

LA SEZIONE AIF DI PAVIA FESTEGGIA I 50 ANNI
25 e 26 Febbraio 2026

***Il Centro Studi per la Didattica della Facoltà di MM. FF. NN .
Dell'Università di Pavia: nascita e sviluppi successivi***

Anna De Ambrosis
Dipartimento di Fisica, Università di Pavia

Anni '70, avvio delle ricerche in didattica delle fisica nelle Università italiane

La ricerca in Didattica della Fisica è stata avviata in Italia negli anni '70 in alcune sedi universitarie (Bologna, Modena, Pavia, Pisa, Roma, Palermo) da piccoli gruppi di docenti universitari che si inseriscono nel vasto dibattito in corso negli USA e in Europa sull'insegnamento delle materie scientifiche nei diversi livelli scolari.

Lo stesso avviene per la **Matematica, la Chimica e le Scienze Biologiche**

Nel giugno del **1974** Gianni Bonera chiede con una lettera alla Facoltà di Scienze MM. FF. NN. di costituire un **Centro Didattico** da inserire **nel piano di sviluppo della Facoltà.**

Nascita del Seminario Didattico della Facoltà di Scienze MM. FF. NN

Nella seduta di Facoltà del 12/11/1974 **E. Crosignani** presenta una mozione per l'istituzione del **Seminario Didattico**. Nella mozione si legge:

La Facoltà ritiene quanto mai **necessaria e indilazionabile una partecipazione attiva dell'Università nell'aggiornamento del personale insegnante e nella ricerca di nuovi programmi e di nuove metodologie di insegnamento...**Decide pertanto a partire dal corrente anno accademico la costituzione di un Centro, denominato *Seminario Didattico della Facoltà di Scienze*, la cui attività sarà regolata da apposito statuto che verrà approvato dalla Facoltà stessa. **Scopo del Seminario Didattico deve essere quello di promuovere lo sviluppo delle conoscenze, degli studi e delle ricerche nel campo delle metodologie dell'insegnamento delle Scienze, nonché l'aggiornamento degli insegnanti e la loro qualificazione professionale.**

Nella seduta del 19 novembre 1974 la Facoltà assegna a **Gianni Bonera** la responsabilità amministrativa del Seminario Didattico.

Da: M. Ferrari, *La storia del Centro Studi per la Didattica della Facoltà di Scienze, Storia, Didattica, Scienze: Pavia 1975 - 2010* a cura di F. Bevilacqua, P. Contardini, Pavia University Press, 2012,
<http://archivio.paviauniversitypress.it/bevilacqua-contardini-2012/Bevilacqua-Contardini-dic-2012-no-pwd.pdf>

Consiglio Direttivo: nomina 22 marzo 1975

Matematica (M. Ferrari),

Fisica (G. Bonera),

Scienze Naturali (P. Trivelli Ricci),

Scienze Geologiche (G. Marchetti),

Chimica (C. Castellani Bisi).

Scienze Biologiche (P. Mosconi Bernardini)

Nell'anno accademico 1979/80 il Seminario Didattico diventa
Centro di Studi per la Didattica della Facoltà di Scienze

CENTRO DI STUDI PER LA DIDATTICA DELLA FACOLTA' DI SCIENZE 1975 - 2010

Il gruppo dei fisici

Lidia Borghi

Gianni Bonera

Giuliano Bellodi

Paolo Mascheretti

Fabio Bevilacqua

Anna De Ambrosis

TANTI INSEGNANTI
LAUREANDI
e STUDENTI

Lidia Falomo

Isella Massara

Lucio Fregonese

Ugo Besson

Enrico Giannetto

Pasquale Onorato

Franco Giudice

Lea Cardinali

Il convegno di Salice Terme -1975

Per fare il punto della ricerca didattica a livello nazionale viene organizzato nel **1975** il **Convegno**

LA DIDATTICA DELLE SCIENZE NELLA SCUOLA DELL'OBBLIGO E NELLA SCUOLA MEDIA SUPERIORE: IL RUOLO DELL'UNIVERSITÀ

Comitato Scientifico:

E. Becchi – Facoltà di Magistero - Università di Ferrara

M. Cesa Bianchi – Istituto di Psicologia – Università di
Milano

G. Cortini – Istituto di Fisica – Università di Roma

G. F. Fabbri – Istituto di Chimica – Università di Modena

E. Orlandini – Ispettore Centrale M.P.I.- Direz. Istr. Classica

R. Milani – Istituto di Zoologia – Università di Pavia

G. Prodi – Istituto Matematico – Università di Pisa

R. Tomaselli – Istituto di Botanica – Università di Pavia

Comitato organizzatore:

G. Bonera - Istituto di Fisica

M. Ferrari - Istituto di Matematica

P. Mosconi Bernardini - Istituto di Zoologia

V. Riganti – Istituto di Chimica Generale

Il convegno si svolge dal 1 al 3 maggio 1975 e si articola in 7 sessioni

I Sessione: Attuale situazione della sperimentazione didattica in Italia e all'estero: il contributo dell'Università

Vari relatori per la Fisica, la Matematica, la Chimica, le Scienze Naturali

II Sessione: Specializzazione e Interdisciplinarietà

Relatore: **L. Lombardo Radice** – Istituto Matematico – Università di Roma

III Sessione: Aperture culturali dell'insegnamento scientifico

Relatore **P. Rossi Monti** – Istituto di Filosofia – Università di Firenze

IV Sessione: Insegnamento scientifico e sviluppo del pensiero: Tavola Rotonda

M. Cesa Bianchi – Istituto di Psicologia – Univ. di Milano

O. Andreani – Istituto di Psicologia – Univ. di Pavia

E. Becchi – Istituto di Psicologia della Facoltà di Magistero - Università di Ferrara

G. Gorla – Istituto Magistrale “A. Cairoli” di Pavia

G. Petter – Istituto di Psicologia – Univ. di Padova

V Sessione: Moderne tecnologie educative

Relatore **A. Visalberghi** – Istituto di Filosofia – Università di Roma

VI Sessione: Gruppi di lavoro sulla preparazione e l'aggiornamento degli insegnanti per la scuola dell'obbligo e la scuola media superiore

Coordinatori dei gruppi di lavoro

Scuola elementare:

A. Moroni – Istituto di Ecologia – Università di Parma

E. Mazza - Istituto di Pedagogia – Università di Parma

Scuola media dell'obbligo:

B. Bertotti – Istituto di Fisica – Università di Pavia

L. Borghi – Istituto di Fisica – Università di Pavia

M. L. Lucoli – Scuola media “G. Porta” – Milano

Scuola media superiore:

A. Coda – Istituto di Cristallografia – Università di Pavia

M. Cola – Istituto di Chimica Generale – Università di Pavia

C. Baldi Bertolazzi – Liceo Scientifico A. Volta di Milano

VII Sessione: Discussione generale sulle relazioni dei vari gruppi di lavoro

Presiede **G. Bonera** – Istituto di Fisica – Università di Pavia

Dalla mozione del gruppo di lavoro per la scuola media superiore

.....chiede la riforma immediata dell'istruzione secondaria superiore che vada nella direzione di **una scuola unitaria con opzioni (“onnicomprensiva”)** che superi la “gerarchia” attuale e **dia una base comune di cultura scientifica generale**, senza la quale non è possibile prefigurare una ridefinizione della figura professionale del docente. Ciò deve anche tenere conto dei processi di riunificazione delle strutture educative sul territorio avviate con l'istituzione del distretto;

.....rivendica il **diritto/dovere dell'Università di assumersi una responsabilità operativa e organica** in collegamento con gli istituendi Istituti Regionali per la Ricerca, la Sperimentazione e l'Aggiornamento e i Distretti, **per la riqualificazione degli insegnanti in una prospettiva di una educazione permanente che coinvolga tutto il mondo della scuola;**

Al Convegno **partecipano 300 persone**, universitari e docenti di scuola secondaria.

Gli atti del convegno sono pubblicati sulla **rivista «Scuola e Città»**, La Nuova Italia nel numero 5-6 (maggio-giugno) del 1976.

Le due mozioni conclusive, riguardanti l'insegnamento delle scienze nella scuola media inferiore e nella scuola media superiore, sono trasmesse:

- a tutte le Facoltà di Scienze delle Università italiane,
- al Ministero della Pubblica Istruzione,
- a tutti i Componenti delle Commissioni parlamentari per la pubblica Istruzione della Camera e del Senato
- a tutte le scuole della provincia di Pavia.
- i documenti sono stati discussi nei Consigli di Corso di Laurea della Facoltà di Scienze e nella Facoltà stessa nella riunione dell'8 luglio 1975.

Il lavoro dei Fisici

I grandi progetti a livello internazionale

I progetti **PSSC, PPC**, per la scuola superiore

negli USA,

COPES, SCISS per la scuola elementare

Nuffield, IPS

in Inghilterra

PLON

nei Paesi Bassi

Nuovi approcci che valorizzano gli **aspetti sperimentali**, oppure la dimensione **storico-culturale**

Che pongono il problema dell'acquisizione di concetti scientifici di base a **partire dalla scuola elementare** o nei primi anni della secondaria

I grandi progetti e la loro sperimentazione

La nostra attività comincia proprio con la sperimentazione

- del COPES con gruppi di maestri di scuola elementare

- del PSSC con insegnanti scuola secondaria superiore (primo corso AIF)

Questa attività ci ha consentito di mettere in atto una modalità di lavoro con gli insegnanti che è proseguita nel tempo:

- **discussione di proposte innovative, approfondimento dei contenuti specifici e degli aspetti sperimentali,**
- **interazione continua anche nella fase di sperimentazione in classe, discussione degli esiti del lavoro con gli alunni, revisione della proposta.**

I “CONTENUTI MINIMI” nel biennio – 1976

Intanto, a livello nazionale, nel **1976** viene costituita dalla SIF (presidente Carlo Castagnoli), di intesa con il CNR (presidente Alessandro Faedo) che finanzia i lavori e l’AIF, una **Commissione**

“ che ha il compito di studiare il problema delle conoscenze e abilità fondamentali e minimali che il biennio della Scuola Secondaria Superiore dovrebbe fornire al cittadino nel settore delle Scienze Fisiche”.

E’ la Commissione

“CONTENUTI E ABILITA’ FONDAMENTALI NEL SETTORE DELLE SCIENZE FISICHE”

Quanto auspicato dalla mozione del convegno di Salice per il biennio della scuola superiore ha bisogno di proposte concrete e la Commissione va in questa direzione.

Ai lavori della commissione dei fisici e alle riunioni di coordinamento partecipano ricercatori di diverse Università italiane, rappresentanti dell'AIF e dell'UMI

Cortini, Coordinatore, Guidoni, Vicentini, La Rosa, Mayer, Renzetti (**Roma**),

Tomasini (**Bologna**),

Puppo, Pilo (**Genova**),

Orlandini (**Milano**),

Loria, Michelini (**Modena**),

Pancini, Segré, Gagliardi (**Napoli**),

Palma Vittorelli (**Palermo**),

Bonera, De Ambrosis (**Pavia**),

Fabri (**Pisa**),

Rappresentanti dell'AIF: *Della Valle* (Lugo di Romagna) e *Francesio* (Mantova).

Rappresentante dell'UMI: *G. Prodi* (Pisa).

Nel documento, preparato dalla Commissione nel dicembre 1976 si legge:

III) CONSIDERAZIONI GENERALI:

.....poiché necessariamente il biennio rappresenterà lo stadio terminale della scuola per un gran numero di giovani, **il nostro obiettivo primario deve essere quello di dare a tutti i futuri cittadini, a questo livello di studi, gli strumenti indispensabili affinché non si trovino disarmati di fronte alle relazioni sempre più complesse che legano la vita odierna con la conoscenza scientifica e le sue implicazioni.** Si auspica quindi un biennio visto come completamento della scuola dell'obbligo....

..... la Commissione si è posta il problema di determinare quale contributo possono dare le discipline scientifiche alla formazione del cittadino, **affinché egli abbia la capacità di comprendere i problemi della nostra società e possa intervenire in maniera critica.....**

La metodologia caratteristica delle discipline scientifiche può contribuire in maniera fondamentale all'acquisizione di questo tipo di atteggiamento critico. Il suo aspetto più significativo ai fini didattici può **individuarsi in un uso ragionato dell'esperimento, inteso come metodo di scoperta (e non di verifica).** In questa attività è possibile distinguere, per semplicità, due situazioni estreme che indicheremo con i termini "esperimento grezzo" e "esperimento sterilizzato".

.....

V) ABILITA' E CONTENUTI MINIMI

.....

C) Conoscenze

.....

dopo lunghe e vivaci discussioni, la Commissione è arrivata a formulare un elenco – da sottoporre a verifica sperimentale, come si dirà nel paragrafo VI – di cinque aree di conoscenza specificamente fisica ritenute fondamentali. Esse sono:

- 1) **Struttura della materia: atomi e molecole**
- 2) **Energia**
- 3) **Circuiti elettrici**
- 4) **Trasmissione dei segnali attraverso onde**
- 5) **Terra e Universo**

VII) CONDIZIONI STRUTTURALI PER LA REALIZZAZIONE

.....Si ritiene che alle discipline scientifiche, comprendendo in esse la matematica, la fisica, la chimica, le scienze naturali, la geografia fisica e l'educazione tecnologica, **debba essere riservato un numero di ore settimanali non inferiore a 15, con non meno di 3 ore per la fisica.**

Inoltre.....dovrebbe essere possibile ampliare, almeno di 1 mese la durata dell'anno scolastico. Con 8 mesi effettivi di lavoro e 3 ore per settimana dedicate alla fisica, **nel biennio si potrebbero svolgere così circa 200 ore di insegnamento, probabilmente sufficienti agli obiettivi esposti.**

VIII) PREPARAZIONE DEGLI INSEGNANTI: RUOLO DELL'UNIVERSITA'

.....

È necessario elaborare un progetto parallelo, a cui dovranno partecipare esperti di tutte le discipline, che cerchi, da un lato di innescare **un processo di aggiornamento continuo e su larga scala**, sicché gli insegnanti siano coinvolti in maniera diversa da quanto avvenuto finora, dall'altro di sensibilizzare l'Università ad affrontare operativamente e **con sforzo proporzionato di persone e mezzi**, il problema della formazione dei futuri insegnanti.

.....

I lavori della Commissione vengono presentati in una **sessione congiunta del Congresso AIF e del Congresso SIF a Trento del 1976** da **Beatrice Palma Vittorelli**.

In un'altra sessione congiunta SIF-AIF

G. Cortini presenta una relazione su **“l'iniziativa Relatività”** e su **“CNR e ricerche didattiche”**,

G. Prodi una relazione su **“Nuove prospettive nell'insegnamento della matematica”**.

Dalla metà degli anni '70 nel Congresso annuale della SIF è presente una sezione dedicata alla Didattica e alla Storia della Fisica

L'obbligo scolastico verrà portato a 16 anni nel 2006, con il ministro Giuseppe Fioroni

Lavoro nella scuola elementare

La sperimentazione dei progetti COPES e PSSC e la riflessione sui risultati ottenuti dal lavoro svolto in classe con gli studenti hanno consentito di verificare direttamente quanto la ricerca internazionale andava progressivamente mostrando in modo sempre più chiaro e cioè

la necessità di conoscere meglio il processo attraverso il quale lo studente acquisisce nuove conoscenze e come queste si possano inserire nell'insieme di idee e concetti che già possiede.

“... If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: the most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly....” **Ausubel David P.,1968 *Educational Psychology: a Cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.**

Lavoro nella scuola elementare

Esempio di ricerche di questo tipo sono quelle da noi condotte **in collaborazione con il Dipartimento di Psicologia sulle concezioni di alunni di scuola elementare sul galleggiamento e sulle proprietà dell'aria:**

Borghi L., De Ambrosis A., Andreani O., Grossi M.G., Massara C.I. (1984)

"Understanding floating: A study on children aged between 6 and 8" *European Journal of Science Education*, 6 (3), 235- 243.

Borghi L., De Ambrosis A., Massara C.I., Grossi M.G., Zoppi D. (1988) "Knowledge of air: a study of children aged between 6 and 8 years" *International Journal of Science Education*, 10, 179-188.

Intanto, a livello nazionale...

Nel 1981 si costituisce il **Gruppo Nazionale di Didattica della Fisica del CNR (GNDF)**, di cui **Gianni Bonera** è il Presidente e la ricerca in didattica della fisica in Italia si coordina e realizza programmi di ricerca Nazionali, finanziati dal Ministero della Pubblica Istruzione e dal CNR.

Nel 1985, con Ministro della Pubblica Istruzione *Franca Falcucci* viene firmato il decreto sui **Nuovi Programmi della Scuola Elementare**, che entreranno in vigore nel **1987-88**.

Momento di grande collaborazione tra discipline diverse nell'ambito del Centro Studi alla ricerca di nuovi approcci e nuove proposte di insegnamento

Bonera G., Bisi C., Borghi L., De Ambrosis A., Massara C.I. (1981) "Teaching Science in Elementary Schools: a research program by the University of Pavia, Italy" *European Journal of Science Education*, 3, 479-480.

Bazzini L., Borghi L., De Ambrosis A., Ferrari M., Massara C.I., Mosconi P., Trivelli P., Vittadini M. (1985) "A project on the teaching of mathematics and science in the first two grades of primary school"- *European Journal of Science Education*, 7 (1), 29- 36.

I nuovi programmi per la Scuola Elementare

Tra il 1985 e il 1987 vengono realizzati a Pavia e in Provincia dai ricercatori afferenti al Centro Studi per la Didattica diversi **corsi di formazione per i Maestri sulle Scienze**, introdotte come disciplina autonoma nei nuovi programmi, e la **Matematica**, mettendo a frutto e alla prova l'attività di ricerca svolta in precedenza e stimolando nuove iniziative di indagine.

Viene prodotto materiale specifico rivolto agli insegnanti di scuola elementare, all'interno di progetti nazionali, in particolare:

Una proposta di attività in classe sui circuiti elettrici

Nell'ambito del progetto "**Tecnologie Informatiche e Didattica**" (TID) finanziato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).

G. Bianchi, G. Bonera, L. Borghi, A. De Ambrosis, P. Mascheretti, C.I. Massara. *"Circuiti Elettrici" - EMME Edizioni, Torino (1987).*

Una proposta più ampia da sviluppare nei 5 anni di scuola elementare G. Bonera, L. Borghi, C. Castellani Bisi, A. De Ambrosis, C.I. Massara. - *"Progetto di Educazione Scientifica" - SEI, Torino (1988).*

Il laboratorio e l'uso delle tecnologie

All'inizio degli **anni '80** il nostro lavoro si rivolge alla realizzazione e sperimentazione di sequenze didattiche su vari argomenti di fisica nelle quali

l'uso di simulazioni al computer è strettamente correlato alle attività sperimentali

Nel 1985 partecipiamo al Progetto Strategico "Tecnologie Informatiche e Didattica" (TID) finanziato dal CNR. Il progetto mirava a esplorare il potenziale delle tecnologie dell'informazione non solo come materia di studio (insegnamento dell'informatica), ma come strumento per migliorare l'efficacia didattica generale.

Nel 1985 Franca Falcucci avvia il Piano Nazionale Informatica (PNI)

- Borghi L., De Ambrosis A., Gazzaniga G., Ironi L., Mascheretti P., Massara C.I. (1984) "Computers in Physics Education: an example dealing with collision phenomena" *American Journal of Physics*, 52, 619
- Borghi L., De Ambrosis A., Gazzaniga G., Ironi L., Mascheretti P., Massara C.I. (1985) "Elastic waves in a medium: an interactive graphics package" - *Computers and Education* 9 (1), 1.
- Borghi L., De Ambrosis A., Mascheretti P., Massara C.I. (1987) "Computer Simulation and laboratory work in the teaching of mechanics" - *Physics Education*, 22, 177
- Borghi L., De Ambrosis A., Gazzaniga G., Ironi L., Mascheretti P., Massara C.I. (1989) "Integrating computer simulations and the Physics Laboratory: a unit dealing with wave propagation" *Computers and Education*, 2, 179.

Microcomputer-Based Laboratory (MBL)

Un altro filone di ricerca del gruppo di Didattica in quegli anni riguarda l'uso dei dispositivi MBL (Microcomputer-Based Laboratory) ideati da:

Ronald Thornton della Tuft University di Boston e

Robert Tinker del TERC (Technical Education Research Center) a Cambridge MA

R. Thornton è professore a contratto a Pavia nel **1988** e i dispositivi MBL sono sperimentati nel Corso di **Preparazione di Esperienze Didattiche tenuto da Lidia Borghi**. Si stabilisce così una stretta collaborazione che porta alla organizzazione a Pavia di un convegno molto importante:

NATO Advanced Study Workshop “*Student Development of Physics Concepts: The Role of Educational Technology*” - 1989

1989

**NATO ADVANCED STUDY WORKSHOP
STUDENT DEVELOPMENT OF PHYSICS CONCEPTS:
THE ROLE OF EDUCATIONAL TECHNOLOGY**



Disegno di
Paolo Mascheretti

**Organizzato a Pavia
da L. Borghi e R. Thornton**

4 – 7 OCTOBER
PAVIA - ITALY

NATO Advanced Study Workshop STUDENT DEVELOPMENT OF PHYSICS CONCEPTS: THE ROLE OF EDUCATIONAL TECHNOLOGY - PAVIA 1989

**E' stato il punto di partenza per la
diffusione di questo tipo di
approcci e di strumenti.**

Partecipanti al workshop

Boris Berenfeld, *Institute for New Technology*, Moscow, USSR

Lidia Borghi, *Dipartimento di Fisica*, Università di Pavia, Italy

Joseph Depireux, *University of Liege*, Belgium

Rosalind Driver, *Center for Studies in Science and Mathematics
Education*, University of Leeds, U.K.

Dewey Dykstra, *Carnegie-Mellon University and Department of Physics*
Boise State University, USA.

Ton Ellermeijer, *Department of Physics Education*, University of Amsterdam,
The Netherlands.

Fred Goldberg, Natural Sciences Department, San Diego State university, USA.



Partecipanti al workshop

Antony Gordon, *Education Inspector for Design and Technology*, Stafford, U.K.

Paolo Guidoni, *Seminario Didattico, Università di Napoli*, Italia

Dieter Heuer, *Physics Institute, University of Wurzburg*, Federal Republic of Germany.

Edwin Taylor, *Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology*, USA.

Ronald Thornton, *Center for Science and Mathematics Teaching*, Tufts University, Boston, USA.

André Tiberghien, *CNRS, Institute de recherche en pédagogie de l'économie et en audiovisuel pour la communication dans les sciences (IRPEACS)*, Rhone, France.

Robert Tinker, *Technical Education Research Center (TERC)*, Cambridge, MA, USA.

Guido Vegni, *Dipartimento di Fisica, Università di Milano*, Italy.

Martial Vivet *Laboratoire Informatique, Université du Maine*, France.

Jack Wilson, *American Association of Physics Teachers, and Physics Department, University of Maryland*, USA.

V. E. Yurkouski, *Institute for New Technology*, Moscow, USSR.

Dean Zollman, *Department of Physics, Kansas State University*, USA.

Un punto di svolta: i laboratori con sensori real-time

I sensori (inizialmente di moto, poi di temperatura e molti altri tipi) sono collegati al computer mediante una interfaccia di acquisizione:

lo studente può vedere i grafici dell'evoluzione nel tempo della grandezza considerata formarsi in tempo reale sullo schermo del computer.



Sensore a ultrasuoni



Rotaia

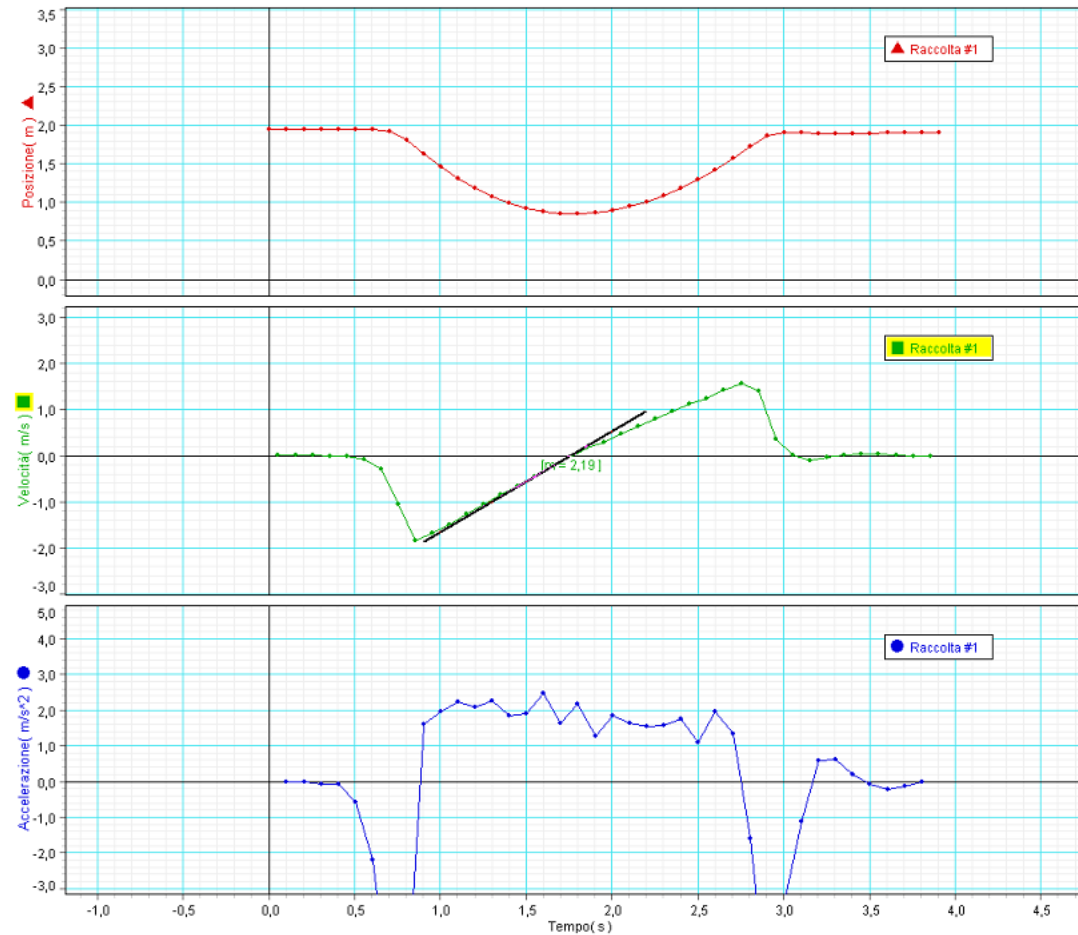


Interfaccia USB



Carrellini

Salita e discesa lungo un piano inclinato



Domande tipiche degli studenti:

- perché nei grafici v/t la pendenza è sempre positiva? Durante la salita il carrello rallenta, quindi l'accelerazione dovrebbe essere negativa!
- perché cambia la pendenza? Perché nella discesa l'accelerazione è minore?

L'efficacia di questo tipo di strategia sta nel fatto che lo studente è in grado di stabilire un **collegamento diretto tra il fenomeno reale e la rappresentazione grafica**, anziché, come spesso avviene, considerare quest'ultima come un'elaborazione di livello superiore, esclusivamente collegata al modello matematico.

Negli anni successivi, prima Thornton e poi molti altri ricercatori, hanno studiato con metodi quantitativi l'efficacia dei laboratori MBL con sensori real-time, giungendo alla conclusione unanime che questo tipo di attività risulta **molto più efficace rispetto al laboratorio tradizionale, sia nel migliorare la comprensione concettuale della cinematica, sia per quanto riguarda aspetti specifici relativi alla comprensione dei grafici.**

R. Thornton: “...there was evidence from a number of countries (Italy, Germany, UK, USA, USSR) that real-time Microcomputer-Based Laboratory tools in appropriate learning environments resulted in successful student learning of physics concepts. It was also agreed that to best develop their understanding, students need the freedom and ability to pursue interesting scientific investigations; the opportunity to interact with their fellow students; and the means to communicate their findings. (Unfortunately, most introductory courses have none of these features.)...”

Thornton R. (2008) “Effective Learning Environments for Computer Supported Instruction in the Physics Classroom and Laboratory” in *Making the results of research in Physics Education available to teacher educators*, M. Vicentini and E. Sassi eds, ICPE Book.

Didattica della Fisica e Storia della Fisica

Un aspetto importante della ricerca svolta a Pavia è il collegamento tra Didattica e Storia della Fisica che, [realizzato da Gianni Bonera](#) con i suoi lavori su Galileo e Volta, è sempre stato considerato importante da tutto il gruppo.

L'articolo:

[Computer simulation and historical experiments, F. Bevilacqua, G. Bonera, L. Borghi, A. De Ambrosis and C.I. Massara, *Eur. J. Phys.* 11, 1990](#)

descrive uno degli approcci utilizzati, basato sulla **simulazione di esperimenti storici collegata alla realizzazione di esperimenti reali**. Si riferisce agli esperimenti di Galilei sul piano inclinato e alla macchina di Atwood.

L'approccio è stato sperimentato inizialmente con studenti universitari del primo anno di Fisica, poi nel corso di Preparazione di Esperienze Didattiche e con numerosi insegnanti.

Le simulazioni integrate al laboratorio - Esperimenti storici

Il piano inclinato con i campanelli

L'esperimento consente di **differenziare chiaramente i concetti di posizione, velocità e accelerazione**, che spesso, non vengono considerati distinti dagli studenti (McDermott 1984, Hewson 1985).



Senza l'utilizzo di orologi, l'esperimento mostra che gli spostamenti lungo il piano inclinato sono proporzionali al quadrato degli intervalli di tempo corrispondenti e consente di valutare velocità e accelerazione.

Le simulazioni aiutano gli studenti a comprendere lo schema di ragionamento che sta dietro la progettazione dell'esperimento originale. Gli studenti discutono le loro idee, rivedono le simulazioni, ripetono le prove e consultano la guida storica.

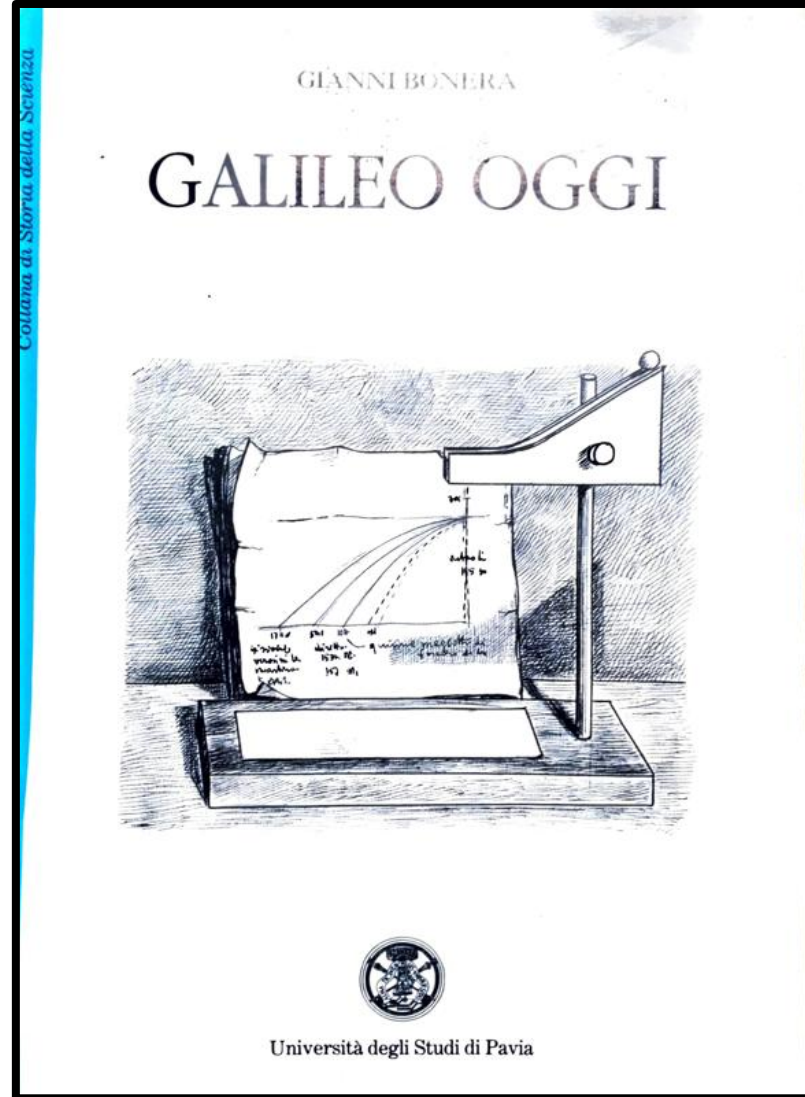
Il piano inclinato con i campanelli è stato reso disponibile nella mostra *Dalla Terra al Cielo: Il laboratorio di Galileo*

Pavia, marzo-maggio 2009

Esperimenti sulla Caduta libera

G. Bonera
GALILEO OGGI
*Spunti didattici e letture tratte
dai lavori di Galileo,*
La Goliardica Pavese, 1995

*Realizzazione della
copertina Paolo Mascheretti*



**Ricostruzione
didattica a partire
dall'analisi storica**

Esperimenti sulla Caduta libera

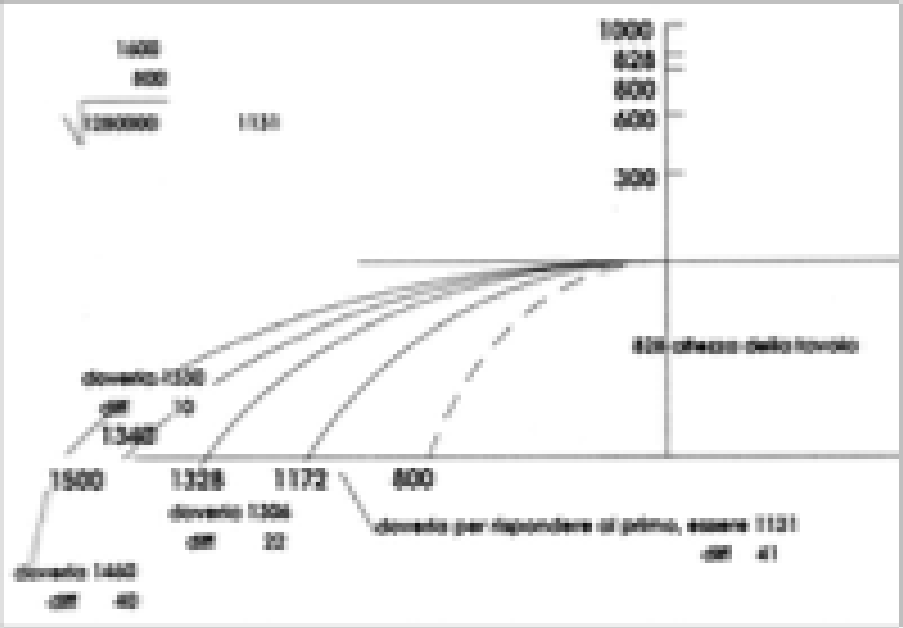


Figure 7. Transcript of part of foglio c116v, volume 72 of Galileo's manuscripts in Biblioteca Centrale di Firenze (courtesy of G Bonera).

$$v = \sqrt{2g BH} \quad t = \sqrt{2HA/g}$$

$$AD = \sqrt{4(BH \times HA)} = 2HC$$

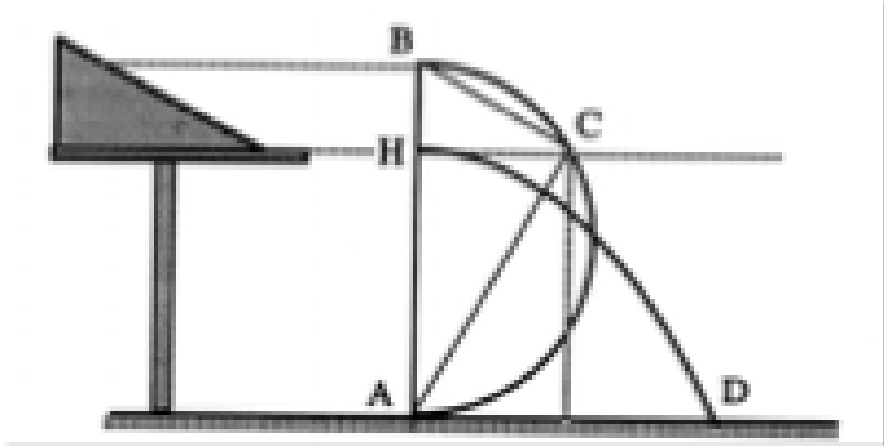


Figure 8. Galileo's representation of falling motion (courtesy of G Bonera).

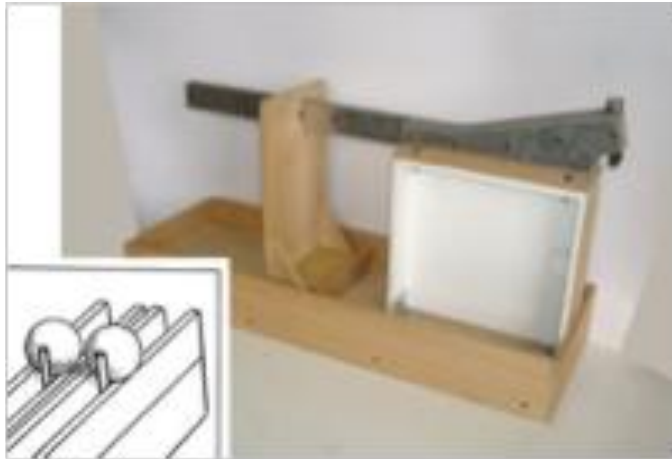
Metodo geometrico per valutare le gittate

$$HC^2 = BH \times HA \quad \text{Quando } BH = HA \text{ si ha}$$

$$AD = 2 BH = AB.$$

Esperimenti sulla Caduta libera

Per studiare la
componente
orizzontale del
moto



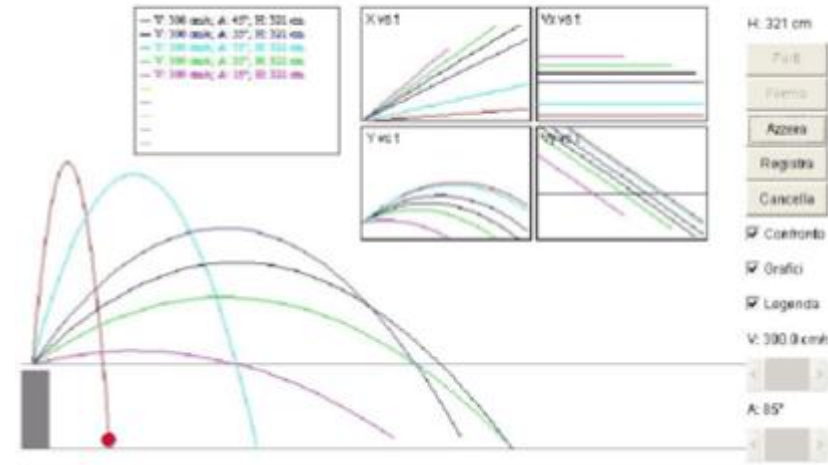
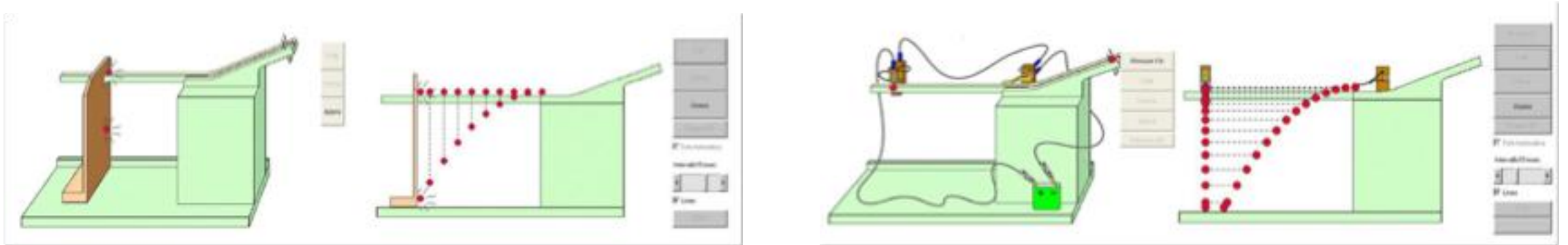
Per studiare la
componente
verticale del
moto



Per trovare la relazione
tra altezza di caduta
libera e tempo

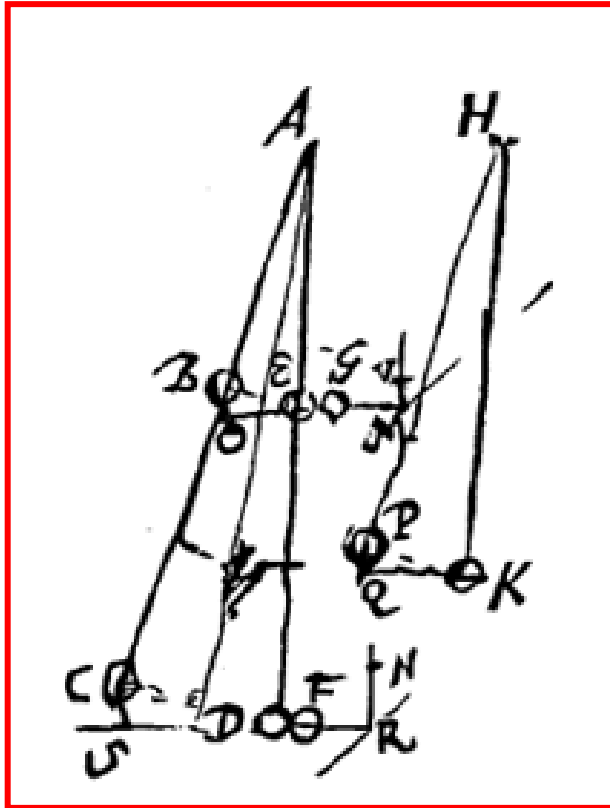
Esperimenti sulla Caduta libera

Simulazioni



L Borghi, A De Ambrosio, N Lamberti and P Mascheretti (2005) “A teaching–learning sequence on free fall motion”
Phys. Educ. **40** (3), 266.

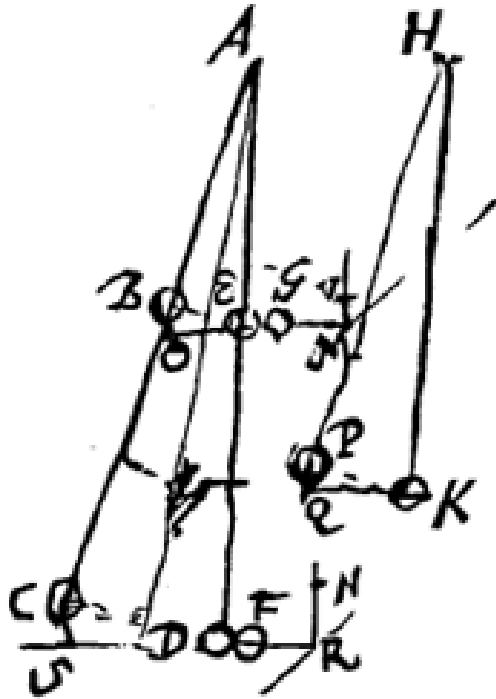
Ricostruzione dell'esperimento ideale di Huygens per determinare il centro di oscillazione del pendolo composto



Huygens C 1673 *Horologium Oscillatorium*
Part IV (*Christiaan Huygens Oeuvres*
Complètes vol XVIII) (The Hague: Societe
Hollandaise des Sciences) p 255 (Engl.
transl)

Huygens C 1661 *De Centro Oscillationis Sive ad*
Invenienda Perpendiculara Simplicia Isochrone
Propositis Perpendicularis Compositis
(*Christiaan Huygens Oeuvres Complètes*
vol XVI) (The Hague: Societe Hollandaise des
Sciences) pp 415–427

Bevilacqua F, Falomo L, Fregonese L, Giannetto E, Giudice F and Mascheretti P, (2006) The pendulum: from constrained fall to the concept of potential, *Sci. Educ.* 15 553–75



Qual è la lunghezza del pendolo semplice che ha lo stesso periodo del pendolo composto?

La dimostrazione di Huygens si basa su due principi:

(a) la legge di Galileo, secondo cui l'altezza massima raggiunta da un pendolo semplice è proporzionale al quadrato della sua velocità massima nel punto più basso dell'oscillazione.

b) il cosiddetto principio di Huygens: if any number of weights begins to move by the force of their own gravity, their center of gravity cannot rise higher than the place at which it was located at the beginning of the motion.

$$l_{\text{eff}} = \frac{m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2}{m_1 r_1 + m_2 r_2}$$

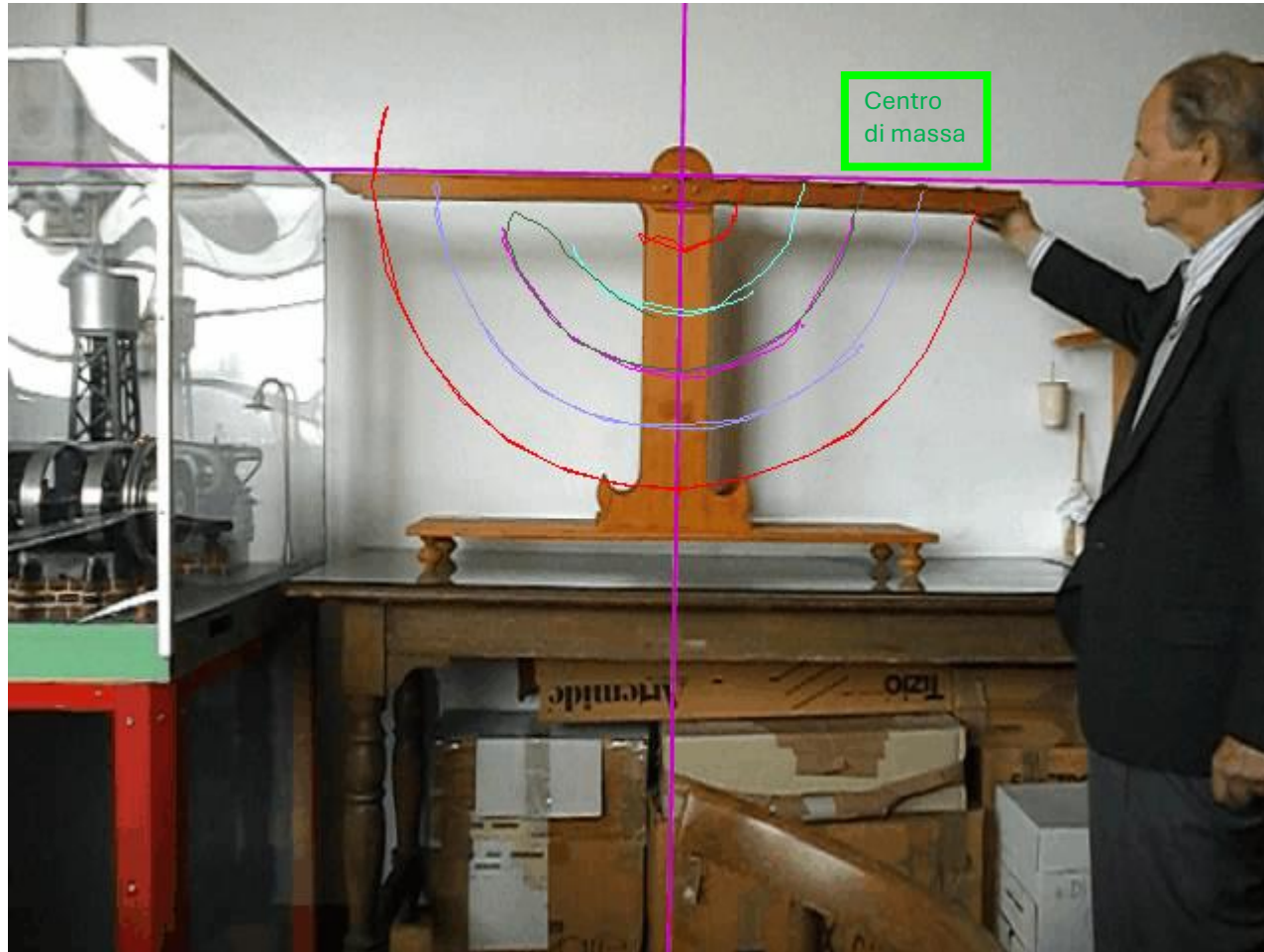
Ricostruzione dell'esperimento pensato da Huygens

La realizzazione di Paolo Mascheretti



Il moto del pendolo composto è registrato con una videocamera e analizzato con il software di video analisi Tracker

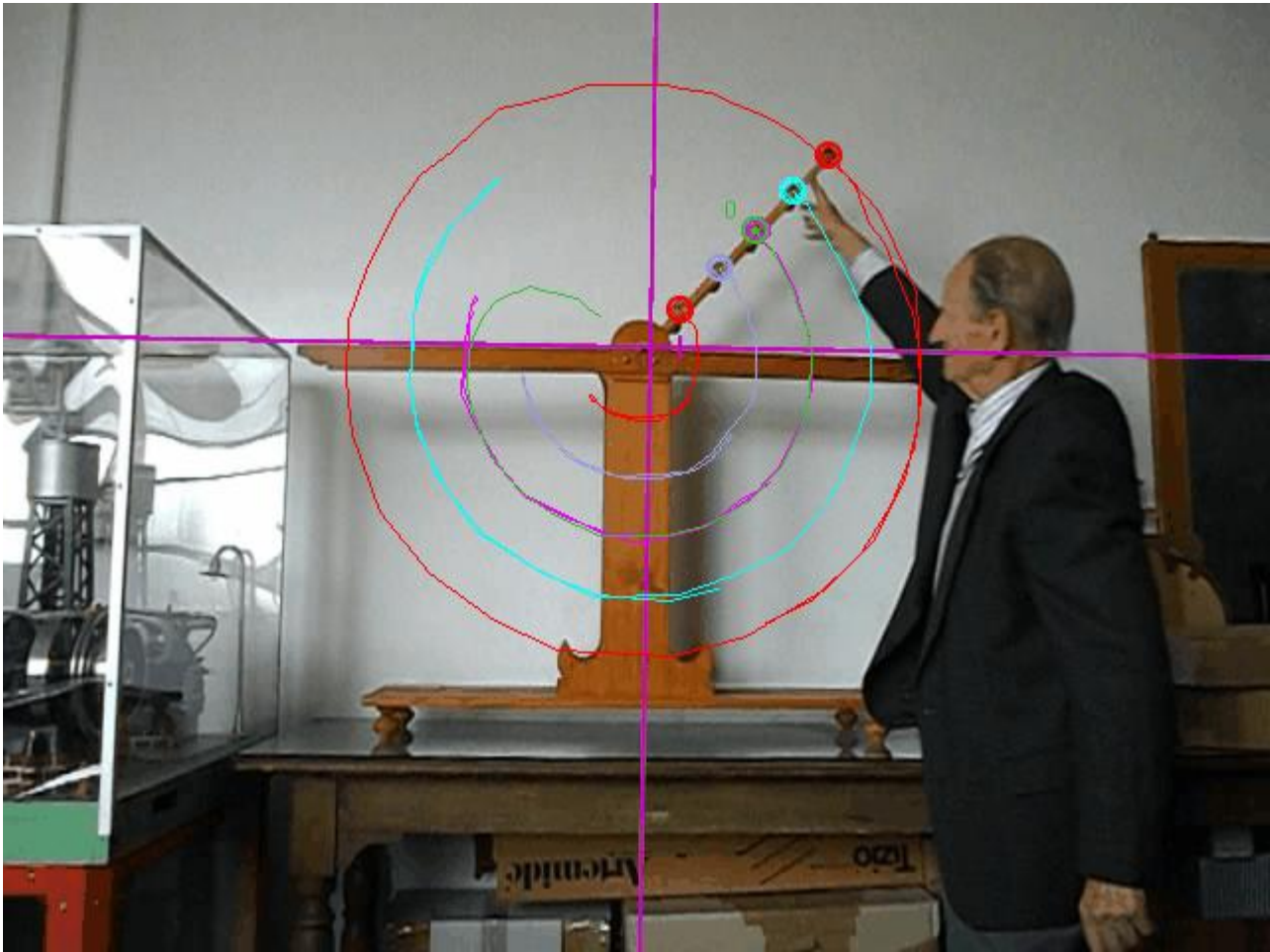
Le nuove tecnologie



Due aspetti sorprendenti:

1. I pendoli, che sono più lunghi del raggio di rotazione del pendolo composto raggiungono, nella loro oscillazione libera, un'altezza maggiore di quella iniziale.

La strana conservazione dell'energia



Traiettoria del Centro di massa



2. Il centro di massa, nella seconda parte dell'oscillazione, segue **una traiettoria non circolare e non raggiunge l'altezza iniziale.**

M. Malgieri, P. Onorato, P. Mascheretti and A. De Ambrosis "Reconstruction of Huygens' gedanken experiment and measurements based on video analysis tools", 2013, *European Journal of Physics*, 34, 1145

Analisi dell'esperimento di Huygens con futuri insegnanti

Sperimentazione condotta inizialmente con 29 studenti. Principali obiettivi:

1. Individuare i diversi approcci utilizzati dai futuri insegnanti per comprendere e modellizzare un sistema fisico complesso di importanza storica.
2. indagare il ruolo svolto da Tracker nell'aiutare a costruire un modello significativo ed esplicativo del sistema.

Alcuni commenti degli insegnanti in formazione

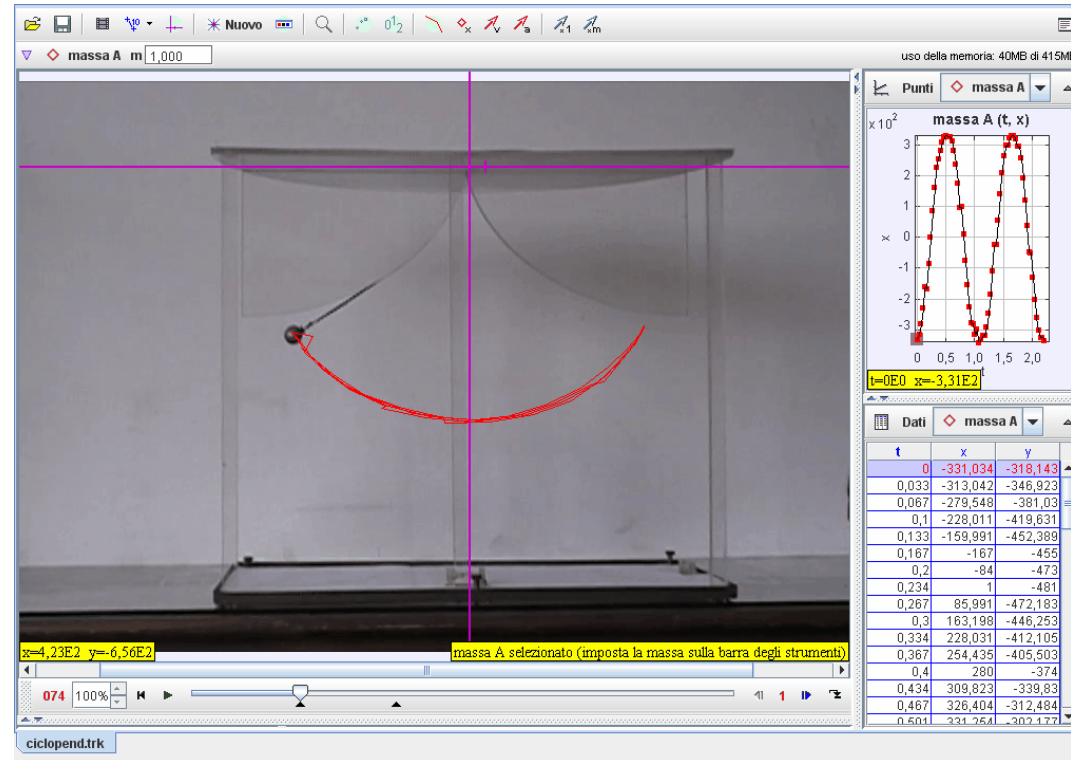
«Un esperimento come quello da noi condotto permette non solo di approfondire e ampliare la comprensione di concetti precedentemente introdotti, ma anche di osservare fenomeni che sembrano contraddire quanto studiato. Ad esempio, il pendolo più lungo che raggiunge un'altezza maggiore di quella di partenza entra in conflitto con quanto osservato nel caso del pendolo semplice. **La rottura degli equilibri che si produce attraverso l'osservazione di tali fenomeni può essere il punto di partenza per una riflessione più profonda che porti alla spiegazione dell'inatteso sperimentato.**»

«Credo che esperienze come questa possano e debbano essere proposte agli studenti delle scuole superiori; permetterebbero loro di **cogliere il significato della complessità**. Una lezione di questo tipo dovrebbe essere più libera e meno guidata dall'insegnante (...). Da un'attività di questo tipo dovrebbe emergere la bellezza del dibattito sui problemi, **e persino del progresso attraverso indecisioni ed errori inevitabili** quando ci si avvicina a un sistema complesso.»

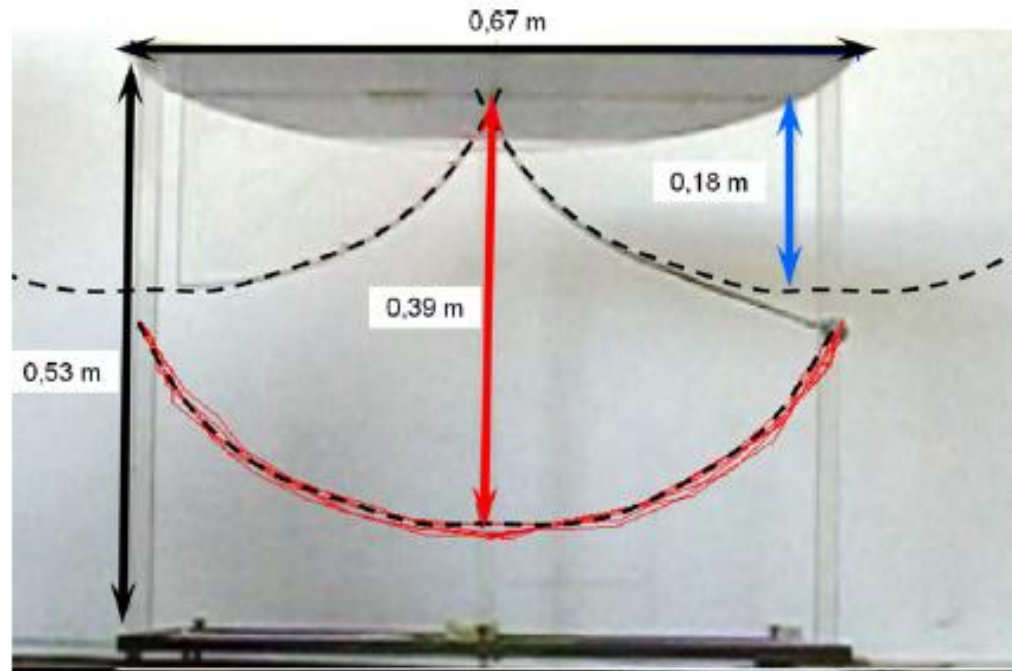
«L'utilizzo del software tracker apre un'ampia gamma di possibilità, e **innanzitutto permette di visualizzare tutte le grandezze cinematiche, consentendo una connessione diretta tra modello e realtà.**»

Massimiliano Malgieri, Pasquale Onorato, Paolo Mascheretti and Anna De Ambrosis, 2014, “Pre-service teachers’ approaches to a historical problem in mechanics”, *Physics Education*, 49 (5), 500

Il pendolo cicloidale



Il pendolo cicloidale



La traiettoria sperimentale del pendolo ottenuta utilizzando la videoanalisi con Tracker è traslata in modo da sovrapporsi alle due metà di cicloide che formano la cuspid.

Il moto lungo una cicloide

The screenshot displays a software interface for a physics experiment. The main window shows a video of a mass moving along a cycloid-shaped track. The video player includes a progress bar at the bottom, currently at 040 seconds and 100% zoom. A tooltip indicates that mass B is selected, and the mass value is set to 1,000 on the instrument bar.

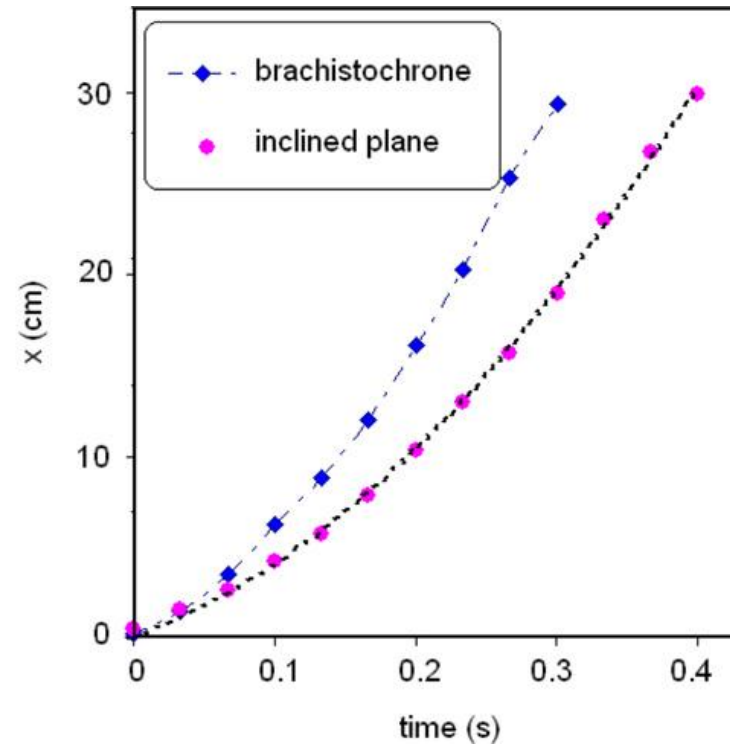
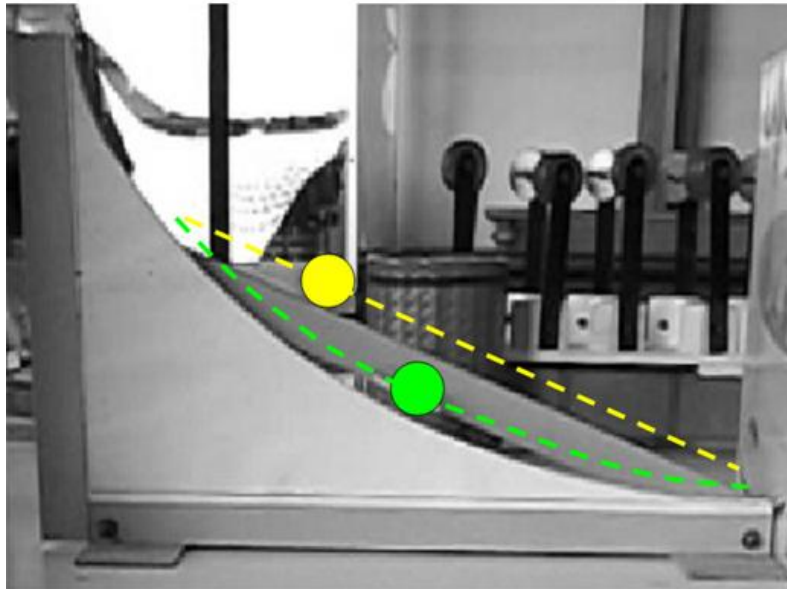
Two graphs are overlaid on the right side of the interface, showing the position x (in units of $\times 10^2$) versus time t for two different masses:

- massa B (t, x):** The graph shows a curve starting at $(0, -0.66)$ and ending at $(0.4, 1.5)$. The x-axis ranges from 0 to 0.4, and the y-axis ranges from -0.5 to 1.5.
- massa A (t, x):** The graph shows a curve starting at $(0, -0.675)$ and ending at $(0.3, 1.5)$. The x-axis ranges from 0 to 0.30, and the y-axis ranges from -0.5 to 1.5.

The video file name is "trampolini confronto.AVI".

Il moto lungo una cicloide

brachistocronismo della cicloide



Una guida cicloidale può essere utilizzata per verificare che la cicloide è la curva brachistocrona, una proprietà dimostrata da Johann Bernoulli nel 1697.

Ricerca didattica e formazione degli insegnanti molti progetti

La ricerca in didattica della fisica ha prodotto nel corso degli anni un'ampia gamma di **materiali per rinnovare l'insegnamento della fisica, all'interno di progetti nazionali e internazionali**

- **TIDIFI** (Tecnologie Informatiche per la Didattica della Fisica e per la Formazione degli Insegnanti), finanziato dal CNR negli anni 1996-99.
- **SeCiF** (Spiegare e Capire in Fisica), collaborazione di Ricerca (PRIN 99,) fra le Università di Milano, Napoli, Palermo, Pavia, Torino. Coordinatore Nazionale Paolo Guidoni
- **IMOFI** (Introduzione alla Modellizzazione in Fisica).
- **STEDE** (Science Teacher Education Development in Europe), Rete tematica finanziata dall'Unione Europea.
- **ORA** (Osservazione Riflessione Apprendimento) realizzato su finanziamento MURST – ex DM, 8/10/1996 n. 623 DD, coordinato da Maria Grazia Dondi (INFN e Università di Genova).
- **FFC** (Fisica per la Formazione Culturale - Innovazione e formazione in Fisica con uso delle nuove tecnologie in classe e a distanza), progetto finanziato dal MIUR (PRIN 2001). Coordinatore Paolo Guidoni.
- **F21** – PERCORSI DI FORMAZIONE IN FISICA PER IL 21° SECOLO - Un nuovo approccio allo sviluppo di competenze in Fisica attraverso le Scuole, la Formazione degli insegnanti e la Diffusione (PRIN 2004-2006). Coordinatore nazionale Paolo Guidoni
- **CON-SCIENCE** (Science As A Tool For Life: Conceptual Change) Progetto Europeo Comenius Action 2.1. 2005-2007
- **OUTLAB** (Heritage as an "Outdoor Laboratory" for innovative Science Teacher Education) Progetto Europeo Comenius Action 2.1. 2007-2009
- **HOPE** (Horizons in Physics Education) 2014-16
-

Ricerca e Formazione degli Insegnanti

L'attività di ricerca e la collaborazione all'interno del Centro è stata fondamentale per **progettare, realizzare e sostenere l'attività di formazione degli Insegnanti**



**Nella Scuola di Specializzazione per l'Insegnamento
Secondario (SILSIS) 1999 - 2008**

Nel Progetto Lauree Scientifiche (PLS) 2004 -

L'attività di formazione ha fornito **stimoli e dati utili per l'attività di ricerca**

**Con il Decreto Ministeriale del 3 novembre 1999 prende il via la riforma del 3+2
(Ministri Berlinguer – Zecchino)**

La Scuola di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario 1999 - 2008

In Lombardia la SSIS, avviata nel **1999**, si è costituita come Consorzio con il nome di **SILSIS** Scuola Interregionale Lombarda di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario, **con sede amministrativa presso l'Università di Pavia**. La SSIS è stata interrotta a livello nazionale nel **2008**

La Scuola di Specializzazione è stato un ambiente favorevole in cui discutere, sperimentare nei laboratori didattici, e poi nelle attività di tirocinio in classe, i materiali messi a punto nell'attività di ricerca.

E' stata fondamentale in questa esperienza la nuova figura **dell'Insegnante Supervisore** per l'organizzazione delle attività di tirocinio in classe e per la conduzione di alcuni corsi. Questa figura ha **rappresentato un legame stabile tra Università e Scuola**.

Patrizia Betti, Giacomo Bruni, Aurora Mangiarotti, Daniela Rognoni, Ornella Rossi

Per la Scuola di Specializzazione è stata essenziale la collaborazione stabilitasi precedentemente nel Centro Studi per la Didattica tra docenti di diverse discipline, e in particolare tra Matematica, Fisica, Chimica e Scienze Naturali.





Il Piano Lauree scientifiche

Il **Progetto Lauree Scientifiche** nasce nel **2004**, su proposta della Conferenza Nazionale dei Presidi delle Facoltà di Scienze e Tecnologie, in collaborazione con il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca e Confindustria.

Nell'aprile 2010 il Progetto diventa **Piano Nazionale Lauree Scientifiche** e acquista stabilità, sulla base di una valutazione positiva delle attività svolte.

Obiettivi principali del PLS:

- **l'orientamento degli studenti nella scelta dell'Università**
- **la formazione degli insegnanti.**

Il PLS è ancora attivo

N.	Anno scolastico/accademico	Nome	Tipologia	Studenti	Insegnanti	Ore Previste
1	2010/11	LO STUDIO DEL MOTO E DELLE LEGGI DELLA DINAMICA CON L'USO DI STRUMENTAZIONE RTL	laboratorio PLS	200		18
2	2010/11	PERCORSI DI ELETTROMAGNETISMO	laboratorio PLS	100		18
3	2010/11	INTRODUZIONE ALLA FISICA QUANTISTICA DELLA MATERIA: SEMICONDUTTORI E SUPERCONDUTTORI	laboratorio PLS	80		18
4	2010/11	PERCORSI BASATI SULL'UTILIZZAZIONE DELLA STORIA DELLA FISICA: ENERGIA E CONSERVAZIONE	laboratorio PLS	80		18
5	2010/11	FENOMENI D'ATTRITO	laboratorio PLS	100		16
6	2010/11	AVVICINAMENTO AI CORSI UNIVERSITARI DI FISICA DEL PRIMO ANNO: MECCANICA E TERMODINAMICA	laboratorio PLS	60		16
7	2010/11	Corso di Perfezionamento per Insegnanti - Master IDIFO 3 Modulo di Relatività	modulo/corso di perfezionamento PLS		30	120
8	2010/11	Stage presso il Dipartimento "A. Volta"	stage	10		60
9	2010/11	Stage presso il Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica	stage	10		60
10	2010/11	MOSTRA DI CARATTERE STORICO SCIENTIFICO: "Il concetto di energia in Fisica: un laboratorio storico – didattico in un contesto europeo"	Altro:	100		

Conferenze e Dibattiti, in collaborazione con PLS Chimica e Matematica



UNIVERSITÀ DI PAVIA
Progetto Lauree Scientifiche
Matematica-Fisica-Chimica



nucleare

pro

incontro dibattito

e contro

Venerdì 4 dicembre ore 15:30 Aula A102
Dipartimenti di Fisica via Bassi 6 Pavia

Intervengono:

Prof. Adalberto Piazzoli

(Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica)

Prof. Luigi Fabbrizzi

(Dipartimento di Chimica Generale)

Moderatore:

Prof. Claudio Conta

(Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica)

4/12/2009



PLS – Il Master IDIFO

Particolarmente significativa e interessante è stata la collaborazione con altre Università nell'ambito del **Master *Innovazione Didattica in Fisica e Orientamento (IDIFO)***, coordinato dall'Università di Udine, a partire dal **2006**.

Nel Master IDIFO il gruppo di Pavia ha collaborato con il gruppo di Bologna alla realizzazione di un **modulo a distanza sull'insegnamento della Relatività** che è stato seguito da circa **25 insegnanti ogni anno** con risultati molto soddisfacenti.

A IDIFO Pavia ha contribuito non solo nel modulo di Relatività, svolto in rete, ma anche nella **organizzazione e realizzazione di numerosi Laboratori in presenza su vari temi di Fisica**.

De Ambrosis A. e Levrini O. (2007) "Insegnare relatività ristretta a scuola: esigenze degli insegnanti e proposte innovative" *Giornale di Fisica*, 48, N.4, 255-276.

De Ambrosis A. e Levrini O. (2010) "How physics teachers approach innovation: An empirical study for reconstructing the appropriation path in the case of special relativity" *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 6, 020107-1-11.

Progetti Europei: lavoro sull'effetto serra

Iniziato nell'ambito del **Progetto Europeo OUTLAB 2007-2009**, continuato in un Progetto dell'Ufficio Scolastico Regionale **“Collaborazione tra ricercatori e insegnanti nello sviluppo di proposte didattiche innovative per la Matematica e la Fisica” 2009-2010**, e progressivamente modificato in base alle sperimentazioni.

Obiettivi principali:

- favorire l'acquisizione da parte degli studenti dei concetti fisici di base necessari per comprendere l'effetto serra sulla Terra.
- Collegare due ambiti, l'ottica e i fenomeni termici, strettamente connessi dal punto di vista concettuale, scientifico e tecnologico, ma spesso insegnati separatamente nelle scuole superiori.

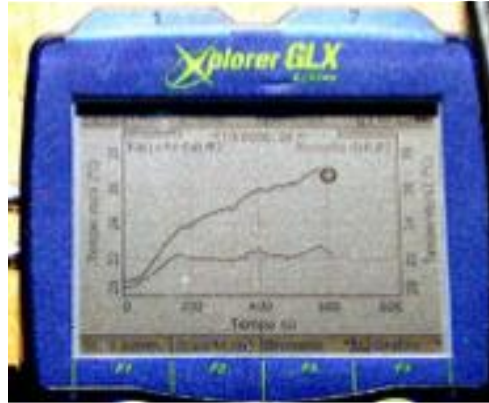
La sperimentazione preliminare con piccoli gruppi di studenti in OUTLAB ci ha portato a specificare una sequenza di passi per la **costruzione di una spiegazione coerente dell'effetto serra**:

- 1) riconoscere e spiegare una condizione stazionaria di temperatura per oggetti esposti alla radiazione solare o di una lampada;
- 2) distinguere calore e radiazione e riconoscere che gli oggetti emettono radiazione termica;
- 3) distinguere la radiazione visibile da quella infrarossa e il comportamento di un materiale per il visibile e l'infrarosso (il vetro è trasparente al visibile ma assorbe la radiazione termica IR);
- 4) mettere insieme le conoscenze acquisite per comprendere l'effetto serra radiativo in un sistema modello;
- 5) comprendere l'effetto serra sulla Terra e il riscaldamento globale.

OUTLAB – maggio 2008

All'Orto Botanico e in Laboratorio con gli studenti dell'Università di Pitesti - Romania





Variazione di temperatura di oggetti esposti al sole. Condizione stazionaria



Gli oggetti emettono radiazione infrarossa

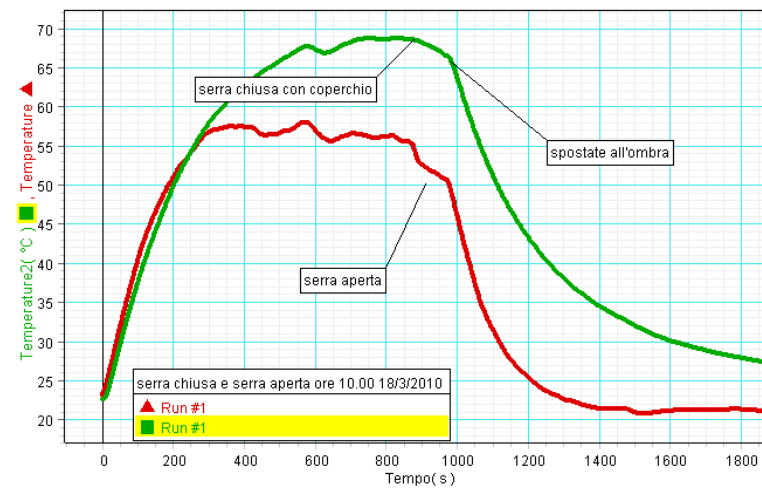
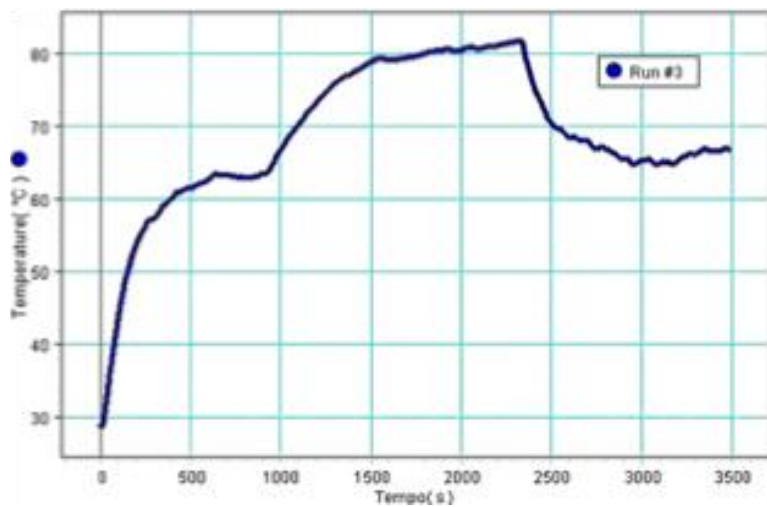


La trasparenza dipende dallo spessore



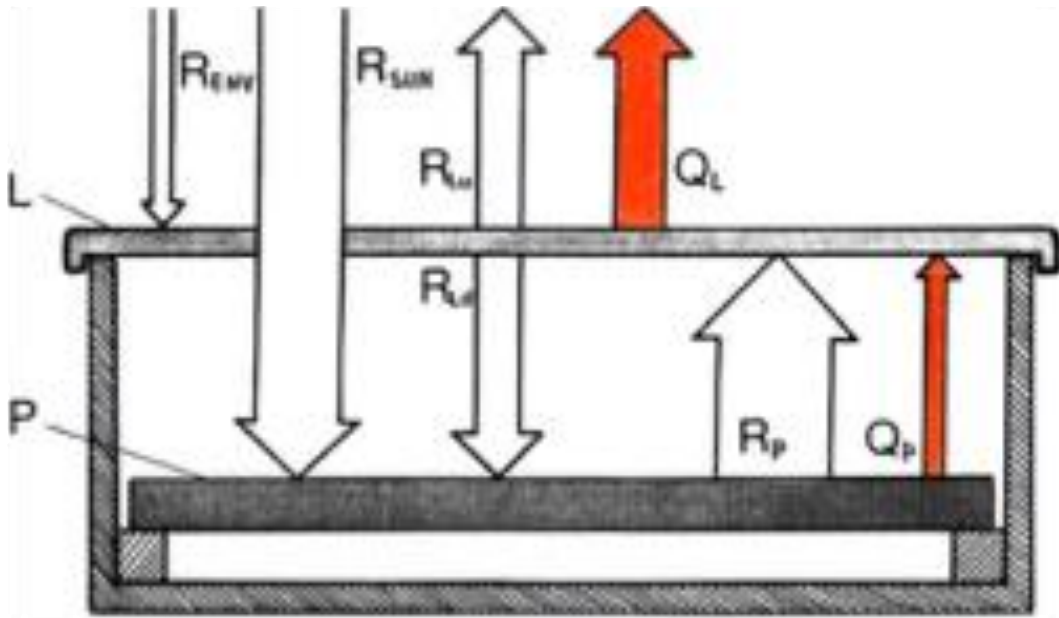
visibile/non visibile
trasparente/non trasparente

L'effetto serra in una scatola-modello

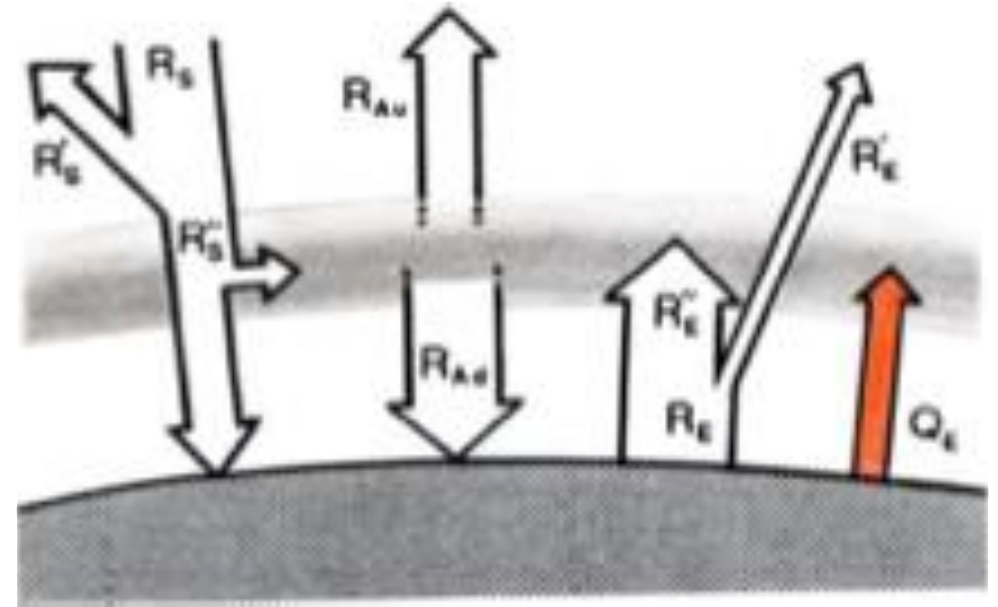


Un modello per interpretare i risultati sperimentali

Flussi di radiazione e calore per la scatola



Flussi di radiazione e di calore per il sistema Terra - Atmosfera



Energia che entra nel sistema = $mc\Delta T$ + Energia che esce dal sistema

La sequenza didattica è stata sperimentata in 6 classi di scuola secondaria di secondo grado, 4 con studenti di 17-18 anni e 2 con studenti di 15-16 anni, per un totale di 121 studenti

L'analisi delle risposte degli studenti ai questionari e ai fogli di lavoro mostra:

un uso progressivamente più corretto e appropriato dei concetti di calore, conduzione termica, radiazione, temperatura, energia interna

Il confronto tra i risultati del pre-test e del post-test evidenzia un aumento:

- nella considerazione del ruolo della radiazione nei processi termici,
- nella consapevolezza del bilancio energetico in una situazione di temperatura stazionaria,
- nella correttezza e complessità delle spiegazioni dell'effetto serra: distinzione tra radiazione solare e radiazione termica infrarossa emessa dalla superficie terrestre e dall'atmosfera

Ma l'idea di "intrappolamento" della radiazione persiste in alcuni studenti
a volte riferito alle radiazioni emesse dalla Terra, senza considerare l'assorbimento e l'emissione da parte
dell'atmosfera

La sperimentazione ha permesso:

- di mettere a fuoco i limiti del modo tradizionale di studiare i fenomeni termici e ottici come argomenti separati, raramente collegati al problema generale dell'energia
- di caratterizzare più precisamente alcune difficoltà degli studenti sui fenomeni riguardanti gli effetti termici dell'interazione tra radiazione e materia **e l'interpretazione di situazioni stazionarie in termini di bilanci energetici**
- di elaborare, da parte degli insegnanti, nuovi percorsi e materiali didattici.

2010 riforma Gelmini

La **Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali** cessa di esistere, così come il **Centro Studi per la Didattica**.

Richiesta di attivazione di un

“**Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Didattica e la Storia delle Scienze**”

Nella richiesta di attivazione si legge:

“ ...L'opportunità di questa struttura è suggerita sia dall'esigenza di **mantenere un coordinamento delle ricerche sulla didattica e la storia delle scienze sia dall'attuale fase di elaborazione di nuove modalità di formazione iniziale e continua degli insegnanti.**”

Fabio Bevilacqua (Dip. Fisica)

Gianni Bonera (Dip. Fisica)

Anna De Ambrosis (Dip. Fisica)

Lucio Fregonese (Dip. Fisica)

Lidia Falomo (Dip. Fisica)

Ugo Besson (Dip. Fisica)

Mario Ferrari (Dip. Matematica)

Angela Pesci (Dip. Matematica)

Maria Reggiani (Dip. Matematica)

Samuele Antonini (Dip. Matematica)

Paola Rossi (Dip. Fisiologia)

Carlo Violani (Dip. Biologia Animale)

Elisa Fasani (Dip. Chimica Organica)

Piercarlo Mustarelli (Dip. Chimica Fisica)

Lea Cardinali (Insegnante comandata)

Antonella Berzero (Sistema Museale)

Patrizia Contardini (Sistema Museale)

Il Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Didattica e la Storia delle Scienze

è istituito nel maggio 2010

Il suo scopo è continuare le ricerche del “Centro di studi per la didattica della Facoltà di Scienze”, rivolte alla didattica delle scienze, alla storia delle scienze, all'uso della storia delle scienze nella didattica, alla museologia scientifica e all'utilizzo delle tecnologie digitali nella didattica.

Afferiscono 11 Dipartimenti : 8 di area Scientifica, inoltre il Dipartimento di Filosofia e di Psicologia e il Dipartimento di Scienze Storiche e Geografiche, ciascuno dei quali nomina due rappresentanti in seno al Comitato Tecnico Scientifico; il Centro è presieduto da un Direttore, affiancato da un Vicedirettore.

Direttore del Centro: Fabio Bevilacqua

Per l'avvio del Centro Interdipartimentale è organizzato il Convegno:

Ricerche in Didattica e Storia delle Scienze a Pavia: 1975 – 2010

Aula Golgi di Palazzo Botta, 7 maggio 2010

In questa occasione è stato festeggiato Gianni Bonera, ideatore e Direttore del Centro Studi per la Didattica

La ricerca continua

Diventa centrale il problema dell'insegnamento della Fisica Moderna

Nuove prospettive:

- nel 2012/13 **Massimiliano Malgieri** inizia il **Dottorato di ricerca in Fisica** nel nostro Dipartimento e lavora a una tesi sull'insegnamento della Fisica Quantistica:

Teaching quantum physics at introductory level: a sum over path approach (2016)

- nel 2019/20 **Claudio Sutrini** inizia il **Dottorato di ricerca in Fisica** e lavora a una tesi sull'insegnamento della quantum information:

Processes and diagrams: an integrated and multidisciplinary approach for the education of quantum information science (2023)

- Massimiliano Malgieri, Pasquale Onorato, and Anna De Ambrosis (2016), A sum-over-paths approach to one-dimensional time-independent quantum systems, *American Journal of Physics* 84, 678
- Massimiliano Malgieri, Pasquale Onorato, and Anna De Ambrosis (2017), Test on the effectiveness of the sum over paths approach in favoring the construction of an integrated knowledge of quantum physics in high school *PHYS. REV. PHYS. EDUC. RES.* 113, 010101

La ricerca continua...