

FISICA E INFORMATICA: UN AMBIENTE PER LO STUDIO DEL MOTO. 3

Sandro Ronca

Dall'analisi di un progetto di base per lo studio del moto con l'ausilio di un elaboratore si è passati alla modifica ed adattamento per descrivere una più ampia tipologia di moti. Questa, in sintesi, la proposta dell'Autore che ha trovato spazio su due precedenti numeri della rivista (5 e 6) e che qui si conclude.

Analizziamo altre possibilità offerte dal programma MOTO. Ricordiamo che uno dei nostri obiettivi didattici fondamentali era di verificare in modo concreto, se così si può dire, ed efficace la possibilità di descrivere un'ampia classe di moti ricorrendo alle definizioni di velocità e accelerazione ed alla seconda legge della dinamica $F = ma$, dando quindi un senso all'idea di unificare fenomeni diversi sotto un'unica chiave interpretativa (punto 4 della prima parte: l'unificazione). Il passo successivo consiste quindi nell'ampliare il nostro programma in modo da poter simulare altri tipi di moto. Cominciamo scrivendo una procedura (Forza_Centripeta) che simuli un moto circolare uniforme e che si integri con le procedure esistenti. Alcune domande possono aiutare a meglio focalizzare il problema: 1) cosa caratterizza un moto con traiettoria chiusa? 2) Quali condizioni devono essere poste su accelerazione e velocità perché la traiettoria sia circolare? 3) Cosa dovrà calcolare la nuova procedura? 4) In quale punto del programma dovrà essere chiamata? Una volta capito che l'esistenza di una forza centripeta è condizione necessaria per un moto circolare, si deve affrontare il problema del calcolo delle componenti dell'accelerazione impostando le opportune proporzioni tra triangoli simili. La domanda 4) mette in evidenza un punto non banale perché, come l'esperienza didattica dimostra, il concetto di costanza e per converso di variabilità di una grandezza vettoriale non è di immediata e completa comprensione. La chiamata alla procedura Forza_Centripeta dovrà essere inserita all'interno del ciclo While di Muovi_Oggetto (nel punto previsto) in modo che ad ogni iterazione possano essere ricalcolate le componenti A_x e A_y dell'accelerazione. È molto importante sperimentare con le procedure scritte e analizzare gli inevitabili errori: solo la lo-

ro comprensione consente un'acquisizione certa delle conoscenze. Ci si renderà conto che un'accelerazione costante in modulo non è sufficiente per ottenere un moto circolare, infatti, dando valori qualsiasi alla velocità si otterrà in generale una traiettoria ellittica con velocità variabile anche in modulo (potremmo approfittarne per introdurre il concetto di costanza della velocità areolare).

L'oscillatore armonico

Che tipo di moto possiede una massa sospesa ad una molla soggetta alla forza di gravità? Per questioni di semplicità non disegneremo la molla, ma simuleremo matematicamente la sua esistenza scrivendo le opportune equazioni. Date le coordinate della posizione di riposo dell'estremità della molla (ricordarsi di dichiarare le nuove variabili che vengono utilizzate), calcolata l'elongazione r_0 della molla e nota la sua costante k , dall'analisi delle forze agenti si ha l'equazione: $Ma_y = mg - kr$, da cui ricaviamo a_y . Una volta inizializzate opportunamente le variabili K_{molla} , Y_{ripos} e le coordinate della massa si otterrà il moto voluto. Variando i parametri si potrà valutare l'effetto su frequenza, ampiezza, ecc. Un risultato notevole si ottiene se si pensa di far muovere l'oscillatore con velocità costante nella direzione X (basta assegnare a V_x un valore diverso da zero): sullo schermo comparirà una sinusoide che viene così messa chiaramente in relazione con il moto oscillatorio, aprendo interessanti prospettive interdisciplinari (sappiamo bene come sia sovente difficile per gli studenti cogliere le interazioni tra materie diverse e come, in particolare, lo studio delle funzioni trigonometriche tenda ad essere considerato piuttosto astratto e privo di applica-

zioni immediate). Sarà ovviamente utile studiare le caratteristiche di questa curva così importante per lo studio di moltissimi fenomeni fisici.

L'oscillatore smorzato. La semplice aggiunta del termine $-K_v V_y$ consente di studiare il comportamento dell'oscillatore in presenza di attrito viscoso. Il moto lungo l'asse X consente anche qui di visualizzare l'andamento dell'ampiezza in funzione del tempo, rendendo possibili considerazioni matematiche sull'aspetto e forma analitica della curva.

Il pendolo

La simulazione del moto del pendolo comporta maggiori difficoltà sia sul piano dell'analisi che su quello della formalizzazione del problema, ma, se uno dei nostri obiettivi è quello di potenziare le capacità di soluzione di problemi, questo è un passo che non dovrebbe essere evitato. Si comincia come al solito con l'analisi delle forze agenti: la gravità e la tensione del filo, ottenendo l'equazione vettoriale $ma = mg + T$. La codifica del problema richiede di risalire alle componenti F_x ed F_y della forza risultante ottenute anche qui sfruttando le opportune similitudini tra triangoli (si veda la codifica della procedura Pendolo, dove il significato dei simboli è sufficientemente chiaro). In fase di esecuzione si noterà che la massa, pur oscillando, «cade» verso il basso. Il problema risiede nel fatto che le equazioni del moto non contengono informazioni sulla presenza del vincolo, il quale non consente valori indipendenti per le coordinate spaziali. È utile assegnare agli allievi il compito di individuare la relazione, di codificarla e di decidere in quale punto del programma vada inserita (dette X_s , Y_s le coordinate del punto di sospensione e X , Y le coordinate della massa, con la condizione che $(X - X_s) < L$, avremo $Y = Y_s + \sqrt{(L^2 - (X - X_s)^2)}$, da porre subito dopo la chiamata a Incrementa in Muovi_Oggetto).

Moto Planetario. Da ultimo vogliamo simulare il moto planetario regolato da una forza inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Alla luce delle conoscenze acquisite con il lavoro prece-

dente la scrittura della procedura (Newton) non dovrebbe presentare soverchie difficoltà. Gli allievi potranno constatare come la velocità iniziale costituisca un parametro critico per la forma dell'orbita. Conviene cominciare con la simulazione di un'orbita circolare per arrivare a orbite ellittiche e paraboliche.

Particolarmente spettacolare risulta la «cattura» di un oggetto inizialmente in moto uniforme da parte di un centro gravitazionale. Una proposta interessante di lavoro, perché consente di insistere sul concetto di modello e nello stesso tempo costituisce una forma di verifica, può essere quella di simulare il moto di rivoluzione terrestre supponendo di ridurre le dimensioni lineari di un fattore 10^6 , chiedendo di rappresentare la posizione della terra ogni 24 ore ($\text{Deltat} = 86400$) e di verificare la durata del periodo di rivoluzione ($\text{Tempo} = 365 * \text{Deltat}$). La soluzione consiste nel considerare che la massa solare va ridotta di un fattore 10^{18} , lasciando invariata la costante gravitazionale $G = 6.672 \cdot 10^{-11}$; la Costante da passare alla procedura Newton vale allora $6.672e-11 * 1.989e12$. Anche le velocità vanno moltiplicate per un fattore 10^{-6} . Un possibile sviluppo consiste nel sottoporre il «pianeta» all'azione di più centri gravitazionali.

La reversibilità temporale

Dicevamo all'inizio del nostro discorso dell'opportunità di valutare implicazioni del modello non direttamente evidenti. Vediamone una di particolare importanza. Attribuendo a Deltat un valore negativo e modificando in Muovi_Oggetto sia il valore iniziale di t ($t = -\text{Tmax}$), sia la condizione di controllo del ciclo While ($t \geq 0$) simuleremo uno scorrimento all'indietro del tempo. Procediamo così: prima di effettuare queste modifiche simuliamo ad esempio un moto composto con le opportune condizioni iniziali, scegliendo convenientemente il lato del reticolo e avendo cura di dare un valore a Tempo tale da non uscire dall'area di visualizzazione. Leggiamo quindi i valori finali di X , Y , V_x , V_y , inserendo dopo Closegraph una istruzione write : $\text{write}('X = ', X, 'Y = ', Y, ...)$ seguita da un altro readln , oppure usando l'opzione di Debug Evaluate (per la versione 5.0 e superiori). Eseguiamo nuovamente dopo le modifiche, attribuendo come valori iniziali quelli finali. Vedremo la pallina tornare, esattamente con le stesse modalità di prima, alla posizione di partenza. Avremo così constatato, in maniera semplice ed efficace, la note-

vole proprietà di cui godono le leggi della dinamica di essere insensibili alla direzione del tempo. Non mi dilungo oltre, ma è evidente che, come per la causalità, può aprirsi qui una discussione densa di significati e di opportunità didattiche.

Conclusioni

Abbiamo esaminato il programma **MOTO** nella sua versione base e passato in rassegna alcuni sviluppi che, nel tentativo di realizzare il nostro più volte ripetuto obiettivo, mi sono sembrati particolarmente interessanti. Per questioni di spazio il programma è stato descritto in forma molto concisa, ma penso che la lettura del codice possa risolvere eventuali perplessità. L'assenza di interattività o di altre caratteristiche che renderebbero più immediato l'uso del programma è giustificata dall'esigenza di evitare una notevole complicazione del codice, inopportuna in questa sede. Vorrei infatti ricordare che questo lavoro è stato impostato nell'intento di fornire una guida per il docente il quale, per ottenere i massimi risultati dovrebbe condurre gli studenti ad un approccio il più possibile autonomo all'argomento, trovandosi quindi preparato ad affrontare e discutere soluzioni alternative da essi proposte, anche se, avendo impostato l'attività secondo le linee metodologiche che ho tentato di tracciare, le soluzioni non potranno scostarsi molto da quelle descritte.

Una possibile critica nei confronti di un'attività di questo genere è che si deve impiegare un tempo relativamente lungo per un lavoro che può essere condotto più rapidamente con altri mezzi (problemi, discussioni, uso di un foglio elettronico, ecc.). Si può rispondere che il maggior tempo assorbito nella realizzazione del programma ha sicuramente come controparte una più profonda comprensione del metodo scientifico e della interconnessione dei fenomeni, oltre a sviluppare importanti capacità di problem solving, anche in ragione del fatto che la realizzazione «con le proprie mani» di un'idea (pur se opportunamente guidata) costituisce di per sé uno dei principali modi di apprendimento oltre che un fortissimo fattore di motivazione. Vale la pena di ricordare che, a causa dei programmi eccessivamente vasti, è diffusa la tendenza a trattare in maniera troppo rapida e quindi superficiale anche argomenti di fondamentale importanza ai quali dovrebbe essere dedicata una cura particolare ed un tempo congruo, perché, se si vuole dare allo studio della Fisica

1 - Procedura per la simulazione del moto circolare.

```
procedure Forza_Centripeta (Xcentro,
Ycentro,Forza,Massa:real);
var rx,ry,r2,Acc:real;
begin
  rx:=X-Xcentro;
  ry:=(Y-Ycentro);
  r2:=rx*rx+ry*ry;
  Acc:=Forza/Massa;
  Ax:=-Acc*rx/sqrt(r2);
  Ay:=-Acc*ry/sqrt(r2);
```

end;

2 - Procedura per la simulazione dell'oscillatore armonico.

```
procedure Oscillatore (Xriposo,Yriposo,
Kmolla,Massa:real);
var rx,ry,r2,Acc:real;
begin
  rY:=(Y-Yriposo);
  Ay:=g-Kmolla/Massa*ry;
```

end;

3 - Procedura per la simulazione del pendolo.

```
procedure Pendolo (Xsosp,Ysosp,L,
Xpend,Massa:real);
var Lx,Ly,Fx,Fy,Tensione:real;
begin
  Lx:=Xsosp-Xpend;
  Ly:=sqrt(L*L-Lx*Lx);
  Tensione:=Massa*g*Ly/L;
  Fx:=Tensione*Lx/L;
  Fy:=Massa*g-Tensione*Ly/L;
  Ax:=Fx/Massa;
  Ay:=Fy/Massa;
```

end;

4 - Procedura per la simulazione del moto planetario.

```
procedure Newton (Xcentro,Ycentro,X,
Y,Costante:real);
var rx,ry,r,Acc:real;
begin
  rx:=(X-Xcentro);
  ry:=(Y-Ycentro);
  r:=sqrt(rx*rx+ry*ry);
  Acc:=Costante/(r*r);
  Ax:=-Acc*rx/r;
  Ay:=-Acc*ry/r;end;
```

il significato educativo e culturale che sicuramente le compete, dobbiamo tenere presente che la costruzione di un nuovo sistema concettuale, implica per gli allievi il conflitto con i loro modelli precostituiti, rendendo a volte molto problematica la comprensione e l'assimilazione di nuove idee. Il rischio è che i nuovi concetti siano presenti solo come sovrastruttura rispetto alle personali convinzioni sul mondo: si è coscienti dell'esistenza di un metodo scientifico, ma nella pratica si continuano ad utilizzare gli schemi di ragionamento e i concetti preesistenti. Fortunatamente alcune proposte di nuovi programmi per l'insegnamento della Fisica sembrano tener conto di questi dati, puntando maggiormente sullo sviluppo e acquisizione dei grandi concetti unificanti, rendendo possibile in prospettiva anche un uso più appropriato delle nuove tecnologie e di proposte di lavoro come la presente. Sarei lieto di ricevere osservazioni, critiche, suggerimenti da parte dei colleghi su quanto si è qui proposto.

Sandro Ronca