LABORATORIO DI FISICA COMPUTAZIONALE NELLE SCUOLE: disegno ed implementazione di esperimenti numerici

Maria Peressi e **Giorgio Pastore**
Dip. di Fisica Università di Trieste
IOM-CNR (DEMOCRITOS) - Trieste

Progetto Lauree Scientifiche
Università degli Studi di Trieste

DEMOCRITOS
DEmocritos MOdeling Center for Research In aTOmistic Simulation INFM

Istituto Officina dei Materiali

Motivazione

Perche' un laboratorio di fisica computazionale a scuola?

Due considerazioni "quasi" banali:

1) Importanza sempre crescente dei computers nella nostra vita e nella ricerca

2) Diffusa familiarita' e capacita' di utilizzo in particolare da parte dei giovani (quasi un gap culturale/generazionale)

Tutto ok? Tutto automatico? C'e' modo e modo di usarli...

Computer nella ricerca

La <u>ricerca</u> in fisica oggi:

esperimento / teoria / simulazione

Computer: NON solo supporto, MA SOPRATTUTTO:

esperimenti computazionali

con tecniche e metodologie proprie, in cui la rappresentazione della realtà può essere esplorata mediante esperienze in cui *ogni* parametro o aspetto del modello può essere modificato e validato separatamente: esperimenti "what-if" **=> potere predittivo**

("The purpose of computing is insight, not numbers", R. Hamming)

Computer nella scuola

C'è spazio per un ruolo simile nel comunicare la fisica (insegnarla agli studenti) ?

Già presente nella scuola a vari livelli ("computer aided physics"); gia' largamente usato come strumento <u>interattivo ed efficiente</u>:

- molti software didattici <u>dimostrativi</u> gia' disponibili (non troppi in Italiano, a dir il vero), vari applets Java in rete...

- ... e anche diversi potenti software con ambienti integrati e addirittura pacchetti di simulazione

- **Gia' maturato quindi un ruolo adeguato ?**

Forse, ma…

- l' utilizzo dell' approccio computazionale sembra essere (in generale) meno diffuso di quello centrato sull'uso del laboratorio tradizionale

- limitandosi all'utilizzo di software dimostrativi o "pronti all'uso" ma troppo complicati per essere padroneggiati, lo studente :

- in un ambiente pieno di stimoli virtuali, può avere difficoltà a cogliere la portata del risultato

- corre il rischio, fermandosi a verificare pochi esempi paradigmatici, di dare il risultato per scontato e accettarlo in modo acritico

La nostra proposta:

verso un vero laboratorio di fisica computazionale

(anche integrabile con quello tradizionale)

- capire ed esplorare **"cosa c'è dentro"** un codice di simulazione
- **disegnare ed implementare insieme agli studenti** semplici esperimenti al computer (dove possibile)
- modulabilità ed adattabilità
- possibilità di superare con una soluzione di tipo numerico molti limiti di tipo matematico-formali

La nostra esperienza

con studenti di s.s. degli ultimi 3 anni e i loro docenti

RUOLO: Trasferimento di conoscenze su **strumenti** e **metodologie** dalla **ricerca e didattica universitaria in fisica computazionale** alla **didattica nelle scuole**

ACCENTO SU:

- problemi affrontabili usando le conoscenze di matematica e fisica normalmente disponibili;

- **problem solving; algoritmi;** selezione di strumenti numerici e grafici semplici

NEUTRALITA' SU:

- tecniche e linguaggi di programmazione (finora usati: Delphi/Pascal, Java) - a dopo i dettagli

La nostra esperienza

con alcune Scuole del FVG (*)

organizzazione del progetto:

1) lezioni introduttive nelle classi

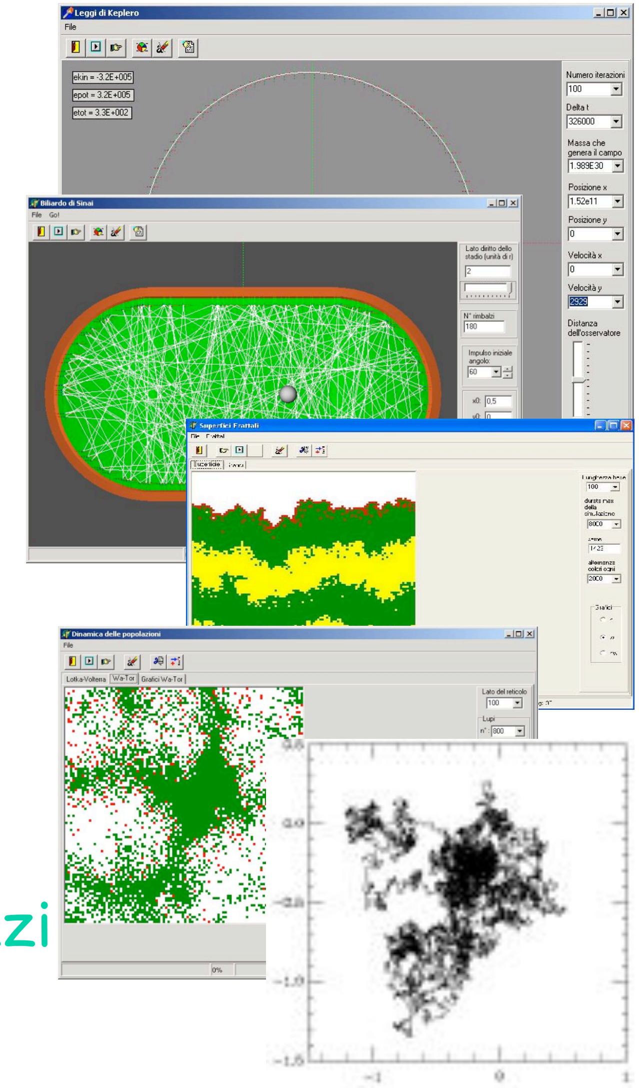
2) **sessioni tematiche** pratiche (“hands-on”) in lab informatico su specifici problemi (partecipazione studenti su base volontaria)

3) su richiesta: sessioni addizionali su linguaggio di programmazione

(*) per le fasi 1) e 2), anche nella Scuola Estiva di Fisica Moderna, 2007 e 2009

Argomenti sviluppati:

- dinamica (in campo gravitazionale [pianeti e satelliti]; in campi elettrostatici e magnetostatici…)
- urti nei biliardi e moti caotici (dal biliardo regolamentare a quello a forma di stadio)
- modelli di crescita di superfici (un “Tetris” per la fisica)
- dinamica delle popolazioni
- moto browniano
- ottica geometrica (rifrazione in mezzi inomogenei)



Un "case study":
rifrazione in mezzi non omogenei

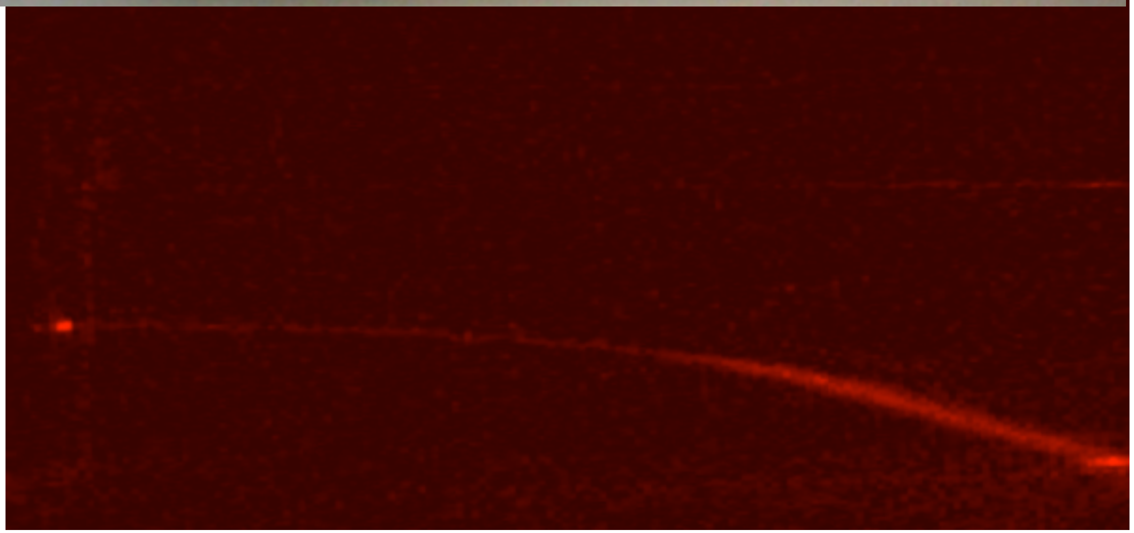
1) Rifrazione tra mezzi omogenei: facilmente descrivibile

2) Generalizzazione in mezzi non omogenei: non banale (**non solubile analiticamente** se non in certi casi particolari -indice di rifrazione variabile secondo certe leggi- e comunque usando il calcolo differenziale - impossibile per gli studenti)

3) interessanti applicazioni (rifrazione atmosferica/miraggi/fibre ottiche "graded-index"...)

4) si riesce a 'vedere' in laboratorio; si riesce a simulare in modo semplice al computer

si riesce a ‘vedere’
in laboratorio:

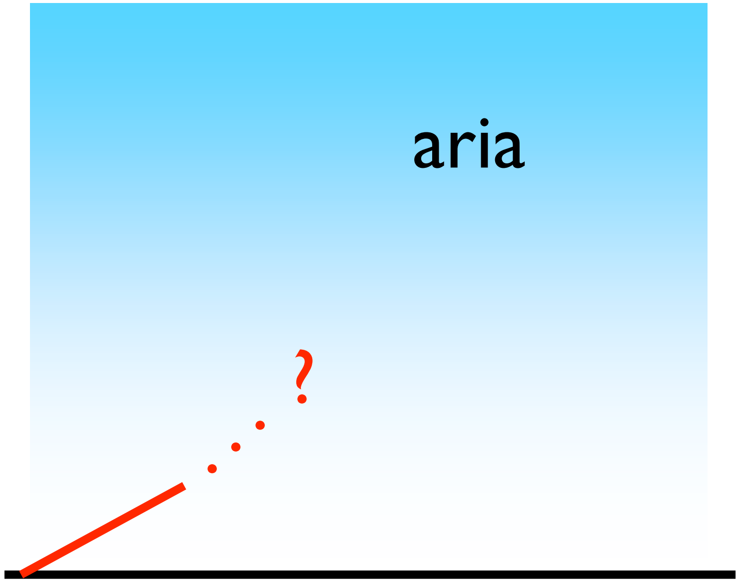


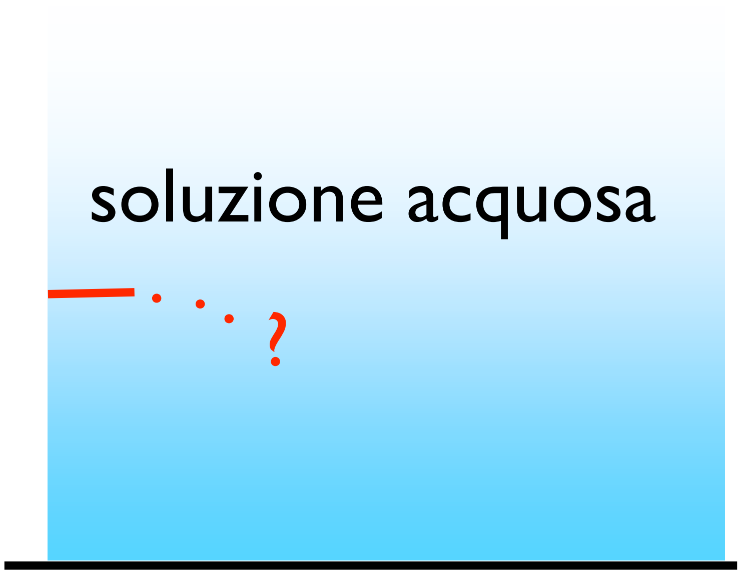
Vasca in pexiglas
con soluzione salina
concentrata:

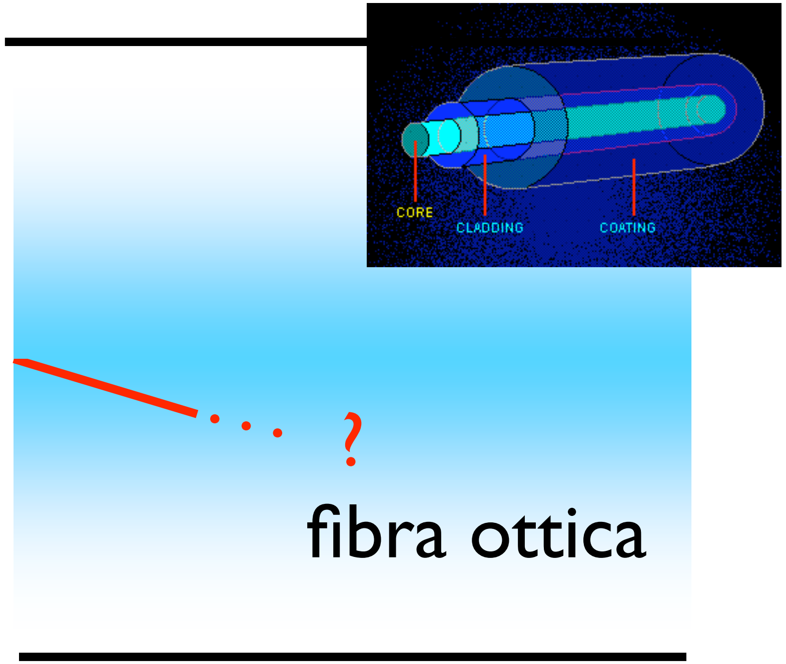
gradiente
di concentrazione
con l’altezza =>

gradiente di indice
di rifrazione

Ma come prevedere il cammino del raggio in mezzi non omogenei?



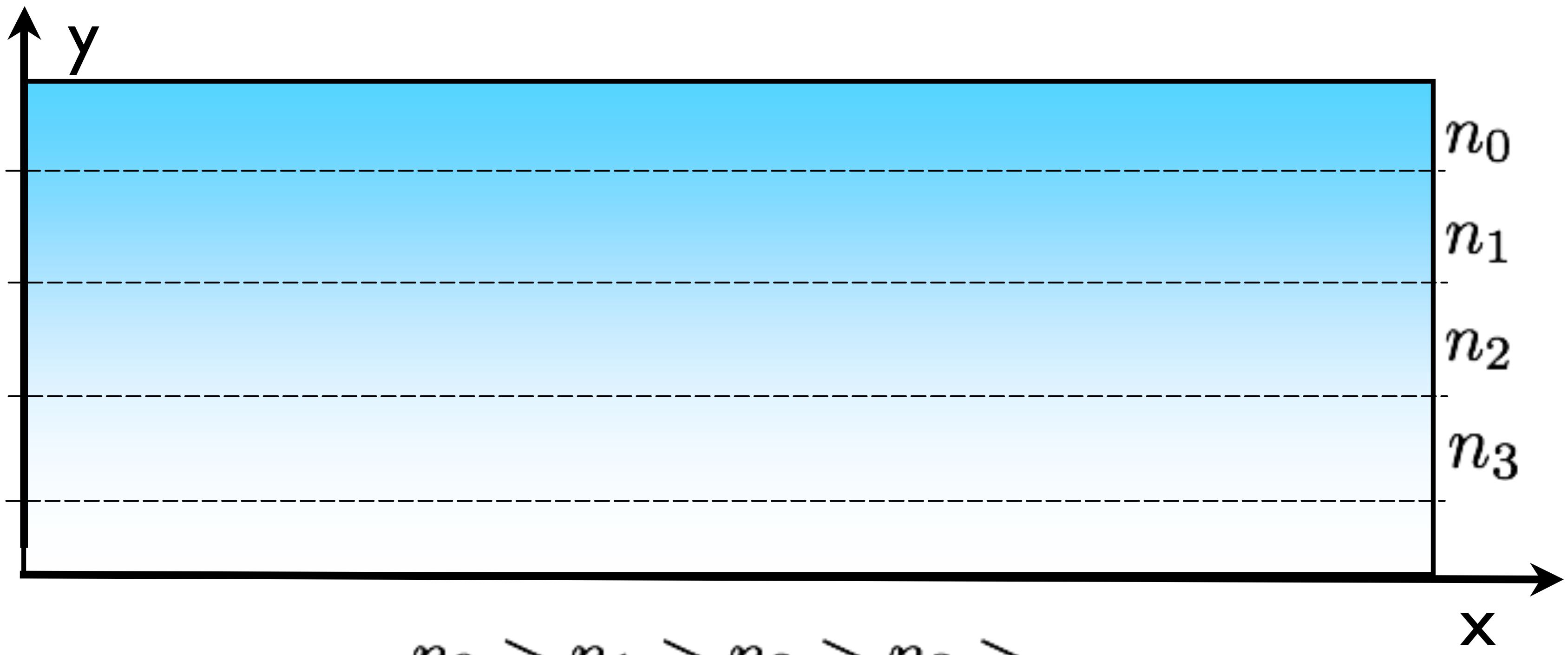




la fibra ottica puo' anche avere indice di rifrazione variabile dal centro alla periferia (mediante l'introduzione controllata di impurezze)

Modello discreto

Consideriamo che l'indice di rifrazione vari
a strati paralleli (non necessariamente di uguale spessore):



$$n_0 > n_1 > n_2 > n_3 > \ldots$$

e consideriamo la propagazione del raggio luminoso a tratti successivi
(approssimiamo il raggio curvo con una linea spezzata)

Ci serve solo la legge di Snell:

in generale:

$$\frac{\frac{\overline{OH}}{\overline{OP}}}{\frac{\overline{OH'}}{\overline{OP'}}} = \frac{n'}{n}$$

$$\frac{sen\ \hat{i}}{sen\ \hat{r}} = \frac{n'}{n}$$

(trigonometria OK?)

Ma anche senza trigonometria...

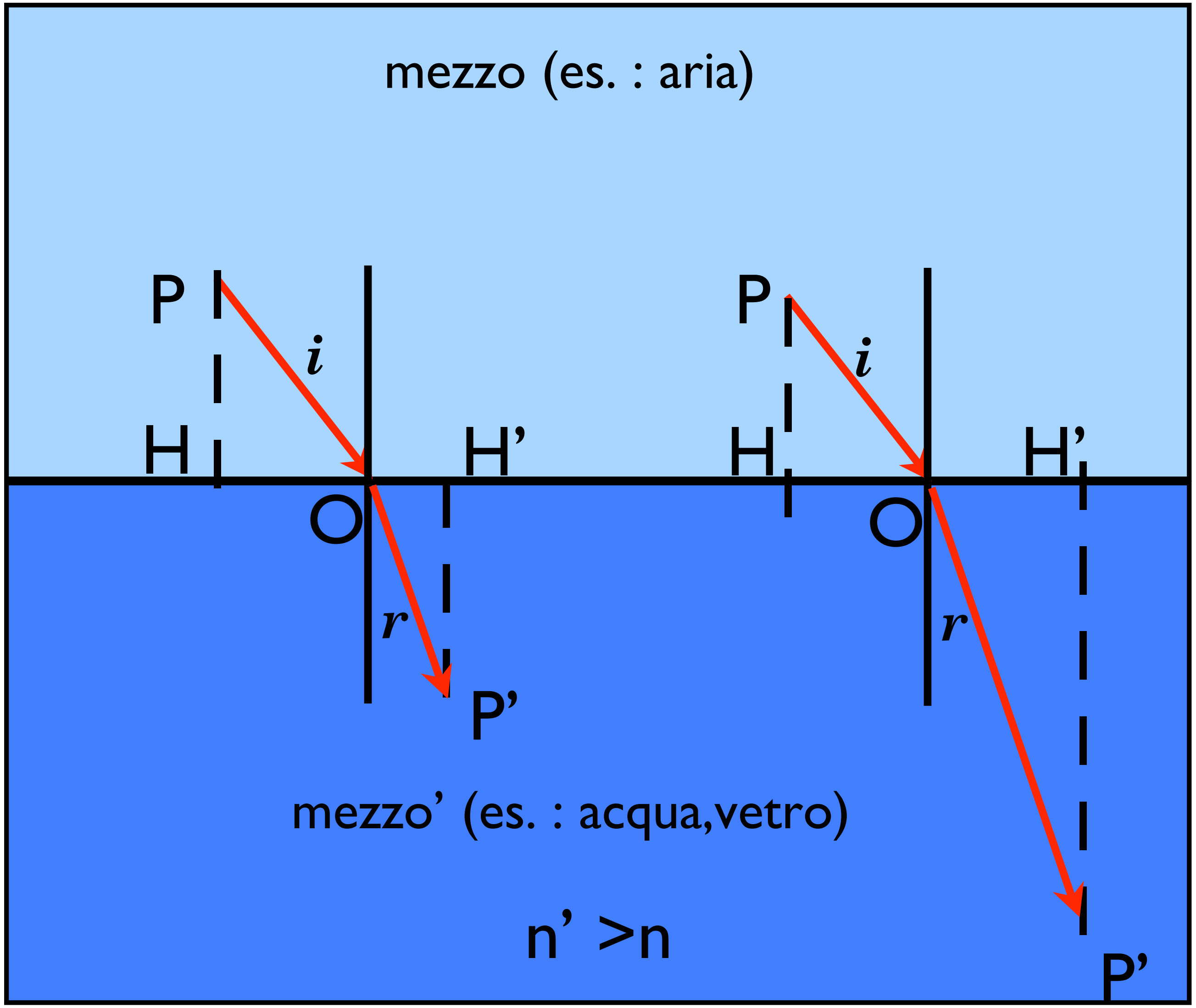
in particolare:

Se $\overline{OP} = \overline{OP'}$:

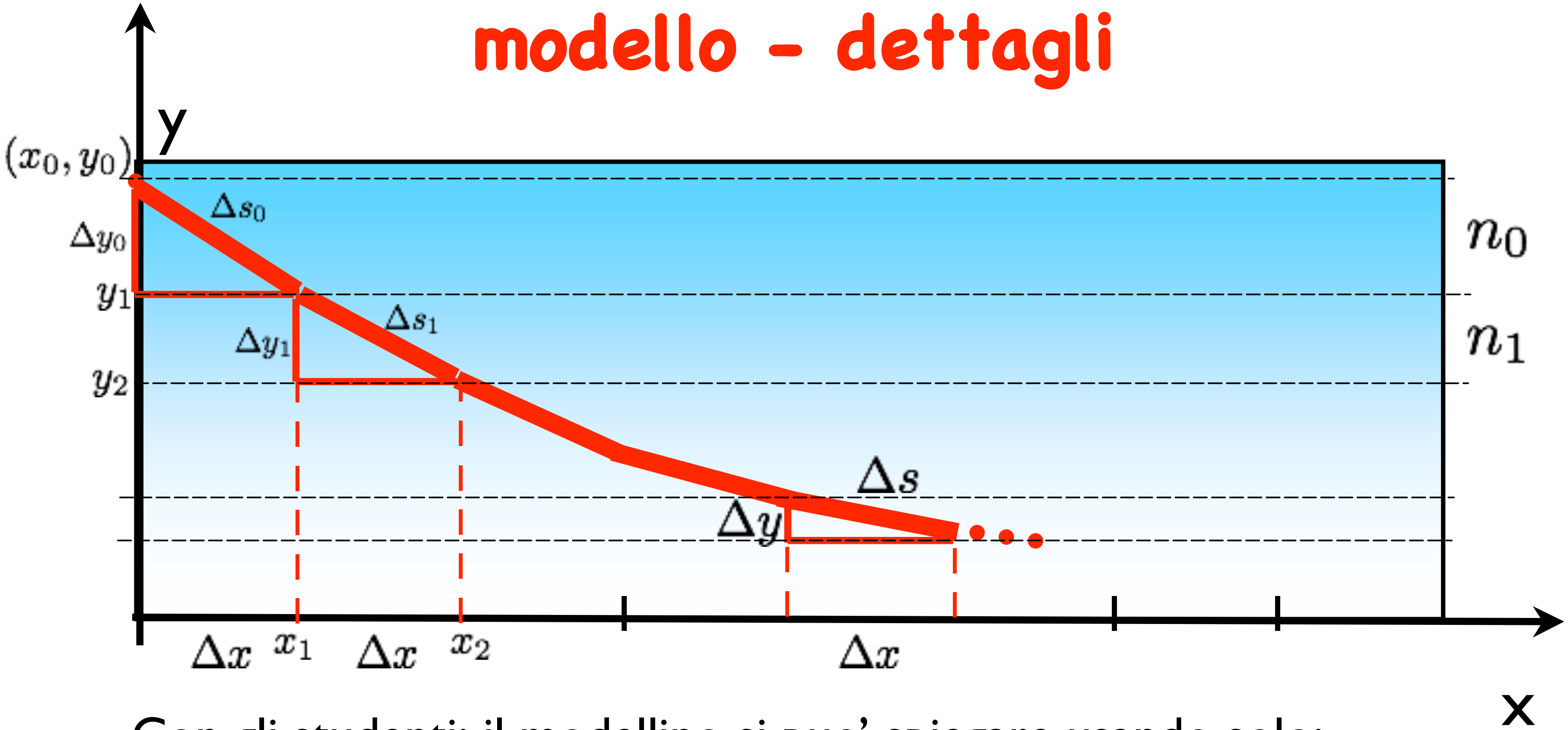
$$\frac{\overline{OH}}{\overline{OH'}} = \frac{n'}{n}$$

Se $\overline{OH} = \overline{OH'}$:

$$\frac{\overline{OP'}}{\overline{OP}} = \frac{n'}{n} \qquad (*)$$



modello - dettagli



Con gli studenti: il modellino si puo' spiegare usando solo:
1) LEGGE DI SNELL
2) TEOREMA di PITAGORA applicato ai singoli triangolini; si ottiene (eventualmente esplicitare *sin* con il rapporto tra segmenti)

$$\Delta y = \pm \Delta x \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \varphi_0} \frac{n^2(y)}{n_0^2} - 1}$$

che si scrive facilmente in un programma e si fa iterare (intervallo dopo intervallo)

Allora, dato n(y)
o fatta un'ipotesi ragionevole su esso:

- riesco a prevedere il cammino del raggio
- laboratorio virtuale ("what-if" = "cosa succede se" .. ad es. vario n(y), la direzione iniziale...)
- interfacciamento con l'esperimento tradizionale
- Possibili altre applicazioni (con modifiche): rifraz. atmosferica (geometria sferica)

Conclusioni

Presentando agli studenti l'analisi fisica, la derivazione dell'algoritmo e discutendo il cuore dell'implementazione nel linguaggio di programmazione utilizzato

- li si mette in grado di utilizzare in modo pienamente cosciente e controllato il software, ma soprattutto

- possono eseguire veri esperimenti numerici, inclusa la fase di "calibrazione", e quella di analisi dei risultati, a vari livelli di sofisticazione;

- possono fare esperienza diretta anche di alcuni argomenti tradizionalmente considerati avanzati, non comprensibili a loro in modo analitico

Una versione del software Java che implementa l' approccio qui illustrato e la documentazione relativa (anche per altri progetti) sono disponibili su:
http://www.democritos.it/edu/

Sito Web del progetto Fisica di UniTS nell' ambito del progetto nazionale "Lauree Scientifiche":
http://www.laureescientifiche.units.it/

Contatti:
peressi@ts.infn.it
pastore@ts.infn.it

Progetto Lauree Scientifiche
Università degli Studi di Trieste

Grazie per l'attenzione !

Una domanda frequente: quale linguaggio ?

Alcune considerazioni -

(i) I punti di partenza di insegnanti e studenti:

- Capacità informatiche molto eterogenee;
- In alcune classi: esistenza di un know-how di programmazione (spesso in **Pascal**)
- Tra i docenti: diverse difficoltà (tempo, fondi, formazione)

(ii) Nostra scelta su: soluzioni multi-piattaforma, Open Source, su cui esista già una massa critica di esperienze e documentazione

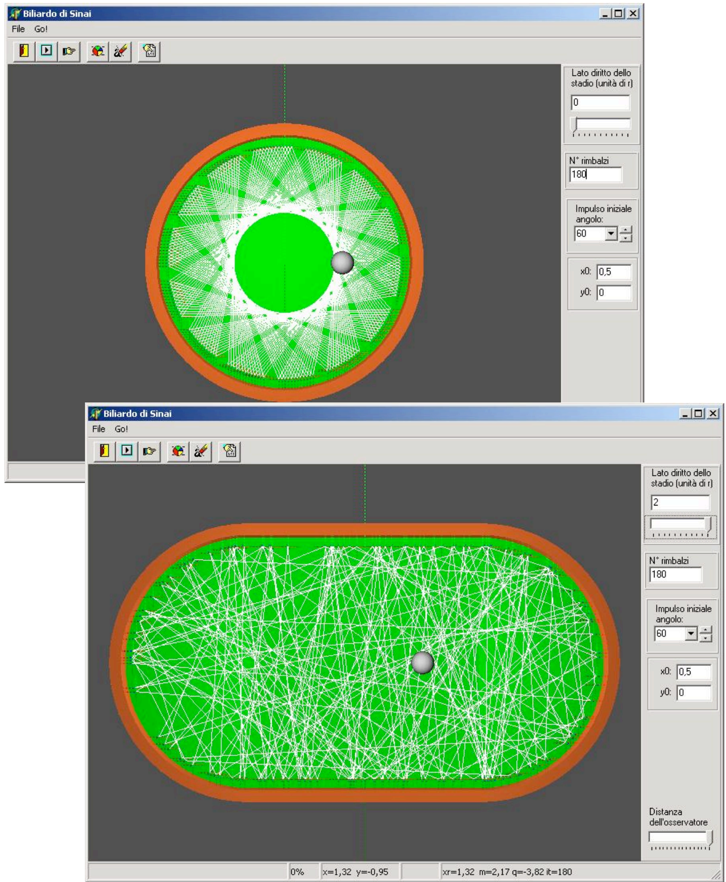
=> Progetto inizialmente in Delphi/Pascal (free educational version) - Attualmente in Java ma sono possibili (e abbiamo esplorato almeno parzialmente) molte altre soluzioni!

Con cosa ci si trova a lavorare ?

(esempio Java)

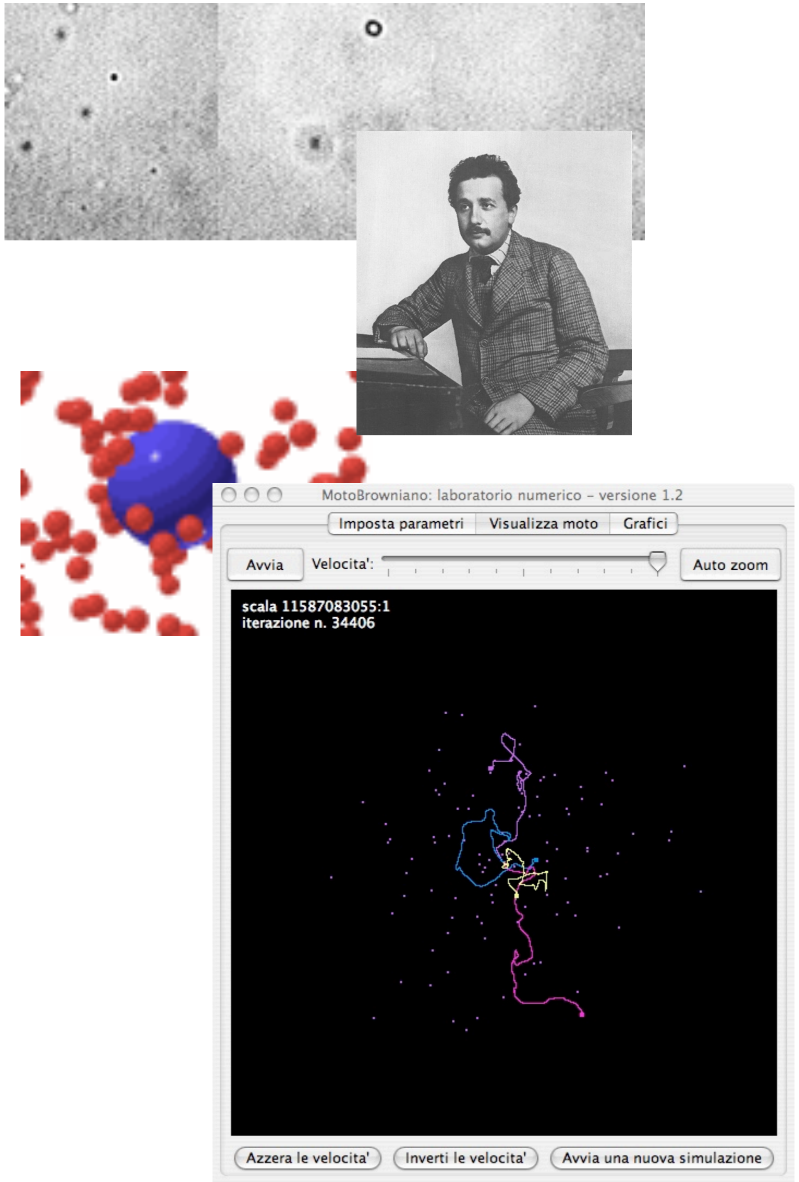
```
...
double posPrec[]=new double[NDIM];
for (int ip=0;ip<nPart;ip++) {
    for (int jc=0;jc<NDIM;jc++) {
        posPrec[jc]=pos[ip][jc];
        vel[ip][jc] =
                        vel[ip][jc] * ( 1 - gamma*dt/massa ) +
    random.nextGaussian()*Math.sqrt(gamma*kT*dt)/massa;
        pos[ip][jc] += vel[ip][jc] * dt;
     }
```

La fisica dei biliardi e il caos



Il moto di una pallina in un biliardo e' regolato da semplici leggi riguardanti la riflessione sul bordo; ma si scopre numericamente come la forma del bordo determina decisamente le traiettorie, da quelle **regolari** del biliardo circolare a quelle **caotiche** non appena un solo piccolo trattino del bordo sia rettilineo...

Il moto Browniano



Nel 1905 Einstein fornisce la spiegazione del moto browniano e vince il premio Nobel. Questo moto e' provocato dalle collisioni di molte piccole particelle su una di massa molto maggiore, di cui sola si vede il moto risultante. Con l'aiuto di numeri pseudocasuali generati dal computer si puo' simulare numericamente questo fenomeno...

Commenti

Con un approccio computazionale gli studenti **possono fare esperienza diretta anche di alcuni argomenti tradizionalmente considerati avanzati, non comprensibili a loro in modo analitico** (ad esempio: nella simulazione dei biliardi: il caos deterministico; nella simulazione del moto browniano: teorema centrale del limite, teoria del moto browniano, cammini casuali, relazione tra fluttuazioni e dissipazione: <u>fisica moderna</u>!)

(solo per insegnanti!)

Corrisponde all'equazione differenziale:

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + 1 = \frac{n^2(y)}{n_0^2 \sin^2 \varphi_0}$$

oppure a quella equivalente (differenziando rispetto a x):

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{2n_0^2 \sin^2 \varphi_0} \frac{d(n^2(y))}{dy}$$

(che, conoscendo il calcolo differenziale, potrebbero essere risolte anche analiticamente in alcuni casi particolari - dipende com'e' $n(y)$)