

La robotica nel laboratorio di Fisica

Armando Bracci
Liceo Scientifico F. Cecioni
Viale Risorgimento 104, 57124 Livorno
bracci_a@liceocezioni.org

In questo intervento viene descritta una sperimentazione realizzata in alcune classi di Liceo Scientifico finalizzata all'uso dell'informatica e della robotica per eseguire esperienze di laboratorio di Fisica e per affrontare aspetti della Matematica legati alla creazione e verifica di modelli e soluzione di problemi. L'informatica viene utilizzata per gestire comunicazioni tramite connessioni bluetooth e di rete, per creare i relativi protocolli di comunicazione, per organizzazione i dati sperimentali e per creare schede di laboratorio interattive e adatte ad essere usate con lavagne interattive. La robotica invece ha una doppia funzione. Viene utilizzata infatti sia nell'acquisizione, nella gestione dei sensori e del movimento del robot, sia come strumento con il quale programmare ed affrontare particolari argomenti matematici ad essa collegati. In questa fase gli alunni hanno un ruolo attivo anche nella fase progettuale.

1. Introduzione

In questi ultimi anni è emersa una diffusa difficoltà nell'apprendimento e nello studio delle materie scientifiche da parte degli alunni che frequentano le nostre scuole. Difficoltà che si è concretizzata con una crisi di iscrizioni alle facoltà scientifiche e con non trascurabili carenze metodologiche e culturali anche per coloro che hanno scelto tali indirizzi di studio. Le istituzioni hanno cercato di porre rimedio a tale situazione con vari progetti, come, per esempio, il Progetto Lauree Scientifiche, cercando di coinvolgere i ragazzi con un approccio diverso da quello tradizionale rendendoli protagonisti attivi e non semplici uditori. Nell'ambito di tale progetto, giunto al quinto anno, è stata elaborata un'attività tutta sperimentale frutto di una collaborazione tra il Liceo Scientifico Cecioni, la Facoltà di Fisica dell'Università di Pisa e la Facoltà di Astronomia dell'Università di Padova. Ogni anno un gruppo formato da 20 alunni di 3-4 Liceo hanno seguito un percorso di esperienze effettuate presso i Laboratori del Liceo e della Facoltà di Fisica finalizzato a prepararli ad uno stage di tre giorni presso l'Osservatorio Astronomico di Asiago. Durante lo stage, infine, gli alunni acquisiscono, elaborano ed interpretano dati in ambito astrofisica. Da questa attività, constatando quanto fossero apprezzati da parte dei ragazzi sia l'aspetto sperimentale sia l'approccio con le nuove tecnologie è stato elaborato e realizzato il progetto che assecurasse e favorisse questa tendenza utilizzando. La robotica è il nucleo di questo progetto attorno al quale gravitano l'uso della lavagna interattiva, la creazione di schede di laboratorio anch'esse interattive, la Matematica e la programmazione diretta del robot utilizzando un dialetto del linguaggio C. Questo progetto è uscito dall'ambito

ristretto nel quale è nato e da quest'anno viene proposto nelle varie classi adattandosi alle particolari esigenze didattiche.

2. Gli strumenti e le tecnologie usate.

Gli strumenti e le tecnologie usate sono di vario tipo in parte riguardano l'hardware e in parte riguardano il software. In questa sezione verranno illustrati nei dettagli i principali aspetti tecnici.

2.1 Hardware

2.1.1 Il Robot NXT

Per l'acquisizione dei dati e per l'attività di programmazione è stato scelto il robot NXT [Lego] della Lego provvisto di processore a 32 bit Atmel AT91SAM7S256 a 48 MHz, fornito di tre motori e di 6 sensori.

- Un sensore di distanza ad ultrasuoni.
- Un sensore di contatto.
- Un sensore per il suono.
- Un sensore ottico che può essere utilizzato sia in modalità passiva nella quale misura l'intensità di luce che proviene da sorgenti esterne, sia in modalità attiva nella quale si comporta anche come sorgente luminosa.
- Un sensore di direzione che in pratica è una bussola.
- Un accelerometro che rileva accelerazioni lungo tre assi.

I motori sono forniti di un encoder che si incrementa automaticamente di un'unità per ogni grado di rotazione del motore. Un incremento di 360 gradi corrisponde ad una rotazione completa dell'asse del motore. Il robot è fornito di un linguaggio visuale di programmazione che in questo caso non viene utilizzato.

2.1.2 Il PC

I PC utilizzati non richiedono niente di particolare se non che sia presente una connessione bluetooth e sia installata la **Java Virtual Machine**. Le applicazioni scritte sono compatibili con tutti i sistemi operativi quali XP, Vista, MacOSX e le varie distribuzioni di Linux.

2.1.3 La Lavagna interattiva

La lavagna interattiva, Hitachi Starboard FX-DUO 77, ha avuto un utilizzo importante sia nella fase di descrizione dell'esperienze, in quanto ha valorizzato

l'interattività dei documenti PDF usati, si nell'analisi dei dati per la facilità con la quale è stato possibile accedere alle tabelle e ai grafici anch'essi interattivi.

2.2 Il Software.

L'argomento software è piuttosto articolato in quanto le tecnologie e i linguaggi di programmazione utilizzati appartengono ad ambiti assai diversi tra di loro e sono stati scelti in base agli obiettivi da raggiungere. In ogni caso la scelta è caduta su prodotti **free** o **Open Source**.

2.2.1 Il software per NXT.

Il robot NXT viene utilizzato come strumento per acquisire dati di laboratorio, e in questo caso i ragazzi sono solo utilizzatori, oppure come strumento didattico per affrontare problemi algoritmici con contributo diretto degli alunni nella programmazione. Per quanto riguarda il robot il software è costituito dai seguenti componenti:

- **Lejos** [Lejos] e relativo **firmware**. Si tratta di una Java Virtual Machine per sistemi **embedded** da installare nel robot. Questo software è fornito pure delle opportune Interfacce di Programmazione per le Applicazioni (**API**).
- Il programma di controllo del robot. Tale programma è totalmente originale, si basa sulle API di Lejos e su di un protocollo di comunicazione con un PC tramite bluetooth. Anche il protocollo è del tutto originale.
- **NXC** [NXC], acronimo per Non Esattamente C, utilizzato per far programmare gli alunni in quanto didatticamente preferibile al Java.

2.2.2 Il software per il PC

I vari applicativi sul PC sono costituiti dai seguenti componenti :

- La Java Virtual Machine della SUN [Java]
 - Le API **bluecove** usate per comunicare con il robot tramite bluetooth con applicativi java.
 - Le API **jxl** utilizzate per creare files **Excel** contenenti i dati raccolti dal robot consentendo quindi elaborazioni successive.
 - Le API **jchar2d**, librerie grafiche per mezzo delle quali i dati vengono visualizzati in grafici interattivi che possono essere salvati e stampati.
-

- Programma **server** scritto in java che pilota il robot tramite bluetooth, acquisisce i dati, li organizza in tabelle e grafici, crea le connessioni di rete per i dei client ai quali trasmettere i dati ricevuti da robot.
- Programma **client**, anch'esso scritto in java, che consente agli alunni di collegarsi al server principale e acquisire i dati per elaborarli personalmente.
- IDE Eclipse, ambiente di sviluppo per mezzo del quale sono stati sviluppati i vari componenti.

La documentazione relativa alle esperienze di laboratorio, per mezzo della quale agli alunni vengono fornite spiegazioni sulle basi teoriche dell'esperimento da eseguire, nonché indicazioni sull'apparato sperimentale e sulle misure da eseguire, viene redatta in documenti PDF contenenti sezioni interattive ed animazioni. Per l'elaborazione di tali documenti ci si serve del seguente software:

- **Miktex** [Miktex], un compilatore che consente di elaborare documenti i **Latex**, software particolarmente adatto per redigere testi di argomento scientifico producendo documenti PDF.
- **Metapost** [Metapost], un linguaggio di scripting per elaborare immagine grafiche da importare in testi formato latex.
- **Animate**, package per latex che consente di creare sezioni animate nei documenti PDF creati.

2.3 La struttura Logica

La struttura logica della rete è quella rappresentata nel seguente schema.

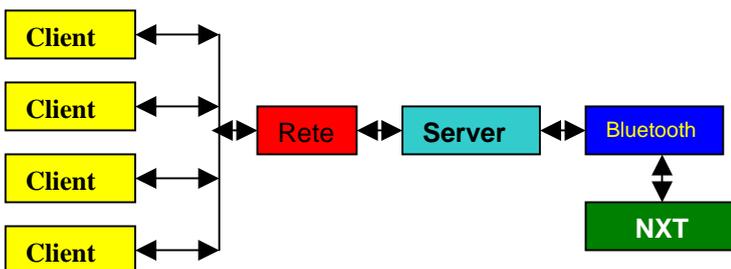


Fig.1
Connessioni di rete

Il software presente su server consente fino cinquanta connessioni contemporaneamente. Vale la pena di osservare che le uniche restrizioni sono date dal collegamento bluetooth per il quale il raggio di azione è attualmente di circa 10 metri. Per quanto riguarda i client, da un qualunque punto della rete si possono collegare al server mediante l'indirizzo **IP** e quindi acquisire i dati anche senza essere fisicamente presenti nel laboratorio.. Allo stato attuale solo il server è abilitato a pilotare il robot, ma è in fase di test una versione nella quale uno dei cliente può essere autorizzato dal server a pilotare il robot, in modo da far partecipare attivamente gli alunni alla realizzazione dell'esperimento.

3 Esperienze di Laboratorio di Fisica

In questa fase sono state realizzate esperienze di ottica, utilizzando il robot semplicemente per acquisire dati. L'attività di laboratorio si è essenzialmente rivolta alla diffrazione da una fenditura, all'esperienza di Young per l'interferenza da due fenditure e, infine, all'effetto Doppler. Descriveremo brevemente questa esperienza in quanto risulta decisamente significative per le tematiche affrontate.

3.1 L'effetto Doppler.

Come è noto l'effetto Doppler consiste nella variazione di frequenza di un fenomeno periodico in funzione della velocità relativa fra la sorgente e l'osservatore. Se l'osservatore è fermo rispetto alla sorgente misura la frequenza propria.

3.1.1 *L'apparato sperimentale*

La sorgente è costituita da un **ondoscopio** che consiste in una vaschetta con il fondo trasparente nella quale viene versato uno strato d'acqua di qualche millimetro. Un motorino di frequenza variabile percuote ritmicamente la superficie dell'acqua creando onde con fronte d'onda lineare o circolare a seconda dell'oggetto usato per colpire la superficie. Nel nostro caso verranno create onde con fronte d'onda lineare. Sopra la vaschetta, a qualche decina di centimetri, viene posta una sorgente luminosa che proietta l'immagine della vaschetta su di un piano posto a qualche decina di centimetri sotto la vaschetta. Nel caso in cui la superficie dell'acqua sia in quiete il piano presenta una illuminazione uniforme. In presenza di onde sull'acqua, sullo schermo si osserveranno linee chiare in corrispondenza delle **creste** e linee più scure in corrispondenza delle **valli**. Per analizzare la luce proiettata si utilizza il robot

NXT della lego. Al robot vengono collegati due sensori di luce utilizzati in modalità passiva in quanto registrano semplicemente l'intensità della luce che li colpisce. Entrambi i sensori sono diretti verso l'alto, uno fermo rispetto alla vaschetta, l'altro solidale con il robot. Il robot può essere messo in movimento in verso concorde o opposto a quello del movimento delle onde e con una velocità compresa tra 0 e 30 cm/sec. I massimi di luce registrati corrispondono alle creste, i minimi alle valli e poiché a ciascun valore dell'intensità viene associato l'istante in cui viene misurato, si possono misurare la frequenza assoluta e quella relativa delle onde. La differenza delle due frequenze permetterà di analizzare l'effetto Doppler. Le letture dei sensori, l'istante delle letture, la posizione nella quale è avvenuta la lettura e la velocità del robot vengono inviate ad in tempo reale PC Server per mezzo di una connessione bluetooth. Il software dedicato organizza i dati ricevuti producendo grafici e tabelle da utilizzare nel momento dell'analisi.



fig.2
Apparato sperimentale

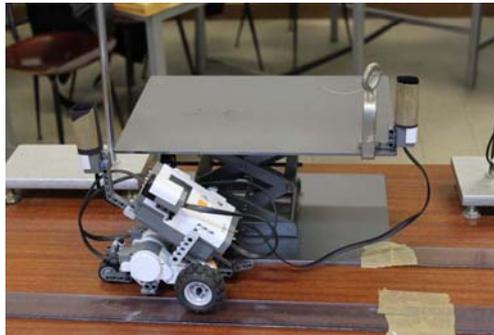


fig. 3
Particolare del robot NXT

3.1.2 Discussione sulle misure.

Il problema principale di questa esperienza consiste nel fatto che una parte abbiamo un fenomeno periodico di frequenza f_0 , dall'altra un sistema che lo misura ad intervalli di tempo stabiliti. In particolare analizzando un'onda di forma sinusoidale ci aspetteremmo di avere un andamento sinusoidale dell'intensità di luce letta, massima in corrispondenza delle creste, minima in corrispondenza delle valli. Questo varrebbe se l'acquisizione fosse fatta in modo continuo ma avvenendo invece in modo discreto non è detto che si possa ricostruire sempre l'andamento reale. In particolare se la frequenza di acquisizione dei valori da misurare è paragonabile con quella del fenomeno sotto studio si possono commettere degli errori notevoli. Questi errori tendono a diminuire quanto maggiore è la frequenza di acquisizione rispetto a quella del fenomeno sotto studio. Questo problema viene presentato agli alunni per mezzo di un'animazione in un documento Pdf., arrivando a concludere che se la frequenza di acquisizione dei dati supera di 4-5 volte quella del fenomeno, la ricostruzione risulta abbastanza fedele e le misure fatte attendibili. Nel nostro caso la frequenza massima di acquisizione dati, legata alle caratteristiche del software e dell'hardware, è di circa 100 Hz, pertanto mantenendo la frequenza delle onde non superiore ai 20 Hz, 25 Hz possiamo ottenere una corretta rappresentazione delle onde sotto esame. Un altro aspetto dei dati è legato al fattore di scala che sussiste tra la lunghezza d'onda delle onde sul fondo dell'ondoscopio e quelle proiettate all'altezza dei sensori ottici. Si discute con gli studenti il modo più opportuno di determinarlo arrivando alla conclusione di misurare il rapporto tra la larghezza dell'ombra l'ombra di un oggetto posto su fondo e la sua larghezza effettiva. Naturalmente la larghezza dell'ombra viene misurata per mezzo del robot.

4 Programmazione e Algoritmica

La partecipazione degli alunni nell'attività appena esposta è, dal punto di vista informatico, passiva. La robotica però offre una vasta molteplicità di momenti di riflessione che non possono essere trascurati. In quanto esposto in precedenza di vera robotica c'è poco, il movimento del robot infatti avviene secondo algoritmi che si basano solo sulla lettura dell'encoder presente nel motore e i sensori usati registrano solo dei valori che non vengono utilizzati per il controllo del movimento. Questo modo di operare è limitato e non consente di affrontare altri tipi di problematiche

4.1 Un Problema

Si vuol realizzare un'esperienza di laboratorio per studiare le leggi della rifrazione. Apparentemente non sembrano esserci problemi, si dota il robot di un sensore che funzioni come una bussola, si fa percorrere al robot una circonferenza sul cui centro si incrociano due raggi laser dei quali uno non subisce rifrazione e rappresenta la direzione della normale alla superficie formata da un semicilindro in vetro. Due sensori ottici leggono rispettivamente la direzione del raggio incidente e di quello rifratto riferita a quella della normale e teoricamente possiamo ricavare la legge. Nella realtà le cose vanno diversamente. I problemi sono essenzialmente due:

- Utilizzando il controllo sincronizzato dei motori il robot non descrive una circonferenza.
- Ammesso che descriva una circonferenza, è praticamente impossibile determinarne il centro a priori in quanto le condizioni di partenza variano in modo non controllabile. Questo fatto introduce errori che rendono inattendibili le misure.

4.2 La soluzione

La soluzione di questo problema comporta diversi problemi concettuali con una forte valenza formativa e pertanto è stato elaborato un percorso didattico per portare una classe a ideare e realizzare il programma che ovviasse ai difetti descritti. La classe coinvolta è una terza Liceo Scientifico ad indirizzo Brocca, totalmente priva di conoscenze di programmazione. Questo stato di cose ha indotto ad usare il linguaggio C come introduzione alla programmazione e quindi NXC per l'uso specifico del robot. Il percorso seguito con la classe avviene nel corso di Matematica che prevede un'ora di informatica e è articolato nei seguenti punti

- Caratteristiche principali del linguaggio C. Salti condizionati, cicli, funzioni.
- Peculiarità del linguaggio NXC.
- Controllo dei motori e dipendenza del comportamento del robot dalle proprietà geometriche quali il diametro della ruota e lunghezza dell'asse delle ruote.
- Elaborazione di un algoritmo e relativo programma per far muovere il robot in linea retta di una distanza ben definita tenendo conto del fatto che NXC opera solo su interi
- Elaborazione di un algoritmo e relativo programma che faccia muovere il robot su di una circonferenza di raggio assegnato e di un arco di ampiezza arbitraria.

Quello appena descritto rappresenta lo stato dell'arte. Il risultato è che il robot descrive in effetti una circonferenza precisa come messo in evidenza da diverse misure del diametro, ma la tecnica del controllo dei motori, efficace a regime, ha delle imprecisioni in fase di partenza e di arresto. Conseguentemente è poco probabile che il robot descriva una circonferenza stabilita a priori. Si impone la necessità di un meccanismo di autoregolazione. E' in fase di elaborazione di un algoritmo che utilizza un sensore di luce in modalità attiva. Tale sensore emette della luce su di un piano e legge la quantità di luce riflessa. Se la superficie è nera la quantità riflessa è minima, se è bianca è massima. Non si può pensare, però, di usare il classico algoritmo per seguire una linea nera in quanto l'andamento ondeggiante mal si concilia con la necessità di misurare gli angoli con precisione. L'algoritmo deve prevedere che il robot descriva una circonferenza segnata in nero, come devia da tale linea viene modificata la velocità di uno dei due motori per correggere la deriva errata. Bordando la circonferenza internamente di bianco e di rosso esternamente dovrebbe essere possibile distinguere se la deriva avviene verso l'interno o verso l'esterno, apportando quindi le opportune correzioni.

5 Sviluppi futuri

Questo tipo di attività ha incontrato il favore degli studenti in maniera abbastanza generalizzata e non limitata solo alle eccellenze. Anzi, questo modo lavorare sul concreto e con effetti tangibili del proprio lavoro ha fatto emergere interesse e qualità di ragionamento anche in alunni che apparivano meno motivati. Queste considerazioni spingono a proseguire in quanto intrapreso ampliando e specializzando l'offerta.

5.1 Sviluppi futuri per il laboratorio.

Per il laboratorio si prevede, utilizzando un accelerometro, di estendere l'uso del robot ad esperienze di dinamica e allo studio dei moti relativi secondo questo programma di massima per l'immediato futuro:

- Studio delle forze impulsive in urti ed esplosioni provocate da molle.
- Moti periodici.
- Caduta lungo un piano inclinato
- Movimento in un sistema di riferimento accelerato e accelerazione di Coriolis.

Più a lungo termine andando a scegliere sensori di temperatura, di forza e così via si può ampliare notevolmente la gamma delle esperienze da effettuare interessando un numero crescente di studenti

5.2 Sviluppi futuri didattici

Per quanto riguarda gli alunni, i programmi futuri prevedono la programmazione del robot utilizzando sensori preposti a tale fine. Quindi dovranno cimentarsi a programmare sensori di prossimità, giroscopi, di contatto e così via. Inoltre utilizzando kit opportuni i gli alunni più motivati potranno ideare dei sensori adatti ad esigenze particolari non coperte da quelli in commercio. Lo scopo è quello di portare gli alunni all'ultimo anno a elaborare progetti personali quali il monitoraggio di un determinato ambiente relativamente ad una grandezza fisica utilizzando un robot.

Bibliografia

[Java] <http://java.sun.com/>

[Lego] <http://mindstorms.lego.com/en-us/default.aspx>

[Lejos] <http://lejos.sourceforge.net/>

[Metapost] <http://www.tug.org/metapost.html>

[Miktex] <http://miktex.org/>

[NXC] <http://bricxcc.sourceforge.net/nbc/>
