamina piana. Invece una sagoma triangolare (fig. 3a) farà deviare il percorso del robot verso la base del triangolo, come in un prisma. L'effetto di dispersione può essere mostrato impostando, su robot differenti, valori diversi per le coppie di velocità nel codice di programmazione.

Altri casi interessanti con cui giocare sono le lenti convergenti e divergenti. Prima di fare partire il robot si può chiedere agli studenti di indovinare da che parte si dirigerà dopo avere attraversato la lente: verso l'asse ottico o verso l'esterno? Molto spesso, confrontando la forma della lente e quella del prisma triangolare la maggior parte degli studenti propone la previsione corretta. Lanciando il robot in direzione parallela all'asse della lente (linea rossa) si osserva la proprietà del fuoco: tutte le traiettorie attraversano l'asse ottico nel medesimo punto. Può essere divertente far cadere un birillo posto nel fuoco di una lente convergente lanciando il robot da diversi punti di partenza, facendo attenzione a mantenere la direzione iniziale parallela all'asse ottico.

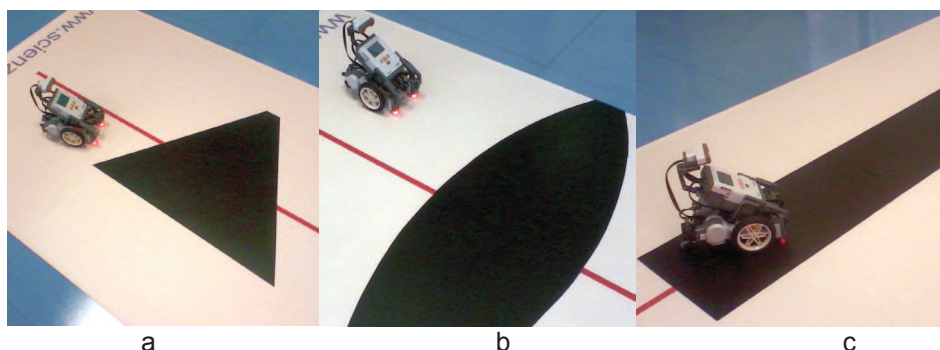


Fig.3 – Con RayLight è possibile riprodurre il fenomeno della rifrazione, mostrare la deviazione di un raggio di luce da parte di un prisma (a) o per effetto di una lente convergente (b), o divergente, sperimentare la riflessione totale di un prisma e illustrare il principio di funzionamento (c) di una fibra ottica.

Nel caso della lente divergente il robot tende ad allontanarsi dalla linea dell'asse ottico.

E' utile fare notare che la sagoma della lente convergente è più spessa al centro mentre quella di una lente divergente è più spessa ai bordi.

Collocando insieme sul tappeto la lente divergente e quella convergente è possibile osservare l'effetto combinato delle due lenti (un esempio pratico di applicazione a cui ci si può riferire è nella correzione della miopia).

Tornando al prisma di figura 3a, (un triangolo equilatero), e lanciando il RayLight in direzione circa perpendicolare ad uno dei lati il robot entra nel triangolo e prosegue fino al lato opposto dove si otterrà una “riflessione totale” ovvero una delle due ruote non esce dalla sagoma scura mentre l'altra esce, aumenta di velocità e poi rientra. La riflessione totale è usata ad esempio nei prismi di un binocolo.

Lanciando il robot all'estremità d una lunga striscia nera, come in figura 3c la riflessione totale si ripete più volte costringendo il robot a proseguire “rimbalzando” all'interno della striscia, proprio come avviene per la luce guidata in una fibra ottica.

5. La legge di Snell

Generalmente, osservando l'analogia tra il percorso del robot e il comportamento di un raggio luminoso, ci si limita ad una spiegazione qualitativa. Tuttavia è sicuramente interessante per gli insegnanti avere una descrizione matematica della traiettoria del robot che confermi anche quantitativamente l'analogia con la rifrazione della luce. La semplice schematizzazione riportata qui di seguito potrebbe essere proposta anche a studenti che abbiano elementari conoscenze di trigonometria.

Si considera la traiettoria del RayLight che entra in una sagoma scura da un angolo θ come indicato in figura 4 dove è rappresentato il percorso delle due

ruote del robot e l'angolo di uscita θ' . La ruota di destra procede a velocità V fino al punto A , qui riduce la sua velocità al valore V' e prosegue. Contemporaneamente, in un intervallo di tempo Δt la ruota di sinistra si sposta, a velocità V da punto B al punto B' dove riduce la velocità a V' . Dopo questo intervallo le velocità delle due ruote sono entrambe uguali a V' e il RayLight si muove in direzione θ' .

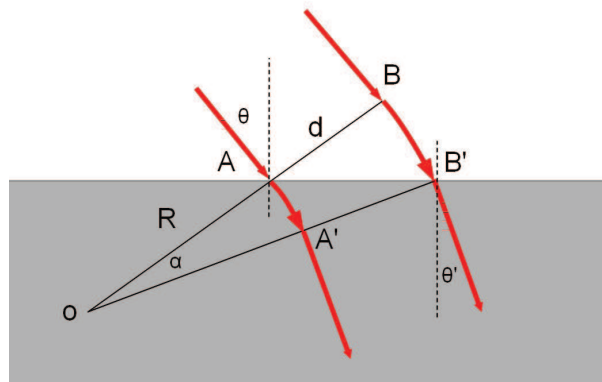


Fig.4 – La deviazione del RayLight al momento del passaggio da un mezzo chiaro ad uno scuro. Le linee rosse indicano i percorsi delle due ruote. R è il raggio di sterzata della ruota destra, d la distanza tra le due ruote.

Facendo riferimento alla figura 4, dove R è il raggio indicato e d è la distanza tra le ruote, si possono scrivere le relazioni:

$$(A' - A) = \alpha \cdot R = V' \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$(B' - B) = \alpha \cdot (R + d) = V \cdot \Delta t \quad (2)$$

$$\text{da cui si ricava } \frac{R+d}{R} = \frac{V}{V'} \quad (3)$$

applicando la regola dei seni al triangolo OAB' di figura 4 si ottiene:

$$\frac{R}{\sin \theta'} = \frac{(R+d)}{\sin (2\pi - \theta)} = \frac{(R+d)}{\sin \theta} \quad (4)$$

ovvero

$$\frac{\sin \theta}{\sin \theta'} = \frac{(R+d)}{R}$$

e sostituendo la (3)

$$\frac{\sin \theta}{\sin \theta'} = \frac{V}{V'} \quad (5)$$

L'equazione 5 è identica alla legge di Snell (solitamente espressa in funzione degli indici di rifrazione n e n' dei due materiali, $n/n' = V'/V$) è quindi evidente che la traiettoria del robot segue un percorso analogo a quello di un raggio di luce che viene rifratto all'interfaccia tra due materiali di indice di rifrazione diverso. Vale la pena notare che la 5 rimane valida anche nel caso in cui il robot si muova da una zona scura ad una chiara. In questo caso, esiste un angolo θ_c tale che $\sin \theta_c = V / V'$ (angolo critico) e per valori di $\theta > \theta_c$ si avrà, anche per il robot, riflessione totale.

6. Conclusioni

Abbiamo realizzato una serie di esperimenti di ottica con il con il LEGO® tra i più recenti un robot NXT che riesce a simulare il comportamento di un raggio luminoso quando attraversa materiali diversi. In questo senso costituisce un modello meccanico della luce. Inserendo nel percorso del robot delle sagome scure di forma opportuna è facile simulare il comportamento di elementi ottici quali lenti e prismi. Affiancato ad altri esperimenti permette di far capire che la variazione di velocità di propagazione della luce in mezzi diversi è alla base di fenomeni come la rifrazione, la dispersione e la riflessione totale.

Nonostante questa attività di progettazione di esperimenti didattici sia a margine del nostro quotidiano lavoro di ricerca, riteniamo importante continuare a praticarla perché la divulgazione scientifica, può rappresentare oggi, data la situazione economica, uno stimolo allo sviluppo. Per questo non perdiamo mai occasione di presentare le nostre realizzazioni di ottica ludica.

Bibliografia

[Acciai et al.,2001] S. Acciai, A. Bartoli, F. Quercioli, B. Tiribilli, M. Vassalli, "Play Optics with LEGO INFMeeting 2001 - ROMA, 18-22 GIUGNO 2001. Abstracts p.91.

[Bell,1997] J. Bell, Toy box supplies parts for teacher's light table, Opto & Laser Europe 44, 32-34 (1997).

[Brooks,1997] Michael Brooks, "Jobs for the toys", The Guardian Online - Technology, 3 December 1997.

[Carts-Powell,1998] Y. Carts-Powell, LEGO blocks prop up optics, Laser Focus World, 34, n° 9, 24-28, 1998.

[Giacomelli et al. 2008]Giacomelli G., Mati F., Quercioli F., Puccioni G., Tiribilli B., Vassalli M., "Scienza ludica: impariamo con il LEGO", XCIV Congresso Nazionale SIF - Genova, 22-27 Settembre 2008.

[Irwin,1997] Aisling Irwin," Optic scientists take a shine to Legoland" The Daily Telegraph. "Connected", 859, 30 September 1997.

[Quercioli et al.,1997] F. Quercioli, A. Mannoni, B. Tiribilli, and S. Acciai, Play Optics with LEGO, Proc. SPIE 3190, 233-242 (1997).

[Quercioli et al, 1998a] F. Quercioli, A. Mannoni, B. Tiribilli, and S. Acciai, Optomechanics with LEGO, Appl. Opt., 37, 3408-3416 (1998).

[Quercioli et al, 1998b] F. Quercioli, A. Mannoni, B. Tiribilli, e S. Acciai, "Il LEGO nel laboratorio di ottica", Giornale di Fisica, 39, 67-82, 1998.

[Quercioli et al, 2009] F. Quercioli, G. Giacomelli, G. Puccioni, B. Tiribilli, M. Vassalli, M. Basso, E. Barani, P. Danti, I. Finocchi, N. Monni, F. Mati, A. Borchì, R. Niccolai "Scienzaludica.it Impariamo con il LEGO", Giornale di Fisica, 50, 197-210, 2009.

[Tiribilli et al., 2011] B. Tiribilli, M. Basso, F. Quercioli, M. Vassalli "RayLight: un robot che si muove come un raggio di luce" XCVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica L'Aquila 26-30 settembre 2011.