
plasduino

Open source data acquisition framework

Utilizzare Arduino per l'acquisizione dati in semplici esperienze didattiche di laboratorio

Carmelo Sgrò² (carmelo.sgro@pi.infn.it)

Massimiliano Razzano^{1,2} (massimiliano.razzano@pi.infn.it)

Luca Baldini^{1,2} (luca.baldini@pi.infn.it)

¹ Dipartimento di Fisica E. Fermi, Università di Pisa

² INFN-Sezione di Pisa

Incontri di Fisica 2014

LNF - 9 Ottobre 2014

Plasduino è un progetto per un ambiente *hardware* e *software* di acquisizione dati concepito per esperienze didattiche:

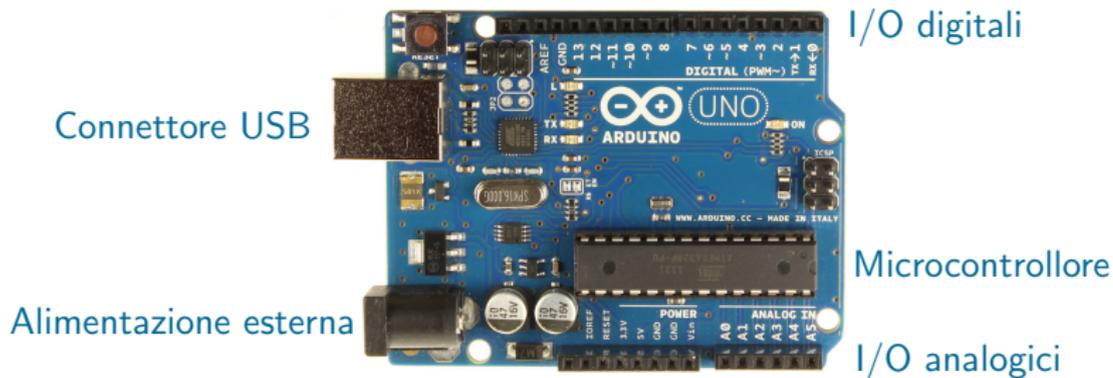
- ▶ Registrare quantità fisiche come tempi, temperature etc...
 - ▶ Con risoluzioni adeguate per i laboratori didattici
- ▶ Semplificare e automatizzare (quando possibile) la presa dati
- ▶ Lasciare la successiva analisi dati agli studenti

Mira ad essere:

- ▶ Semplice ed estendibile:
 - ▶ Semplice da installare e utilizzare;
 - ▶ Adattabile con poco sforzo a varie esperienze di laboratorio.
- ▶ Economico (~ 50 €):
 - ▶ Replicabile senza investimenti proibitivi sulla scala di un laboratorio didattico.
- ▶ Completamente libero (*Free and Open Source*):
 - ▶ Utilizza solo componenti (*hardware* e *software*) "open";
 - ▶ Il codice sorgente è liberamente accessibile sotto licenza GPL;
 - ▶ Gli schemi elettronici e la documentazione sono disponibili sulla pagina web del progetto.

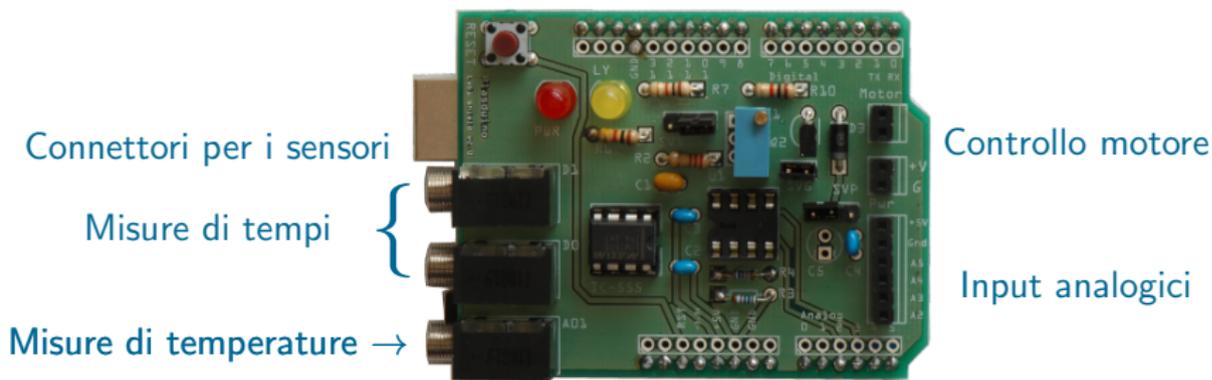
ARDUINO: IL CUORE DEL SISTEMA

[HTTP://WWW.ARDUINO.CC/](http://www.arduino.cc/)



- ▶ **Arduino: una piattaforma *open* di prototipizzazione elettronica:**
 - ▶ Flessibile, facile da utilizzare, realizzata in Italia;
 - ▶ Programmabile ad alto livello (C/C++), ampia libreria di funzioni;
 - ▶ Utilizzato e supportato da una comunità numerosa ed attiva.
- ▶ **Una tipica scheda di Arduino (per 23 €) offre:**
 - ▶ Un microcontrollore;
 - ▶ 14+ ingressi/uscite digitali (con supporto per PWM e *interrupt*);
 - ▶ 6+ ingressi analogici con ADC a 10/12 bit;
 - ▶ Un'interfaccia seriale via USB.

GLI “SHIELD”

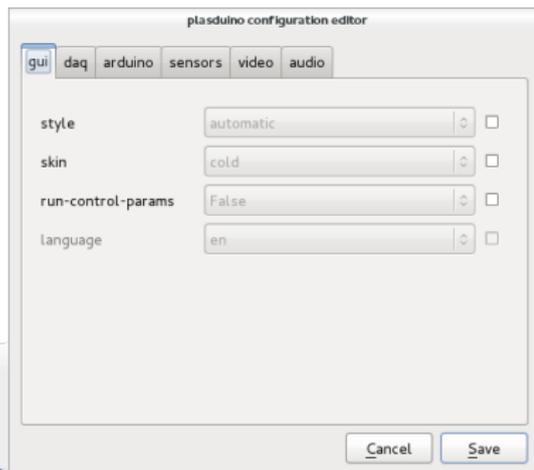
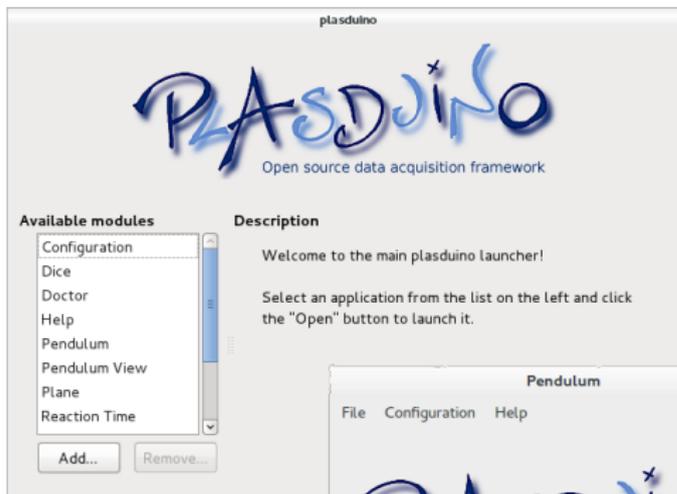


- ▶ Uno *shield* è un circuito stampato da connettere *sopra* la scheda di Arduino
 - ▶ Agisce da interfaccia con il mondo esterno: connettori per i sensori, condizionamento dei segnali, led, calibrazione interna
 - ▶ Nel nostro caso, abbiamo un unico shield per 6 esperienze di meccanica e termodinamica (replicabile a ~ 25 €)
- ▶ Disegnati ed assemblati “in casa”:
 - ▶ Descrizione, schemi elettronici, maschere e lista dei componenti disponibili sulla pagina web del progetto.

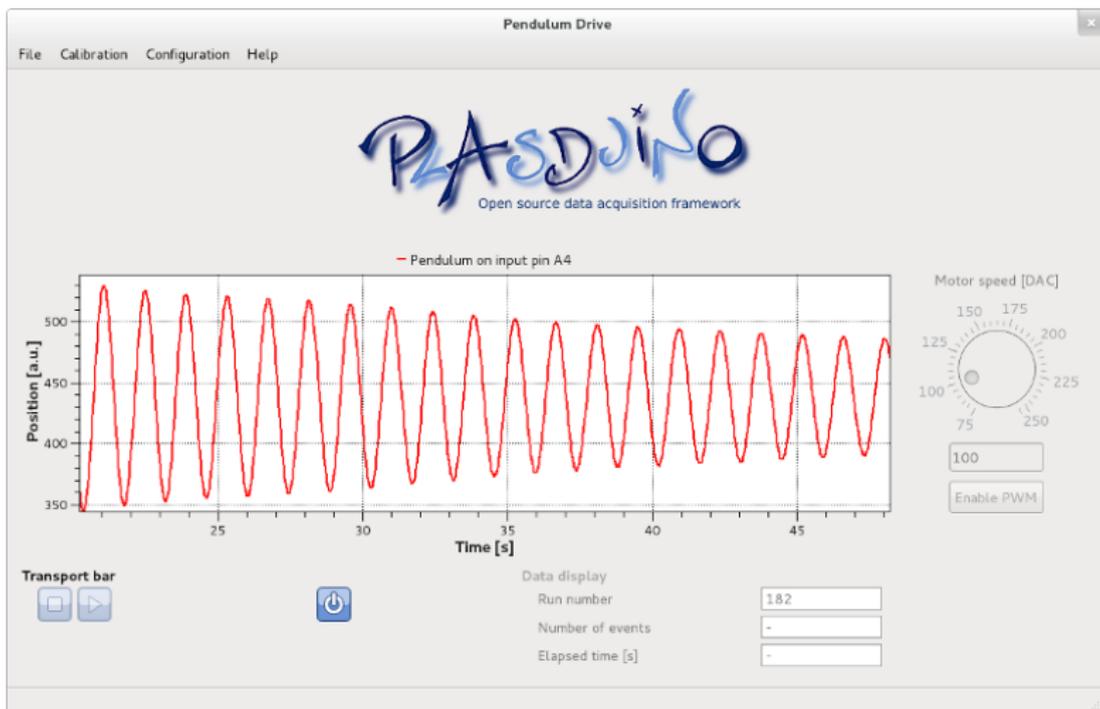
- ▶ plasduino offre un ambiente completo di acquisizione dati da eseguire su un PC connesso ad Arduino
 - ▶ Implementato nel linguaggio di programmazione Python¹
 - ▶ Multiplatforma (GNU/Linux, Windows, Mac OS)
- ▶ Un'applicazione per il controllo dell'acquisizione:
 - ▶ Il più automatizzato possibile (riconoscimento porta USB, caricamento del *firmware*, etc.)
 - ▶ Raccolta, prima elaborazione ed archiviazione dei dati
- ▶ Una vasta gamma di *widget* per l'interfaccia grafica
 - ▶ Organizzati in moduli da assemblare a piacimento
- ▶ Librerie per gestire sensori e dispositivi
- ▶ Un insieme di moduli per esperienze specifiche
 - ▶ Oggi vedremo 2 esempi concreti

¹È il linguaggio con la crescita di popolarità più grande nello scorso decennio.

L'INTERFACCIA GRAFICA

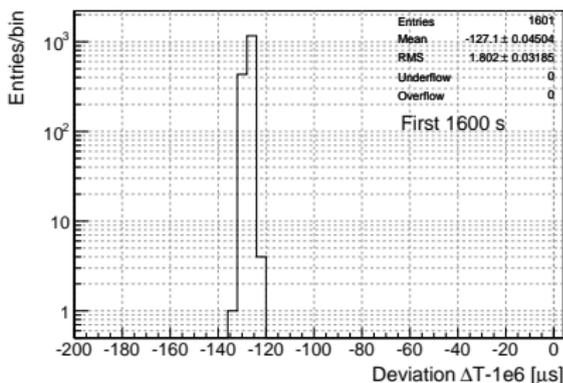
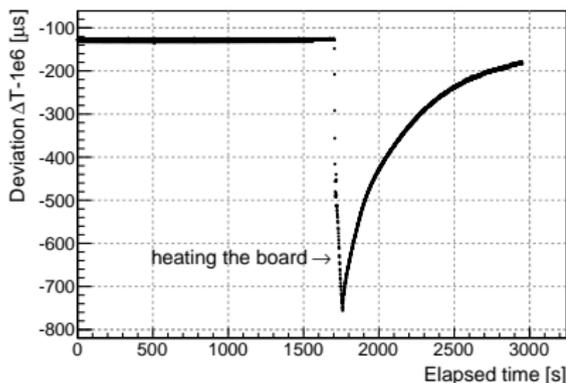


L'INTERFACCIA GRAFICA



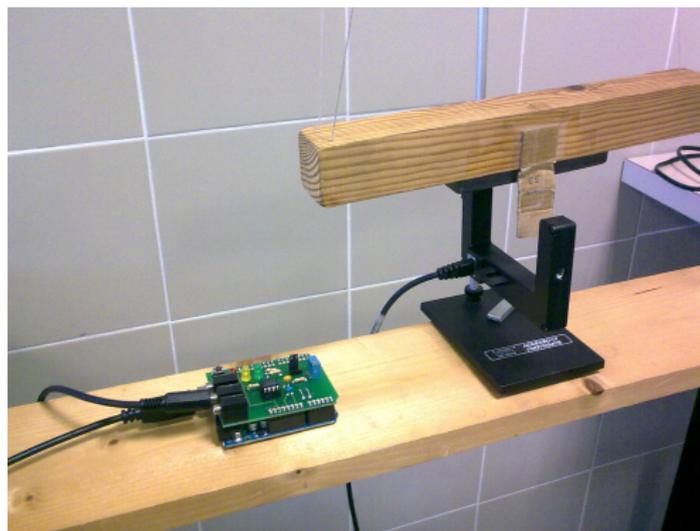
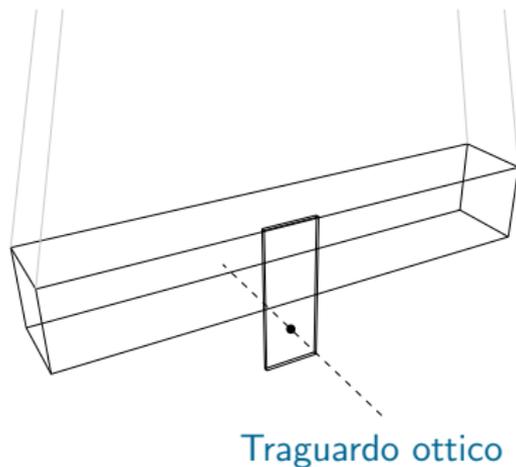
<http://pythonhosted.org/plasduino/screenshots.html>

MISURE DI TEMPO: PERFORMANCE



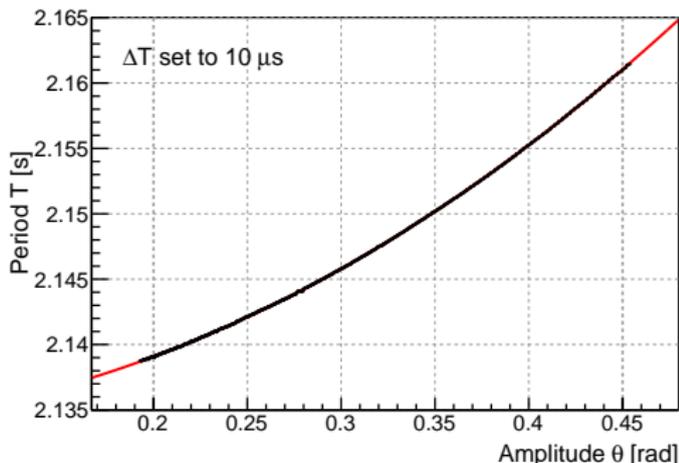
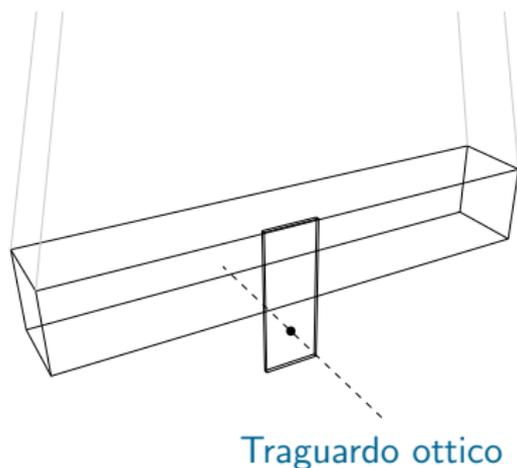
- ▶ La libreria di Arduino fornisce un *timer* incrementato dal clock a 16 MHz prescalato di un fattore 64:
 - ▶ i.e., con una granularità nominale di 4 μs .
- ▶ Testato in laboratorio il 1PPS di un GPS (e con un impulsatore):
 - ▶ RMS dell'intervallo misurato tra due 1PPS successivi di 1.8 μs , non lontano da $4/\sqrt{12}$ μs .
 - ▶ Deviazione media dal valore nominale di ~ 100 μs (su 1 s) a temperatura ambiente.
- ▶ La granularità di 4 μs è vera.
- ▶ Errore sistematico di 10^{-4} sulle misure di tempo.

UN ESEMPIO: IL PENDOLO “DIGITALE”



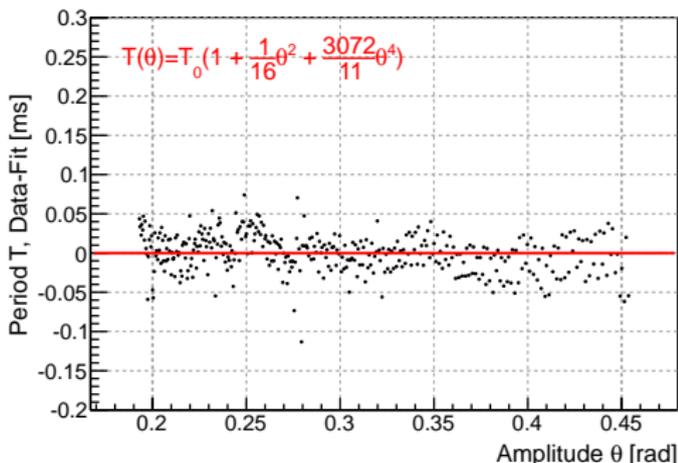
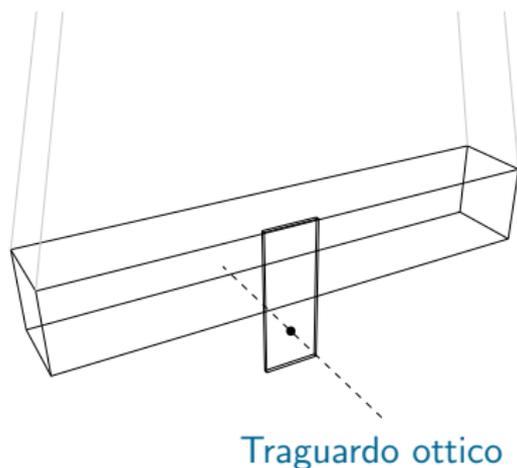
- ▶ Misura del periodo T e del tempo di transito di una bandierina nel punto più basso.
 - ▶ Misura dello smorzamento esponenziale (?)
- ▶ Trascurando le perdite di energia in una oscillazione possiamo stimare l'ampiezza θ_{\max} .
 - ▶ Misura dell'anarmonicità del pendolo.
 - ▶ Si apprezza chiaramente il termine in θ^4 !

UN ESEMPIO: IL PENDOLO “DIGITALE”



- ▶ Misura del periodo T e del tempo di transito di una bandierina nel punto più basso.
 - ▶ Misura dello smorzamento esponenziale (?)
- ▶ Trascurando le perdite di energia in una oscillazione possiamo stimare l'ampiezza θ_{\max} .
 - ▶ Misura dell'anarmonicità del pendolo.
 - ▶ Si apprezza chiaramente il termine in θ^4 !

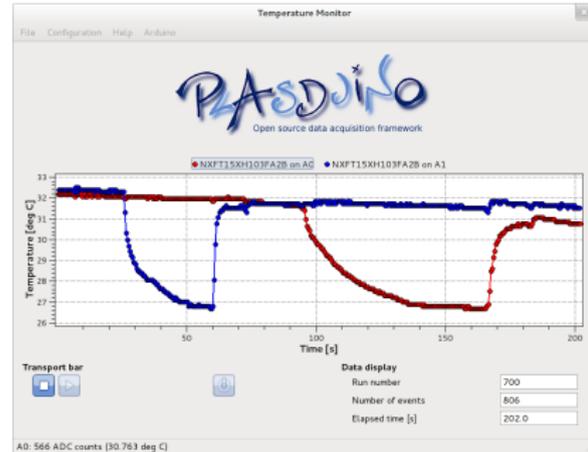
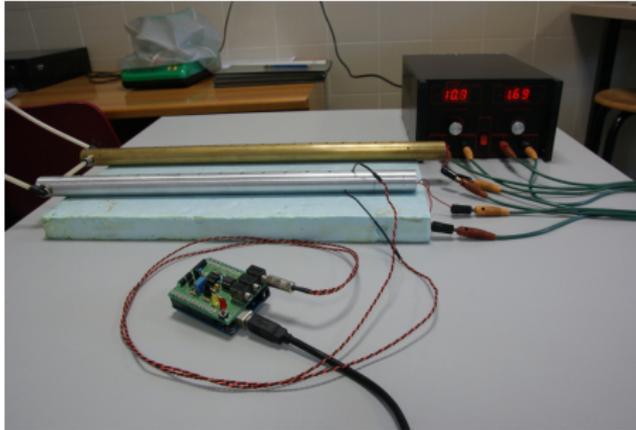
UN ESEMPIO: IL PENDOLO “DIGITALE”



- ▶ Misura del periodo T e del tempo di transito di una bandierina nel punto più basso.
 - ▶ Misura dello smorzamento esponenziale (?)
- ▶ Trascurando le perdite di energia in una oscillazione possiamo stimare l'ampiezza θ_{\max} .
 - ▶ Misura dell'anarmonicità del pendolo.
 - ▶ Si apprezza chiaramente il termine in θ^4 !

MISURE ANALOGICHE: TEMPERATURA

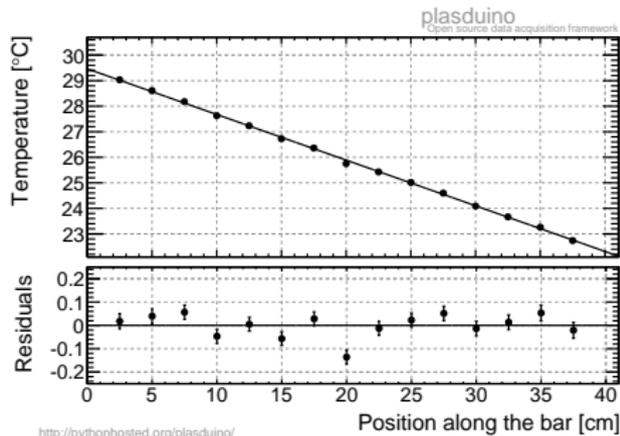
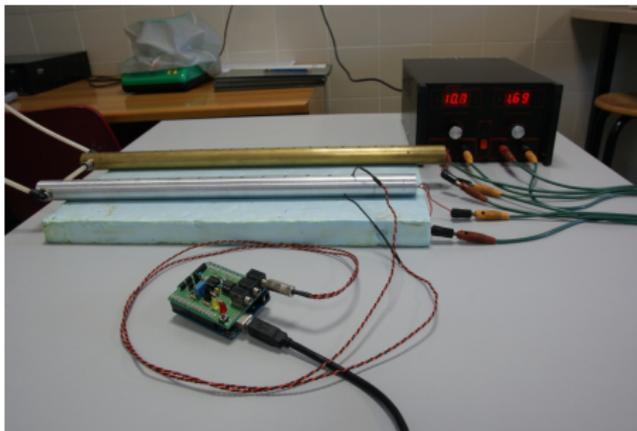
CONDUCEBILITÀ TERMICA DI UNA BARRA METALLICA



- ▶ Due termistori sono connessi a due ingressi analogici di Arduino
 - ▶ Il circuito funziona da partitore resistivo in cui il termistore è una resistenza variabile
 - ▶ plasduino legge l'ADC, lo converte in temperatura, la mostra in un grafico e salva i dati per la successiva elaborazione
- ▶ In una barra metallica, riscaldata da un lato e raffreddata dall'altro, ci si aspetta un andamento lineare della temperatura
 - ▶ Dal coefficiente angolare si ricava la conducibilità termica

MISURE ANALOGICHE: TEMPERATURA

CONDUCEBILITÀ TERMICA DI UNA BARRA METALLICA



- ▶ Due termistori sono connessi a due ingressi analogici di Arduino
 - ▶ Il circuito funziona da partitore resistivo in cui il termistore è una resistenza variabile
 - ▶ plasduino legge l'ADC, lo converte in temperatura, la mostra in un grafico e salva i dati per la successiva elaborazione
- ▶ In una barra metallica, riscaldata da un lato e raffreddata dall'altro, ci si aspetta un andamento lineare della temperatura
 - ▶ Dal coefficiente angolare si ricava la conducibilità termica

- ▶ Due esperienze, tra quelle proposte agli studenti, per toccare con mano il sistema
 - ▶ Un piano inclinato
 - ▶ Un pendolo analogico
- ▶ Per prendere confidenza con il sistema
- ▶ Acquisire un po' di dati
- ▶ Studiare un po' di analisi dati
 - ▶ La "misura" e la sua incertezza
 - ▶ Fluttuazioni statistiche
 - ▶ La verifica del fenomeno fisico
- ▶ Di solito le esperienze si fanno in gruppo...

IL PIANO INCLINATO

Lo scopo è quello di studiare il moto di una sfera su di un piano inclinato
A disposizione:

- ▶ Un profilo metallico “a V” (ad angolo retto)
- ▶ Due traguardi ottici collegati a plasduino
- ▶ Metro a nastro



L'accelerazione del centro di massa della sfera lungo il profilo inclinato vale

$$a = \frac{5}{9}g \sin(\alpha), \quad (1)$$

dove α è l'angolo di inclinazione della guida. La legge oraria che descrive il moto del centro di massa (con velocità iniziale nulla e spazio percorso all'istante iniziale anch'esso nullo) sarà allora

$$s(t) = \frac{1}{2}at^2 = \frac{5}{18}g \sin(\alpha)t^2 \quad (2)$$

Misure di Spazio/Tempo:

- ▶ Si pone una fotocella in fondo alla guida (dove rimarrà fissa per tutta la durata dell'esperienza); l'altra fotocella verrà di volta in volta posta in punti diversi della guida.
- ▶ Per ogni configurazione si misura la distanza dalle due fotocellule ed il tempo che occorre alla sferetta per compiere il percorso (con plasduino)
- ▶ Si costruisce una tabella di coppie spazio-tempo (con le incertezze associate): $(s_i \pm \Delta s_i, t_i \pm \Delta t_i)$

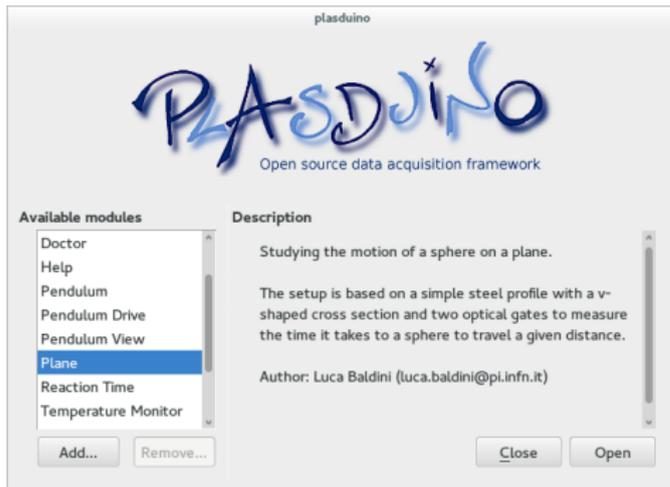
Dalla tabella si può verificare la formula 2.

In base alle competenze degli studenti, si può proporre:

- ▶ Un grafico di s vs t^2
- ▶ Un fit con una retta, con righello o al calcolatore
- ▶ Con un grafico di s vs t in carta bilogaritmica
- ▶ Uno studio dell'accordo con il valore "teorico" dell'accelerazione
- ▶ ...

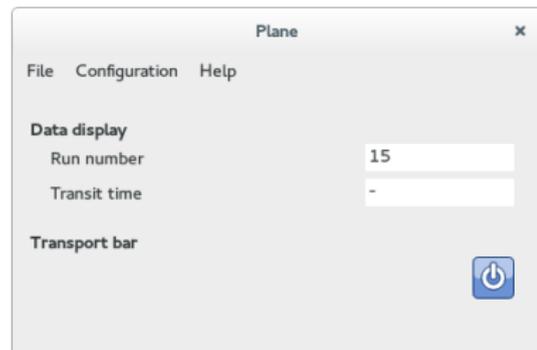
Accorgimenti:

- ▶ Far partire la sfera il più vicino possibile al traguardo ottico, in modo da verificare il più possibile la condizione di velocità iniziale nulla.
- ▶ L'angolo α si può misurare con il metro e un po' di trigonometria
- ▶ Per ogni configurazione, ripetere le misure di tempo più volte: ogni volta la misura sarà leggermente diversa ed è possibile apprezzare le fluttuazioni statistiche
 - ▶ L'incertezza Δt_i è maggiore della risoluzione del daq, va stimata dalla dispersione dei dati!
 - ▶ È una scusa per studiare la media e lo scarto quadratico medio...
- ▶ In questa esperienza plasduino non distingue i segnali di Start e Stop dai due traguardi ottici.
 - ▶ Il primo che arriva (qualunque esso sia) è lo Start, il successivo è lo Stop



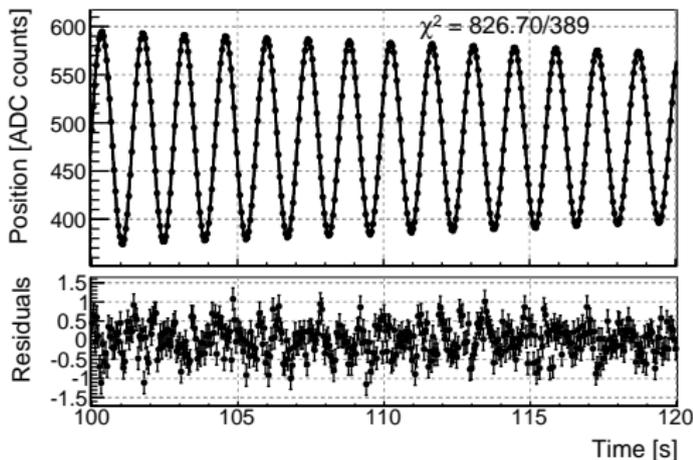
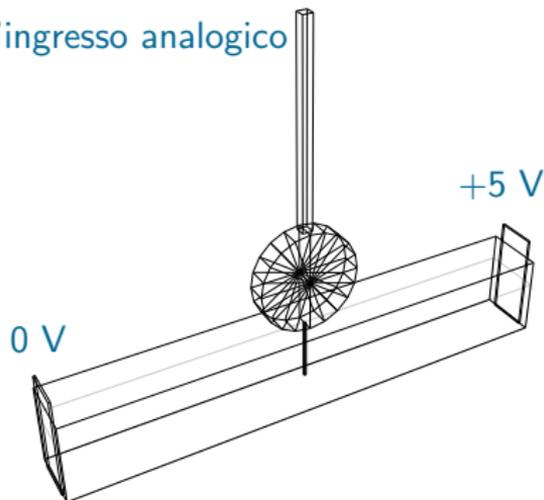
- ▶ Dopo aver lanciato plasduino, compare la finestra principale
- ▶ L'elenco di tutti i moduli, per le varie esperienze è visibile sulla sinistra
- ▶ Evidenziandolo, compare una breve descrizione
- ▶ Per il piano inclinato selezionare "Plane"

- ▶ Plane è estremamente semplice →:
 - ▶ Numero di "run", che si incrementa ad ogni lancio di plasduino
 - ▶ Ultimo tempo di transizione
- ▶ Il tempo di transizione va trascritto a mano sul proprio quaderno ad ogni misura



IL PENDOLO “ANALOGICO”

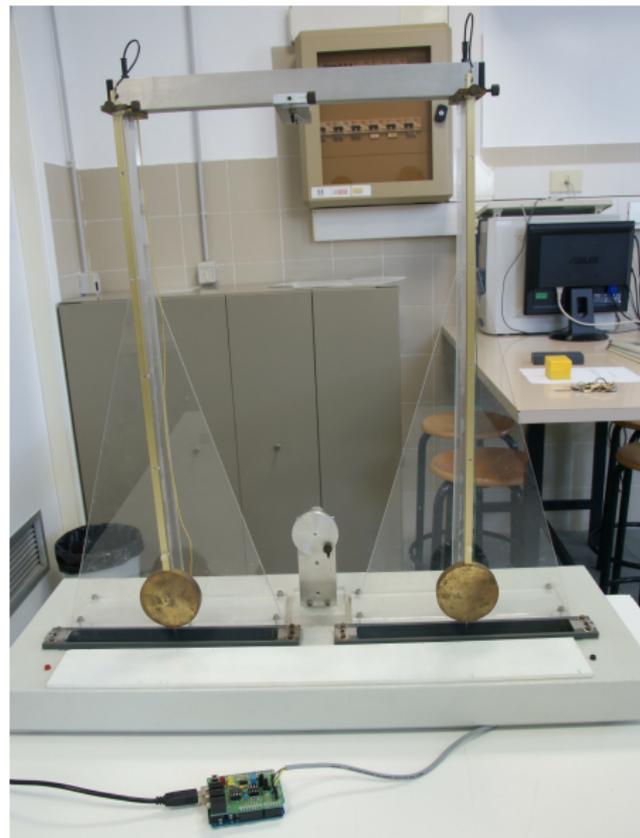
All'ingresso analogico



- ▶ Utilizziamo una punta immersa in acqua come partitore resistivo.
 - ▶ Direttamente ad uno degli ingressi analogici.
- ▶ 10 bit ($2^{10} = 1024$) di ADC su ~ 20 cm corrisponde ad una risoluzione spaziale di $\sim 200/\sqrt{12} \sim 60 \mu\text{m}$.
 - ▶ Il χ^2 ed i residui indicano che, almeno vicino al centro, non siamo lontani dalla risoluzione “teorica”.
 - ▶ Non-linearità residua al livello di qualche % ai bordi.

PENDOLI ACCOPPIATI E BATTIMENTI

- ▶ Questo apparato consente di studiare, in dettaglio, il moto di un pendolo
 - ▶ Periodo di oscillazione
 - ▶ Smorzamento
- ▶ Si possono accoppiare i pendoli tramite una molla e studiare il comportamento
 - ▶ Modi normali
 - ▶ Battimenti



Il moto di un singolo pendolo è descrivibile come un oscillatore armonico smorzato, la cui soluzione è del tipo:

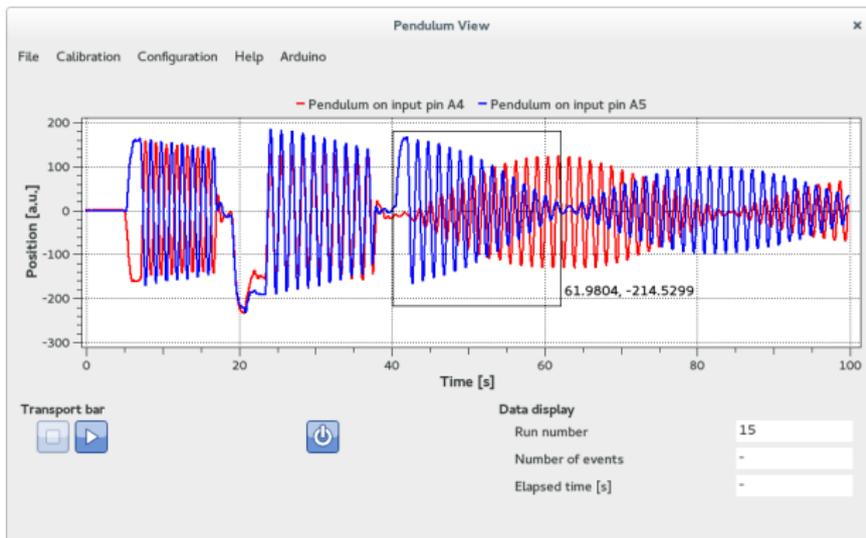
$$x(t) = c_0 + c_1 e^{-\lambda t} \sin(\omega_0 t + \phi_0) \quad (3)$$

Dove ω_0^{th} previsto dalla teoria vale:

$$\omega_0^{th} = \sqrt{\frac{mgl}{I}} \quad (4)$$

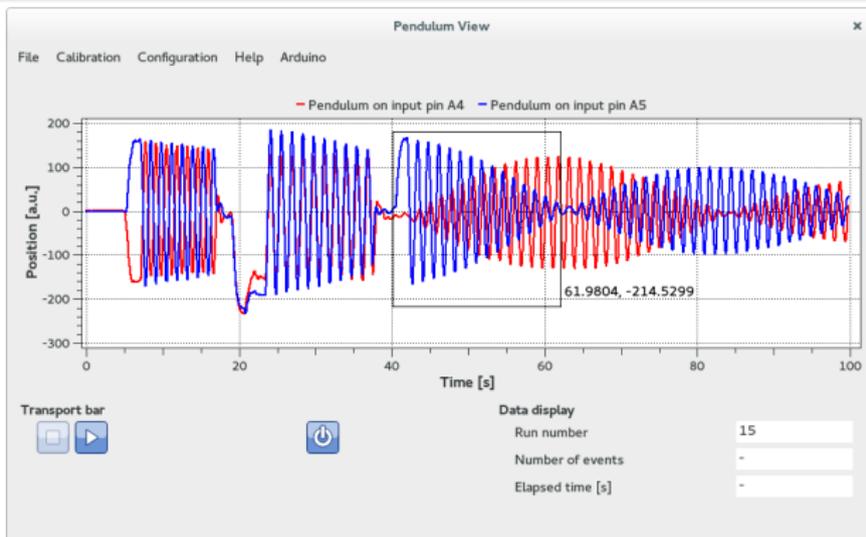
- ▶ La prima misura consiste quindi nel mettere in oscillazione un pendolo da solo e confrontare ω_0 con quello atteso
- ▶ Si può studiare lo smorzamento: è davvero esponenziale?
- ▶ Si possono misurare entrambi i pendoli e studiare se hanno lo stesso periodo
- ▶ Si può inserire lo “smorzatore” e studiare in nuovo smorzamento. Il periodo è cambiato significativamente?

COSIDERAZIONI PRATICHE I



- ▶ Il modulo plasduino da utilizzare si chiama “Pendulum View”
- ▶ Questa volta sono presenti i tasti di Start e Stop dell'acquisizione
- ▶ La scala delle y è in unità arbitrarie, si può centrare sullo zero tramite il menù “Calibration”

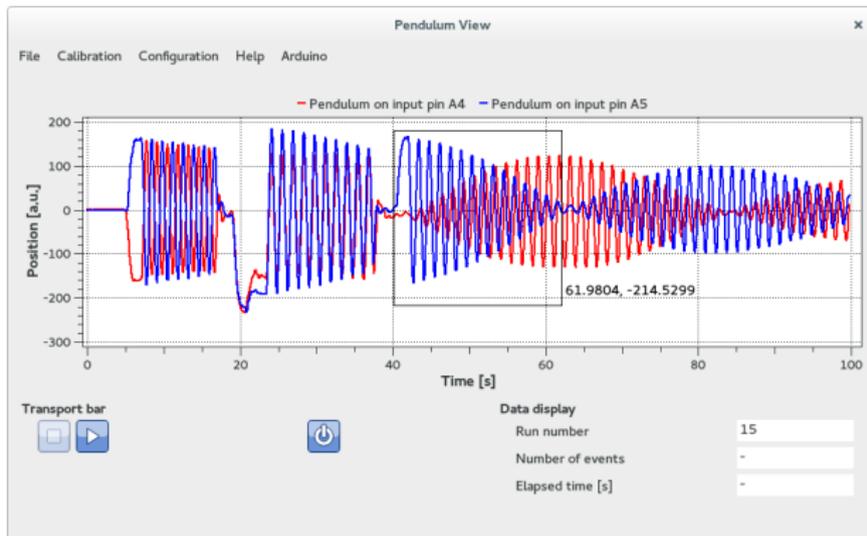
COSIDERAZIONI PRATICHE II



- ▶ Quando si preme Stop, i dati vengono salvati in un file di testo contenente quattro colonne che rappresentano, rispettivamente:
 1. il tempo e la posizione del primo pendolo;
 2. il tempo e la posizione del secondo pendolo;

```
#Time A Pos A Time B Pos B  
#[s] [au] [s] [au]  
0.024 0.92 0.050 -1.00  
0.075 0.92 0.101 0.00  
...
```

COSIDERAZIONI PRATICHE III



- ▶ Si può utilizzare il modulo Pendulum View per una prima analisi veloce dei dati
 - ▶ Passando il mouse nella finestra grafica vengono visualizzate le coordinate
 - ▶ Si può zoommare selezionando un rettangolo col tasto sinistro del mouse
 - ▶ Si torna alla visualizzazione intera premendo il tasto destro del mouse

PENDOLI ACCOPPIATI: INTRODUZIONE

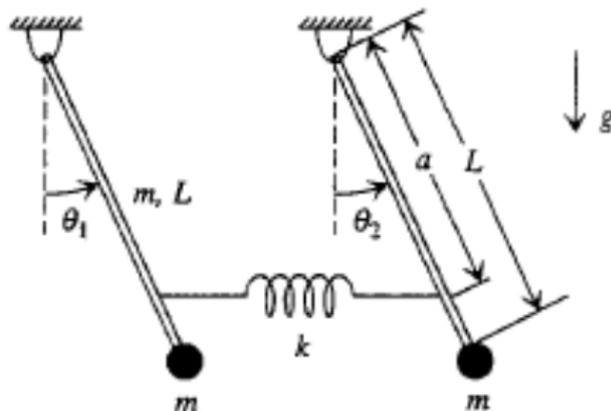
Due pendoli uguali realizzati con due aste rigide collegate tra loro da una molla. La forza che accoppia i due pendoli è del tipo:

$$F_k = -k(a \sin(\theta_2) - a \sin(\theta_1) - l_0)$$

Con un po' di fatica si risolve (diagonalizza) il sistema e si trova la soluzione. Ma alcune quantità sono difficili da misurare...

Ci sono però due configurazioni iniziali (corrispondenti ai cosiddetti *modi normali* di oscillazione) per cui il moto di entrambi i pendoli è armonico:

- ▶ quella in cui essi si muovono in fase
- ▶ quella in cui essi si muovono in controfase



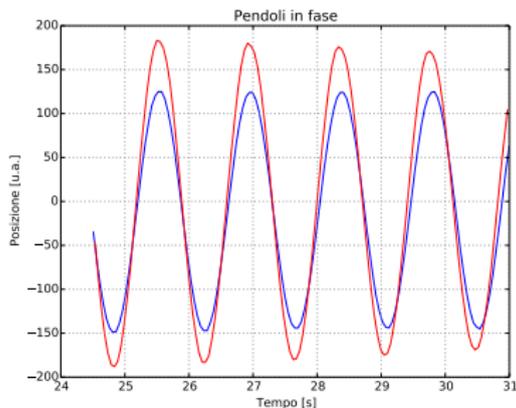
PENDOLI ACCOPPIATI: MODI NORMALI

OSCILLAZIONE IN FASE

Spostare i pendoli nello *stesso verso*, di uguali ampiezze e lasciarli andare contemporaneamente.

In queste condizioni la molla non è sollecitata dai due pendoli, e non influenzerà il movimento dei due pendoli:

$$\omega_f \sim \omega_0$$

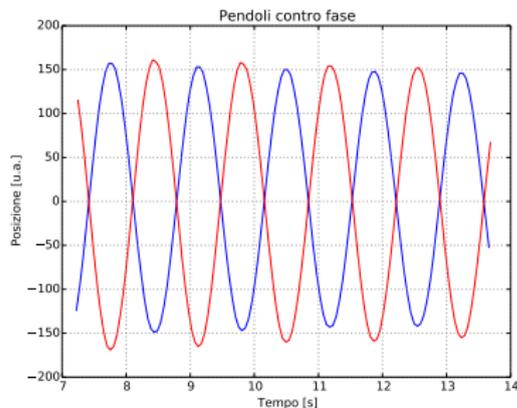


OSCILLAZIONE CONTROFASE

Spostare i pendoli nel *verso opposto*, di uguali ampiezze e lasciarli andare contemporaneamente.

In queste condizioni la molla è sollecitata in maniera simmetrica dai due pendoli, e ne cambierà la frequenza di oscillazione:

$$\omega_c > \omega_f$$



PENDOLI ACCOPPIATI: BATTIMENTI

Si sposta uno dei due pendoli tenendo l'altro fermo nella sua posizione di equilibrio e si lascia oscillare il sistema. Il moto risultante è dato dalla somma (con uguali ampiezze) dei due modi normali

$$x(t) = A_0 [\cos(\omega_f t + \phi_1) + \cos(\omega_c t + \phi_2)] \quad (5)$$

o, per le formule di prostaferesi

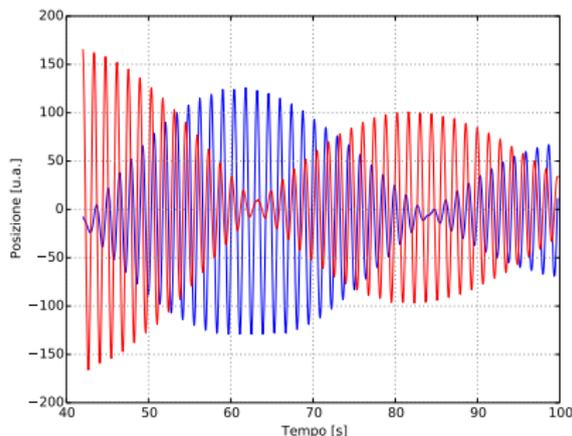
$$x(t) = 2A_0 \left\{ \cos \left[\frac{(\omega_c + \omega_f)t}{2} + \frac{(\phi_2 + \phi_1)}{2} \right] \cos \left[\frac{(\omega_c - \omega_f)t}{2} + \frac{(\phi_2 - \phi_1)}{2} \right] \right\}$$

L'oscillazione risultante, di pulsazione angolare portante

$$\omega_p = \frac{(\omega_c + \omega_f)}{2} \approx \omega_c, \omega_f \quad (6)$$

è *modulata* da un'onda di pulsazione angolare ω_b molto più piccola

$$\omega_b = \frac{(\omega_c - \omega_f)}{2} \ll \omega_c, \omega_f \quad (7)$$



plasduino

Open source data acquisition framework

Home

Installation

Overview

Modules

Shields

Core development

HOME

Plasduino is a data acquisition framework for the physics lab. It builds on top of an old, no longer maintained project for data acquisition through the parallel port (**plas**) and is based on the **arduino** platform (hence the name plasduino). If you are wondering what we are talking about, our **overview paper** is probably the single most useful reference, so take a look!

Plasduino is an open hardware/software project. The codebase is released under the GPL licence along with the shield schematics. The main goal is to provide all the necessary tools to assemble a flexible, easy-to-use, general-purpose data acquisition system, suitable for physics didactic experiments, for under 50\$.

Plasduino is written in **python** (relying on several third-party python modules) and uses **PyQt4** for the graphical user interface. A list of pre-requisites for the installation is available **here**.

The plasduino code is hosted on **bitbucket**. Among other things, you want to use bitbucket to **browse the source code** or **download plasduino** in your favourite flavour. In addition to that, we use the **issue tracker** provided by bitbucket for bug reports and feature request, using the issue tracker is by far the most effective way to complain or suggest improvements!



Copyright © 2013–2014 the plasduino team
We try and make sure that this page validates as **HTML 5** and **css level 3** (feel free to bug us if it doesn't).
Compiled from plasduino 2.0.2, last update Thursday, February 06 2014 at 14:45 (+0100).

▶ Alcuni link utili:

- ▶ Pagina web del progetto: <http://pythonhosted.org/plasduino/>
- ▶ Articolo di riferimento: <http://arxiv.org/abs/1312.1805>
- ▶ Download: <https://bitbucket.org/lbaldini/plasduino/downloads>
- ▶ Issue tracker: <https://bitbucket.org/lbaldini/plasduino/issues>

▶ Ogni manifestazione di interesse è benvenuta.