

Matematica, fisica e nuove tecnologie

Angela Berto
I.M.S. "Sandro Pertini"
Via Cesare Battisti 5, 16145 Genova
angela.berto@istruzione.it

Questo percorso, che ho proposto anni fa ad una classe quarta del liceo socio-psico-pedagogico Brocca come attività interdisciplinare di matematica e fisica, prevede l'uso di nuove tecnologie.

L'idea dominante del percorso è di mostrare come dati raccolti da uno stesso esperimento possano essere analizzati mediante un diverso grado di difficoltà e siano, quindi, riutilizzabili in differenti contesti didattici. Risulta proficuo, infatti, collegare il più possibile vari argomenti secondo linee di sviluppo unificanti, raggiungendo progressivamente livelli di maggiore profondità ed estensione.

Affrontare lo studio di un problema di fisica per introdurre nuovi strumenti matematici o per rafforzare la conoscenza di quelli già noti, permette allo studente di cogliere l'utilità di tali mezzi di indagine. L'applicazione delle tematiche proprie della matematica ad un caso affrontato in fisica agevola la comprensione degli argomenti stessi e aiuta gli studenti a cogliere l'unità del sapere, al di là della sua frammentazione nelle varie discipline.

1. Introduzione

L'uso della matematica per adattare le prestazioni teoriche classiche della fisica ad un particolare problema consente di prevedere quello che dovrebbe essere l'esito e comprendere, dunque, se il modello utilizzato per schematizzare la realtà sia corretto o meno. La matematica, in tal modo, non ha più solo un valore strumentale per lo sviluppo della fisica, ma diviene essenziale per il progredire delle teorie fisiche stesse.

La matematica ha anche una forte valenza culturale; gli studenti, soprattutto nel triennio della scuola superiore, debbono, quindi, essere stimolati a riflettere sui concetti presentati e devono essere in grado di risolvere problemi matematici utilizzando la disciplina stessa. Partire, dunque, da un risultato fisico, per esempio dal fascio di parabole dei diagrammi spazio-tempo, già elaborato matematicamente negli anni precedenti, per approfondirne l'indagine, può favorire gli studenti a comprendere l'importanza della cultura matematica.

L'uso delle nuove tecnologie per lo sviluppo del percorso è mirato ad illustrare l'importanza, da un lato, dell'introduzione dei sensori elettronici per una raccolta di dati on line, dall'altro, dell'utilizzo di software particolari sia nella

trattazione dei dati raccolti, sia nella didattica di argomenti usualmente svolti durante le lezioni curricolari di matematica.

Nel proporre questa attività, l'obiettivo che mi sono prefissa non è stato, dunque, quello di stravolgere l'insegnamento della matematica e della fisica, abbandonando completamente carta e penna, ma di illustrare le funzionalità di strumenti informatici, che possono migliorare molto il processo di insegnamento e di apprendimento. Vorrei fare a questo proposito particolare riferimento ad una sperimentazione, promossa dalla Direzione Generale dell'Istruzione Classica Scientifica e Magistrale del Ministero della Pubblica Istruzione, denominata LABTEC, volta a stabilire l'efficacia di tali strumenti nella didattica della matematica e della fisica, alla quale già nel 1998 l'istituto "Sandro Pertini" in cui insegno aveva aderito, grazie all'impegno di alcuni insegnanti, tra cui la sottoscritta. La sigla LABTEC stava a significare "tecnologia applicata al laboratorio delle scienze sperimentali" e il progetto rispondeva all'esigenza di una scuola diversa, più autonoma e innovativa, come indicato nel documento sui "saperi essenziali" approvato in quegli anni. Oggi, continuando ad adottare la metodologia della ricerca-azione tra multimedialità e didattica, questo nuovo progetto ha voluto ancora una volta proporre un percorso concettuale e didattico nel quale trovassero collocazione ed effettiva collaborazione reciproca i due aspetti complementari che caratterizzano la costruzione della conoscenza scientifica e tecnologica: il momento applicativo e d'indagine e quello cognitivo - intellettuale.

In laboratorio di fisica, pertanto, ho realizzato alcune esperienze, mentre un sensore era collegato ad un computer e questo ad una interfaccia, in modo che tutta la classe potesse seguire su uno schermo il generarsi del grafico relativo all'esperimento realizzato e potesse confrontarlo con quello teorico studiato in precedenza.

Le attività effettuate sono state sviluppate in due direzioni: da una parte, ho fatto osservare il grafico ottenuto, con particolare attenzione al suo aspetto (crescita e decrescita, concavità) e al suo andamento (lineare, costante, quadratico), dall'altra è stata studiata l'interpolazione del grafico, in termini simbolici, ossia è stata studiata la determinazione di famiglie di funzioni come quelle lineari, legate a moti uniformi, quelle quadratiche, legate a moti con accelerazione costante, e così via. Inoltre, ulteriori nodi concettuali messi in gioco in queste attività sono stati l'aspetto variazionale di una funzione, ossia la dipendenza dell'ordinata in funzione dell'ascissa, analizzata non solo attraverso i valori assunti dall'ordinata, ma anche in termini di variazione e variazione della variazione (pendenza e suo tasso di cambiamento) e il significato fisico dell'area sottesa alla curva velocità-tempo.

La metodologia adottata ha risentito del fatto che non volevo fornire agli studenti solo un'occasione per verificare qualche legge di fisica o addestrarli all'uso del computer. L'intenzione era ben altra: partendo dalle conoscenze già acquisite dagli studenti, desideravo costruire con loro un percorso operativo che permettesse di fornire una risposta a tutti quei quesiti che man mano si fossero affacciati alla loro mente durante il confronto di idee e di valutazioni del "già studiato". Per questo, ad ogni esperimento è sempre seguita una discussione matematica con tutta la classe, coordinata da me, volta a confrontare le varie

posizioni degli studenti e a convergere verso un significato comune e condiviso per l'esperienza e per il grafico. Ho posto domande aperte del tipo:

- osservare e riportare gli aspetti generali del sistema;
- analizzare (che cosa c'è sullo schermo? e sull'asse delle ascisse? e su quello delle ordinate?);
- fare ipotesi: che cosa succederebbe se l'operatore facesse...;
- verificare le ipotesi sperimentalmente.

Se necessario, istituzionalizzavo il sapere costruito socialmente, introducendo terminologia o concetti unificanti.

2. Strumentazione necessaria per effettuare gli esperimenti

- Una stazione di lavoro costituita da un computer e da un sistema di acquisizione dati (per esempio PASCO Scientific), sensori di tipo diverso, guida e carrelli con basso attrito.
- Il software ScienceWorkshop, che permette di raccogliere dati attraverso la strumentazione in linea con un elaboratore e di operare con essi. Il software è quindi parte del sistema completo di acquisizione dati.
- Il software DataStudio, che consente di gestire la raccolta delle misure rilevate dai sensori, analizzare i dati raccolti, sia durante la misurazione sia successivamente. In particolare dà la possibilità di calcolare quantità statistiche sui dati, interpolarli con funzioni analitiche, rappresentarli graficamente, effettuando misure direttamente sui grafici.
- Il software Microsoft Excel.

3. Attività

Le attività proposte sono state numerose. In questo lavoro, però, mi limito a fare solo tre esempi [Michellini, 1991].

3.1. Primo esempio

Questa prima attività ha riguardato lo studio del movimento: uno studente ha corso davanti al sensore per alcuni secondi; poi, è tornato indietro con la stessa andatura.

Con esperimenti di moti di persone davanti al sensore sonico di movimento, l'approccio tradizionale allo studio della cinematica è modificato radicalmente: invece di partire dal moto di un punto materiale in assenza di forze d'attrito, che è un'astrazione, la quale lascia negli studenti la sensazione che ciò che accade nella realtà sia diverso da quello che si studia sui libri di fisica, qui si propone di collegare subito la percezione psicomotoria del moto con la rappresentazione astratta dei grafici temporali di posizione, velocità ed accelerazione.

I dati relativi all'esperimento, realizzato con strumentazione on line, sono forniti dal software sia sotto forma di tabella sia sotto forma di grafico.

È bene precisare, però, che i diagrammi orari non sono riproduzioni della situazione concreta sotto esame, ma modalità di rappresentazione dei dati numerici che presentano il vantaggio, rispetto alle tabelle di dati, di evidenziare in modo efficace i legami tra le diverse grandezze fisiche in gioco nella

situazione considerata. Le informazioni che si possono ricavare rapidamente da un grafico sono spesso invisibili in una tabella. Tuttavia, bisogna sottolineare come questo vantaggio sia subordinato alla capacità di interpretare la curva. Non è forse superfluo dire come un'interpretazione errata del significato dell'immagine compori un totale fraintendimento del sistema descritto: la modalità visiva, più efficace, subordina le sue potenzialità alla convenzione rispetto al significato che vuole assumere.

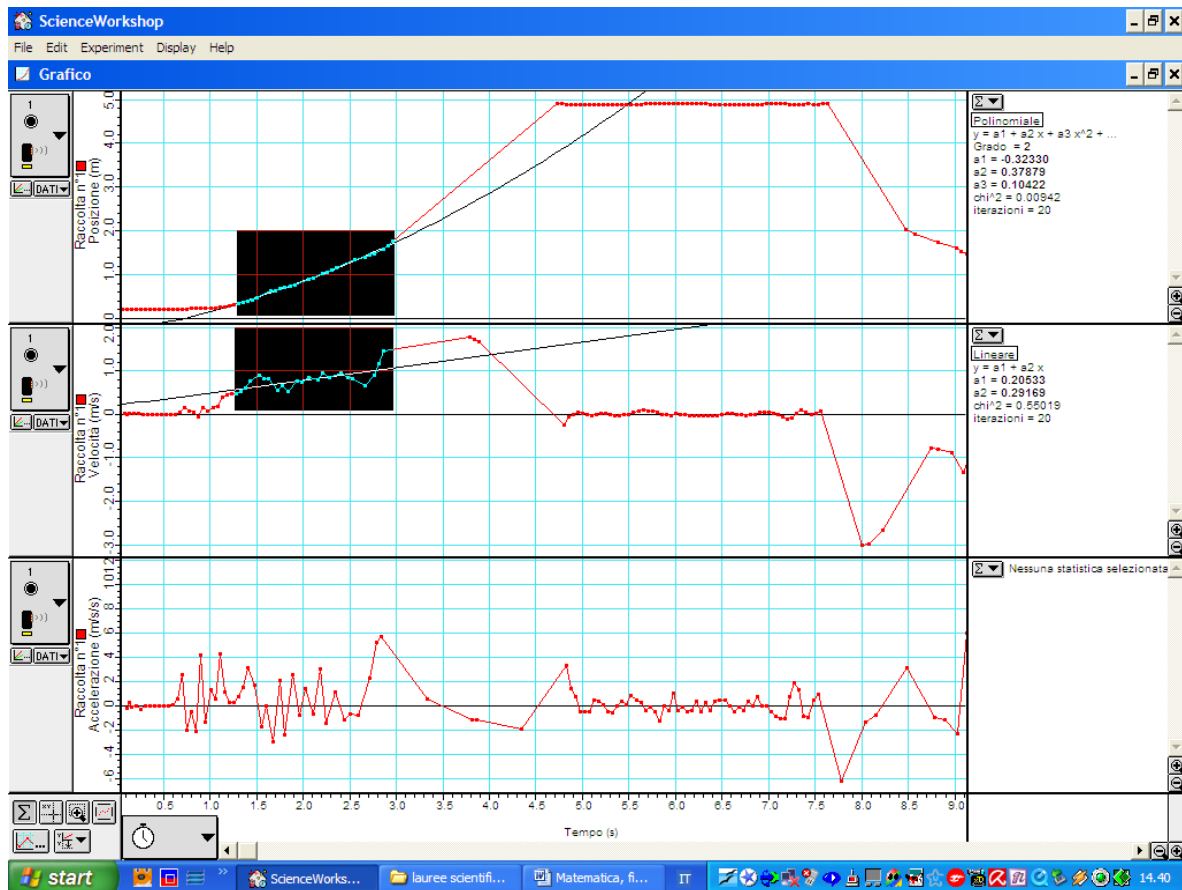


Fig. 1 - Grafici posizione-tempo, velocità-tempo e accelerazione-tempo realizzati con ScienceWorkshop durante l'esperienza in cui uno studente corre davanti al sonar e torna indietro con la stessa andatura.

I miei interventi, nella discussione che è seguita con gli studenti, non sono mai stati di carattere informativo, teorico o autoritario, ma di stimolo alla riflessione; per esempio:

- Quali sono le grandezze in gioco?
- Quali sono le unità di misura?
- Perché il grafico è venuto così?
- E se lo studente si fosse fermato a 3 metri dal sonar che cosa sarebbe cambiato nel grafico?
- Si potrebbe ottenere una linea sotto l'asse delle x?
- Si potrebbe pensare che la linea del grafico parta a sinistra dell'asse y?
- Che cosa possiamo dedurre per quanto riguarda la velocità?

– Che cosa possiamo dedurre per quanto riguarda l'accelerazione?

Gli interventi degli studenti, per esempio, hanno permesso di giungere alla conclusione che nel grafico posizione-tempo il tratto orizzontale corrisponda a una fermata, in quanto lo spazio non cambia mentre il tempo avanza, il tratto obliquo crescente corrisponda ad un allontanamento dal sensore, quello decrescente ad un avvicinamento al sensore, ecc. (vedi Fig.1).

Le risposte sono state poi verificate osservando anche i grafici velocità-tempo e accelerazione-tempo, discutendo i quali ho presentato i concetti di velocità media e di velocità istantanea, come coefficiente angolare della retta tangente alla curva.

La discussione è proseguita con l'approfondimento del moto in un piccolo intervallo di tempo: il software ScienceWorkshop ha permesso agli studenti di determinare facilmente l'equazione delle funzioni che approssimavano meglio la posizione in funzione del tempo e la velocità in funzione del tempo (vedi Fig.1).

Conoscendo la legge oraria del moto, gli studenti hanno potuto rispondere a domande del tipo:

– Supponendo di muoversi con questa modalità, quanti metri si percorrono dopo 5 s? Quanti metri si percorrono dopo 8 s? Riportare i dati in una tabella e in un grafico.

– Provare a spiegare “a parole” che cosa si deve fare per trovare quanti metri vengono percorsi in un numero qualsiasi k di secondi.

3.2. Secondo esempio

Scopo di questa attività è stato quello di studiare situazioni in cui il moto dia luogo a grafici temporali più regolari. Nei grafici precedenti, soprattutto in quello della velocità e dell'accelerazione, si osservano irregolarità o modulazioni dovute al camminare o correre di un essere umano. Le ruote, invece, permettono un moto continuo ed il basso attrito non produce grandi variazioni della velocità e dell'accelerazione, che per piccoli tratti può ritenersi, con buona approssimazione, costante.

Una modellizzazione della legge oraria con una funzione matematica di tipo lineare consente di introdurre il problema della capacità descrittiva e dei limiti di un modello, di correlare fra loro il significato fisico, matematico e grafico sia di velocità media sia di posizione iniziale e, ancora, di fare un passo avanti verso la comprensione del moto rettilineo uniforme di un corpo puntiforme, come caso ideale limite di situazioni più complesse.

Per questo motivo, ho disposto un carrello su una guida orizzontale, gli ho dato una spinta in modo tale che, giunto al termine della guida, urtasse contro un supporto di gomma e tornasse indietro. Il sistema di acquisizione dati on line ha fornito immediatamente i grafici della posizione, della velocità e dell'accelerazione in funzione del tempo.

Gli studenti hanno avuto la possibilità di studiare con cura i fenomeni transienti, valutando realisticamente la loro durata e l'effetto sul moto a regime. Nella presentazione tradizionale della cinematica non si fa mai riferimento alla fase di avvio e a ciò che ha prodotto il moto in orizzontale. Nel caso in esame,

invece, una mano spinge il carrello inizialmente fermo e l'istante iniziale del moto può naturalmente e convenzionalmente coincidere con l'inizio della registrazione con il sonar in una qualsiasi delle fasi in cui il carrello viene a trovarsi.

Gli studenti hanno individuato, con il software DataStudio, l'intervallo di tempo in cui il carrello si era mosso di moto rettilineo uniforme, ricordando che un punto materiale si muove in tal modo quando si sposta su di una retta percorrendo spazi uguali in tempi uguali (vedi Fig.2).

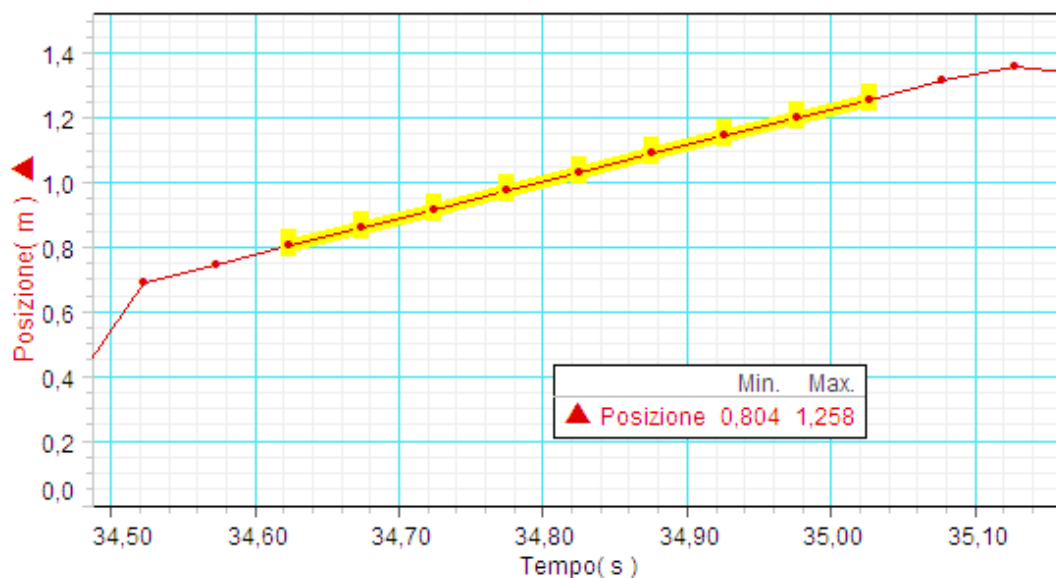


Fig. 2 - Grafico posizione-tempo del carrello che si allontana dal sonar nell'intervallo di tempo in cui il moto è rettilineo uniforme.

Confrontando la legge oraria trovata con l'equazione generica di una retta $y=mx+q$, gli studenti hanno immediatamente verificato che la velocità istantanea è rappresentata dal coefficiente angolare, mentre la posizione all'istante iniziale è determinata dal termine noto. Di conseguenza, un punto materiale che si allontana dall'origine è rappresentato nel diagramma posizione-tempo da una retta con pendenza positiva, mentre un punto materiale che si avvicina all'origine, cioè che torna indietro, da una retta con pendenza negativa.

In un moto rettilineo uniforme, la velocità in funzione del tempo è rappresentata da una retta parallela all'asse delle ascisse in quanto essa si mantiene costante (vedi Fig.3).

Il grafico della velocità ha una proprietà notevole: l'area che sta sotto alla retta fra l'istante iniziale ed un istante qualunque t rappresenta lo spazio percorso.

Il software DataStudio consente di verificare questa proprietà facilmente.

Questa relazione si mantiene anche nel caso in cui la velocità non sia costante. Il più semplice dei moti rettilinei con velocità non costante è quello in cui la velocità varia di quantità uguali in intervalli di tempo uguali, vale a dire tale che la sua accelerazione istantanea sia costante, e pertanto coincida con l'accelerazione media. Un tale moto si dice uniformemente accelerato.

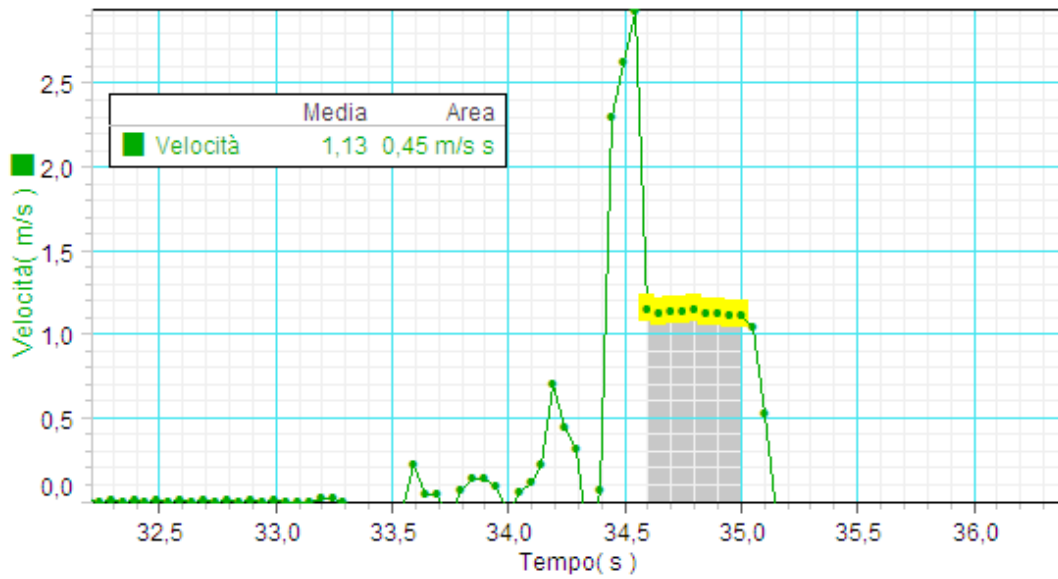


Fig. 3 - Grafico velocità-tempo del moto del carrello. In evidenza il tratto in cui il moto è rettilineo uniforme.

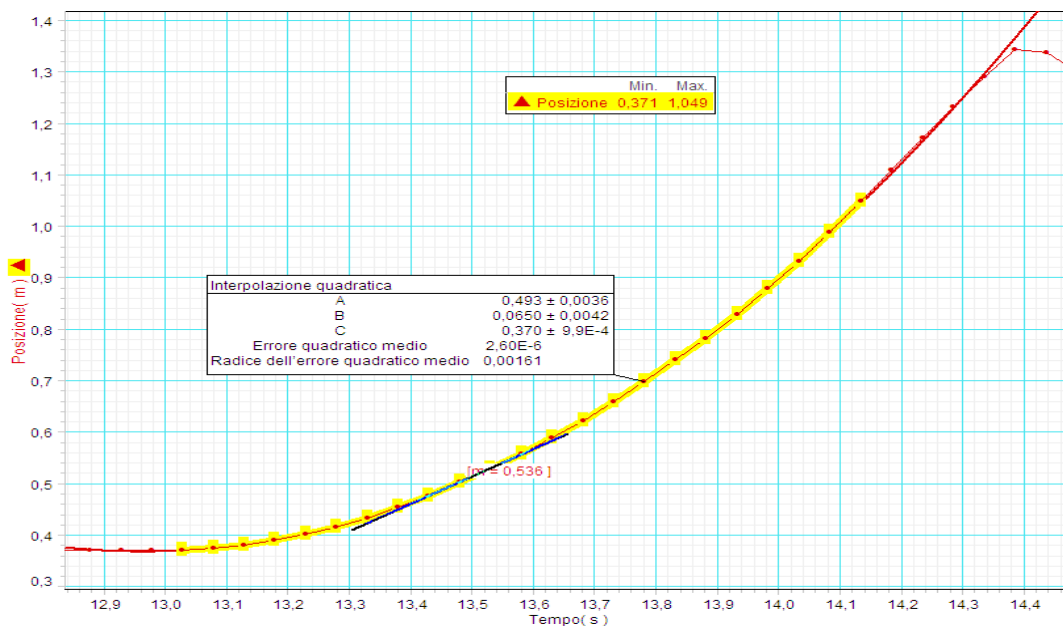


Fig. 4 - Grafico posizione-tempo del carrello che si allontana dal sonar nell'intervallo di tempo in cui il moto è rettilineo uniformemente accelerato.

Per studiare questo moto, in laboratorio di fisica ho fatto muovere un carrello trainandolo con una forza costante; raggiunto un ostacolo, il carrello è tornato liberamente indietro.

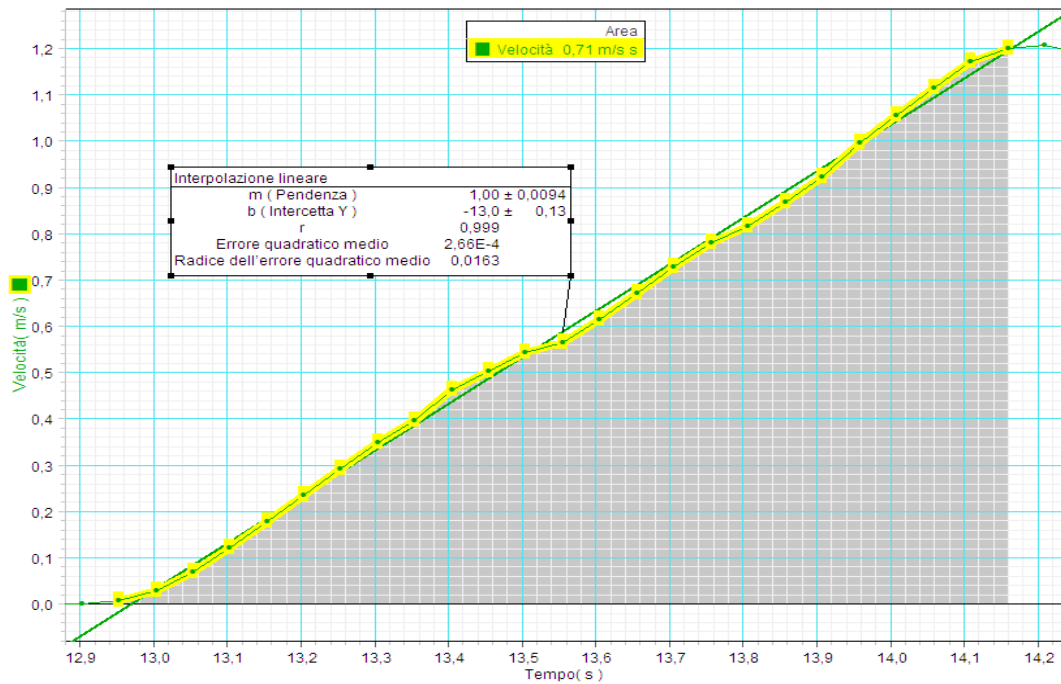


Fig. 5 - Grafico velocità-tempo del moto rettilineo uniformemente accelerato del carrello.

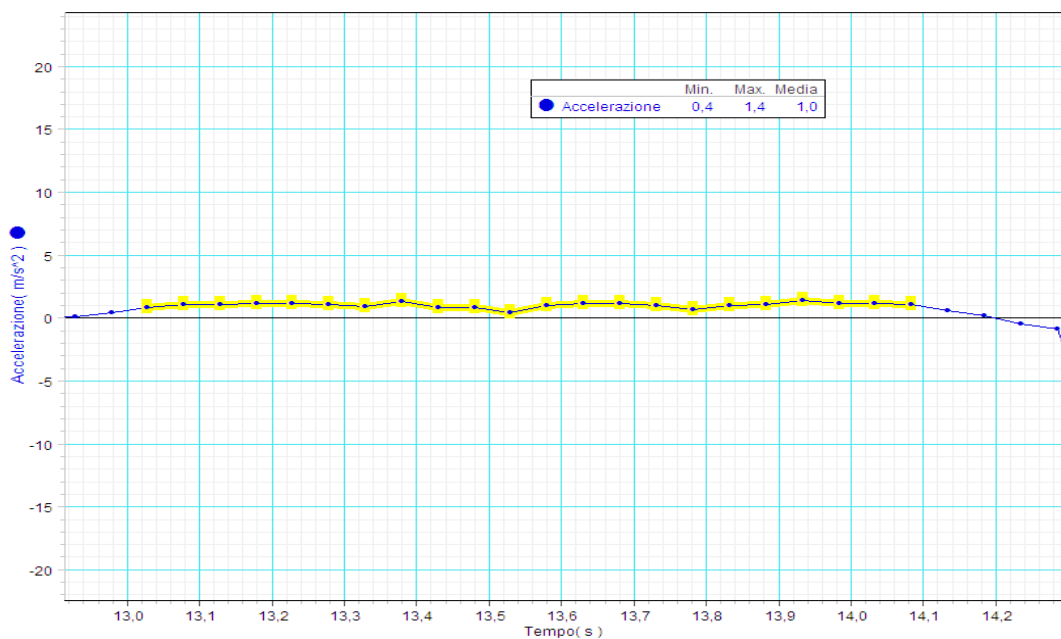


Fig. 6- Grafico accelerazione-tempo del moto rettilineo uniformemente accelerato del carrello.

Attraverso il software DataStudio, gli studenti hanno potuto verificare che:

- i punti nel grafico posizione-tempo possono essere interpolati con una curva parabolica (vedi Fig.4);
- i punti nel grafico velocità-tempo possono essere interpolati con una retta (vedi Fig.5);

- il coefficiente angolare della tangente alla curva in un punto del grafico posizione-tempo corrisponde alla velocità istantanea;
- l'area sotto la curva del grafico velocità-tempo corrisponde allo spazio percorso nell'intervallo di tempo considerato;
- l'accelerazione si mantiene, con buona approssimazione, costante (vedi Fig.6) e il suo valore è pari al coefficiente angolare della retta velocità-tempo.

3.3. Terzo esempio

Le interfacce grafiche di ScienceWorkshop e di DataStudio facilitano moltissimo la comprensione dei legami fra le diverse grandezze in gioco nelle situazioni considerate, ma non evidenziano le procedure messe in atto per ottenere i risultati. Per questo motivo, ho ritenuto opportuno far affrontare qualche esperienza con l'ausilio del foglio elettronico Excel. In tal caso, gli studenti non solo hanno dovuto imparare a far eseguire i conti al programma, ma anche a scrivere le istruzioni di calcolo con il linguaggio proprio di Excel, al fine di gestire la mole di calcoli da effettuare.

Per esempio, ho lasciato cadere una sbarretta di plexiglas, mentre un sensore individuava la sua posizione al variare del tempo (vedi Fig.7).

+ Posizione, Can 1 Raccolta #2	
Tempo (s)	Posizione (m)
4,5342	0,050
4,5672	0,100
4,5948	0,150
4,6190	0,200
4,6408	0,250
4,6608	0,300



Fig. 1 - Le posizioni assunte da una sbarretta di plexiglas al variare del tempo.

Gli studenti hanno ricavato le equazioni del moto e della velocità utilizzando il foglio elettronico Excel. Attraverso la definizione di velocità come rapporto tra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo, essi hanno individuato una procedura per trovare i valori della velocità e, ancora, attraverso la definizione di accelerazione come rapporto tra la variazione della velocità e il tempo in cui è avvenuta tale variazione hanno trovato la procedura per determinare i valori dell'accelerazione. Il programma Excel, oltre a realizzare i calcoli, consente di rappresentare i dati in modo grafico. Nell'esempio considerato, è stato possibile costruire tre grafici cartesiani, quello della posizione in funzione del tempo, quello della velocità in funzione del tempo e

quello dell'accelerazione in funzione del tempo e osservare che erano proprio gli stessi grafici proposti dal programma DataStudio.

4. Conclusioni

Il ruolo delle nuove tecnologie si è rivelato sicuramente molto positivo sia nel processo di coinvolgimento e apprendimento degli studenti riguardo ad argomenti teorici, sia per stimolare e rendere operativa la loro progettualità anche grazie all'immediata visualizzazione dei dati, che ha consentito altresì, a chi era poco incline all'attività grafico-matematica, di partecipare in modo attivo alla discussione relativa.

La possibilità di collegare il computer con differenti sensori, l'interattività tra diversi ambienti, la possibilità di trasferire dati da un programma all'altro hanno consentito agli studenti di lavorare, eseguendo operazioni differenti: dal calcolo alla programmazione, dallo studio alla manipolazione dei grafici di funzione, dall'uso del foglio elettronico alla realizzazione di grafici con software opportuno.

Inoltre, ho potuto verificare la validità della strumentazione on line al fine di produrre esperienze di fisica, altrimenti difficilmente realizzabili in un normale laboratorio, nonché la sua utilità nel promuovere la formulazione di congetture sia in ambito fisico sia in quello matematico: infatti, essa apre prospettive stimolanti e interessanti per il processo di insegnamento-apprendimento e per la ricerca didattica e contribuisce a un'evoluzione significativa del linguaggio utilizzato dagli studenti nel descrivere le attività svolte e le conoscenze costruite.

Le attività proposte si sono rivelate, dunque, di grande efficacia didattica e di forte impatto scientifico: oltre a studiare sul libro, è stato possibile "fare" matematica e fisica in modo molto coinvolgente per i ragazzi e molto produttivo per l'insegnante. Per questo motivo, da alcuni anni, avvalendomi anche dell'eredità del progetto LABTEC, ho fatto diventare parte integrante della didattica della matematica e della fisica quanto a livello di metodo e di contenuti era stato avviato col progetto suddetto.

Attualmente, uso regolarmente il laboratorio tecnologico nella mia attività didattica in quanto ho compreso da tempo il significato e il ruolo di un laboratorio scientifico basato sulle nuove tecnologie, apprezzando l'efficacia e la potenzialità didattica che i sistemi di acquisizione dei dati on line consentono.

Bibliografia

[Michelini, 1991] Michelini M., Modellizzazione e esperimenti on-line: nuove prospettive dall'impiego dell'elaboratore nella didattica della fisica, LFNS, XXIV, 4IR, 1991, 44.