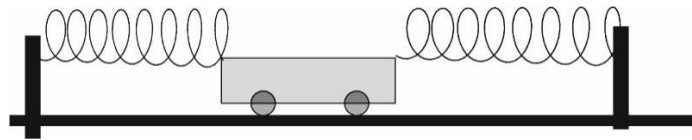


MOTO OSCILLATORIO SMORZATO

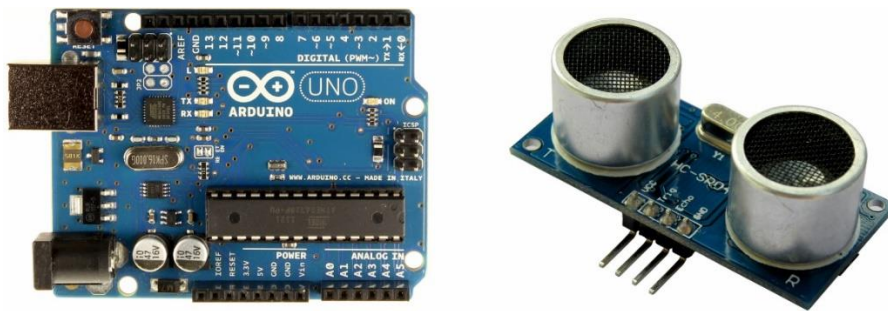
Obiettivo

L'obiettivo dell'esperimento è quello di analizzare sperimentalmente il moto di un carrello appoggiato a una superficie orizzontale e collegato a due molle (vedi figura seguente), per verificare la legge oraria delle oscillazioni armoniche smorzate e determinare la costante elastica della molla.

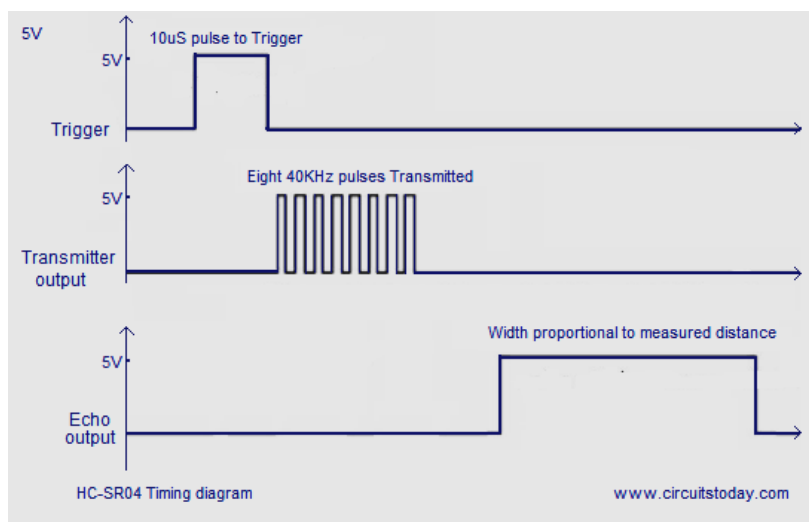


Esecuzione dell'esperimento

La prima cosa da fare è preparare il sistema di acquisizione dati, basato su una scheda Arduino 1 R3 e su un sensore di movimento ad ultrasuoni di tipo SR04 (vedi figura seguente).



Il funzionamento logico del sensore è descritto nell'immagine sottostante:



Un segnale di trigger di durata $10\ \mu\text{s}$ (onda quadra) dato dalla porta digitale di trigger, fa da start per un treno di impulsi logici a 40 KHz (ultrasuoni). Nell'istante in cui inizia il treno di impulsi viene generato un segnale digitale sulla porta *echo*, che rimane costante sino al ritorno dell'eco del primo impulso sull'ostacolo di cui bisogna misurare la posizione. In altre parole quando il treno di ultrasuoni è generato la porta digitale, il pin *echo* viene portato nello stato HIGH, e resta in tale stato fino a

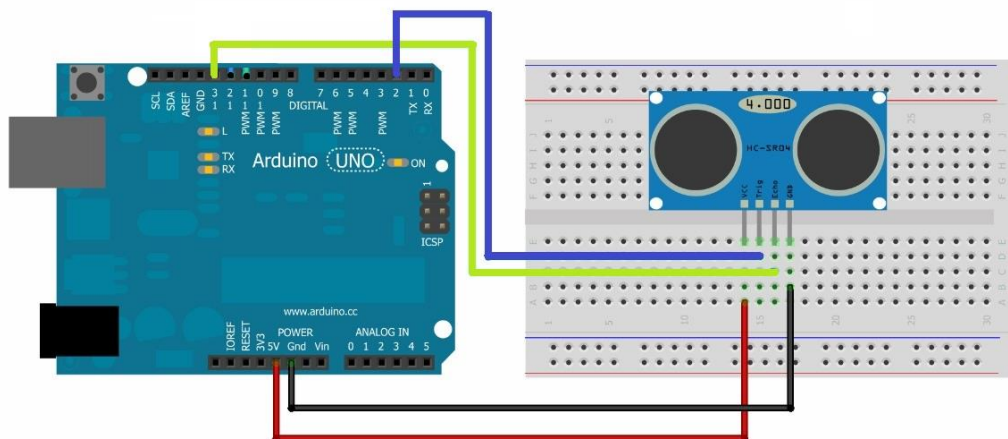
quando il sensore non riceve il segnale a ultrasuoni riflesso dall'ostacolo; a quel punto la porta *echo* torna allo stato LOW in cui si trovava inizialmente. L'intervallo di tempo che la porta *echo* è stata nello stato HIGH moltiplicato per la velocità del suono in aria (340 m/s) e diviso per 2 permette di determinare la distanza dall'ostacolo.

$$d = \frac{v_s * \Delta t}{2}$$

L'intervallo di tempo che la porta *echo* è stata nello stato HIGH si ricava tramite l'istruzione `pulseIn(echoPort , HIGH)`, che restituisce la misura di tempo espressa in μ s.

Interfacciamento sensore ad ultrasuoni SR04 con Arduino

L'interfacciamento del sensore ad ultrasuoni SR04 con Arduino si realizza collegando i 4 pin di uscita del sensore alle porte di Arduino come mostrato nella figura seguente:



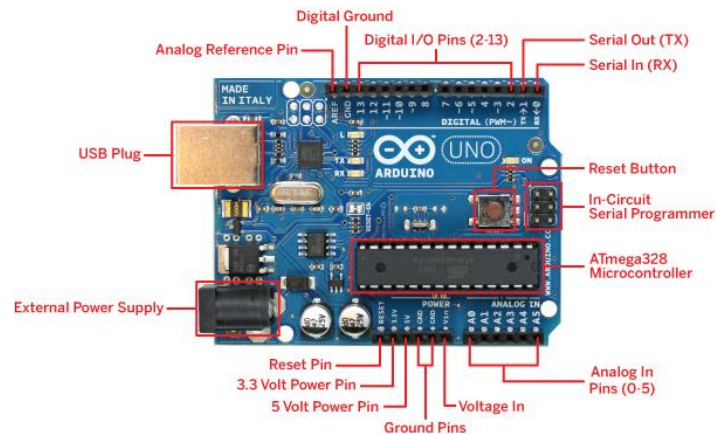
- 1) Il pin Vcc del sensore va collegato all'uscita a 5V di Arduino
- 2) Il pin Gnd del sensore va collegato alla porta Gnd di Arduino
- 3) Il pin Trig del sensore va collegato a una porta digitale di Arduino (corrispondente nello sketch)
- 4) Il pin Echo del sensore va collegato a una porta digitale di Arduino (corrispondente nello sketch)

Nota 1: fare attenzione a non invertire i pin Vcc e Gnd poiché altrimenti il sensore si brucia.

Esecuzione dell'esperimento

1. Pesare il carrello;
2. Posizionare i supporti ad una distanza di circa 60-70 cm.
3. Agganciare le molle alle estremità del carrello e ai due supporti.
4. Puntare il sensore sul bersaglio e verificare la lettura dei dati. La modalità migliore consiste nel posizionare il sensore alla stessa altezza del bersaglio e seguire le indicazioni nella NOTA DOPO LO SKETCH).
5. Spostare il carrello dalla posizione di equilibrio di 8-10cm, e osservare sul sistema delle piccole oscillazioni.

Programma (sketch) per Arduino



Il programma seguente acquisisce i dati sulla posizione del carrello e stampa i risultati sul monitor seriale

```
//DICHIARAZIONE VARIABILI
```

```
int trigPin = 9; // porta digitale usata come trigger dal sensore ad ultrasuoni
int echoPin = 10; // porta digitale usata come echo dal sensore ad ultrasuoni
long durata; // intervallo di tempo tra l'invio e la ricezione dell'impulso ultrasonoro
float distanza; // distanza misurata dal sensore
float t; // istante in cui si misura la posizione
long t1; // istante di tempo misurato da quando il programma è in esecuzione
long t2; // istante di tempo misurato da Arduino dopo l'esecuzione dell'istruzione pulseIn()
float v = 0.034 ; // velocità del suono in cm/microsecondi (v = 340 m/s)
```

```
//INIZIALIZZAZIONE DELLE PORTE
```

```
void setup(){
  pinMode( trigPin , OUTPUT ); // la porta di trigger del sensore è un output, perché invia il segnale
  pinMode( echoPin , INPUT ); // la porta echo del sensore è un input, perché riceve il segnale
  Serial.begin(9600); // Impostiamo la velocità di trasmissione dati della seriale a 9600 baud
}
```

```
void loop() {
  digitalWrite( trigPin , LOW ); // si inizializza a LOW lo stato della porta collegata al trigger
  delayMicroseconds(2); // pausa di 2 microsecondi (per sicurezza)
```

```
// Comandi da inviare sul trigger (cioè portarlo nello stato HIGH per 10 microsecondi) per inviare
l'impulso ultrasonoro
```

```
  digitalWrite( trigPin , HIGH );
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite( trigPin , LOW );
```

```
  t1 = millis(); // istante di tempo misurato da quando il programma è in esecuzione
  durata = pulseIn( echoPin , HIGH ); // tempo in microsecondi tra l'invio del segnale e la ricezione
dell'eco riflesso dall'ostacolo
```

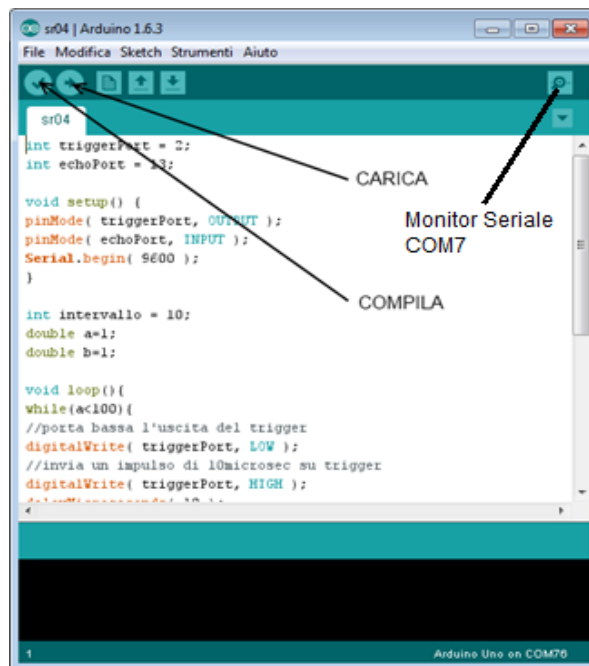
```
  t2 = millis(); // istante di tempo misurato dopo l'esecuzione dell'istruzione pulseIn
  distanza = durata*v/2; // calcolo della distanza in cm
  t=1.0E-3*(t1+t2)/2; // istante di tempo (in secondi) in cui viene eseguita la misura, cioè quando
l'impulso emesso raggiunge l'ostacolo
```

```
//scrittura sul monitor seriale
Serial.print(t,6);
Serial.print(";");
Serial.println(distanza);
```

```
delay(50); // intervallo di tempo (in ms) prima della misura successiva
}
```

Caricare gli sketch su Arduino e lanciare la misura

Per caricare gli sketch su Arduino si usa il software Arduino che si trova sul desktop. Una volta aperto bisogna copiare lo sketch precedente al suo interno e poi salvare il file su una cartella. Poi si può verificare la corretta scrittura del codice con il pulsante compila. Se la compilazione va a buon fine si può caricare il programma sulla scheda con il pulsante carica. Se il programma di caricamento invia un messaggio di errore occorre controllare dal Menu *Strumenti* la porta di comunicazione con Arduino COM7(Arduino Uno), ovviamente la scheda deve essere connessa al computer tramite la porta USB.



Il codice viene eseguito in loop, l'utente interrompe l'acquisizione quando il sistema massa-molla si è fermato.

NOTA: Si suggerisce di utilizzare il **plotter seriale** di Arduino per verificare che il sensore rilevi effettivamente la posizione del bersaglio

<p>I. Commentare le righe <pre>// Serial.print(t,6); // Serial.print("\t");</pre></p> <p>II. Attivare la riga di codice <pre>Serial.println(distanza);</pre></p> <p>III. Caricare lo sketch</p> <p>IV. Aprire Plotter Seriale</p>	
---	--

Analisi dei dati sperimentali.

I dati che appaiono sul Monitor seriale vanno salvati in un file di testo per la successiva rielaborazione.

Per fare ciò:

- seleziona e copia i dati dal monitor seriale
- salva su un file in *formato ASCII*: *nome_file.txt*

(si possono usare i tasti rapidi: Ctrl+A seleziona tutto, Ctrl+C copia ,Ctrl+V incolla).

Analisi con Excel

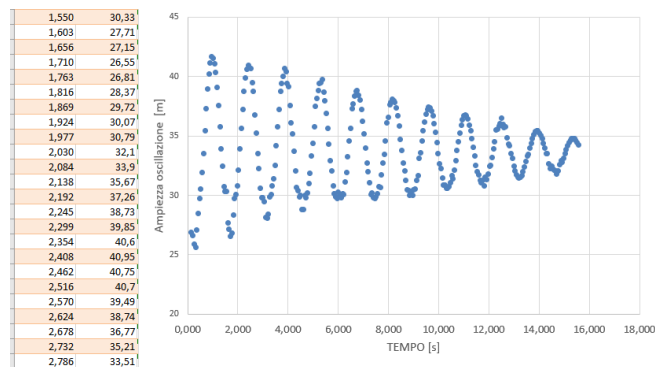
Apri il file *Oscillazioni_modello.xlsx*

Dal menu *Dati* scegli *Da testo/CSV* e seleziona il file su cui sono stati memorizzati *nome_file.txt*

→ *Importa Delimitatore punto e virgola* → *Carica*

Se avremo fatto queste operazioni correttamente il *file* viene importato, mostrando una tabella Excel con due colonne di dati: tempo [secondi] e distanza [m].

Selezionare le due colonne di dati e scegliere dal Menu *Inserisci/Grafico* per visualizzare il grafico spazio-tempo. Cliccando sul tasto dx possiamo cambiare il modo di graficare i dati passando dai punti alle linee...questo ci permette di vedere meglio le oscillazioni del carrello, come nella figura seguente



Come è evidente la qualità del segnale degrada nelle ultime oscillazioni, o nelle prime, è opportuno non inserire questi dati nell'elaborazione.

Questo sistema si comporta come un oscillatore armonico smorzato a molla singola, ma con quale frequenza/pulsazione?

Si osservi che in questo caso le molle sono collegate “*in parallelo*” perché ogni molla agisce da sola sulla massa, indipendentemente dall'altra molla; $|F| = \Delta k_1 x + \Delta k_2 x$
 la costante elastica k_{eq} del sistema è data da $F = \Delta k_{eq} x$
 cioè la costante elastica k della molla “risultante” è uguale alla somma $k_1 + k_2$,
 Utilizzando la relazione per l'oscillatore armonico (o il moto circolare), si calcola la pulsazione ω_0

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

e si ricava la costante elastica equivalente delle molle, espressa in N/m:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Come analizzare il segnale?

Supponiamo che il sistema segua la legge oraria delle oscillazioni armoniche smorzate:

$$y(t) = A e^{-\beta t} \cos(\omega_0 t + \Phi) + y_0 \quad [1]$$

dove **A**, **Φ**, **ω₀**, **β**, **y₀** sono parametri che rappresentano

A è l'ampiezza dell'oscillazione,

Φ è la fase,

ω₀ è la pulsazione,

β è il coefficiente d'attrito viscoso con l'aria (l'attrito radente è trascurabile, perché il carrello si muove su una rotaia con basso attrito radente)

y₀ è un fattore di scala dovuto al fatto che la posizione di equilibrio del carrello non è zero

t è il tempo

Tale soluzione può essere giustificata empiricamente se pensiamo che l'attrito del carrello con aria e rotaia dà un termine di smorzamento delle oscillazioni che nel nostro caso è il termine esponenziale; tuttavia, il moto resta un moto armonico, che può essere descritto con una funzione coseno (o seno) come nel nostro caso.

Per raggiungere l'obiettivo dell'esperimento (analizzare sperimentalmente il moto del sistema e determinarne la legge oraria) è a questo punto indispensabile individuare i valori dei parametri della funzione [1] in modo tale che essa possa *riprodurre* i dati dell'esperimento.

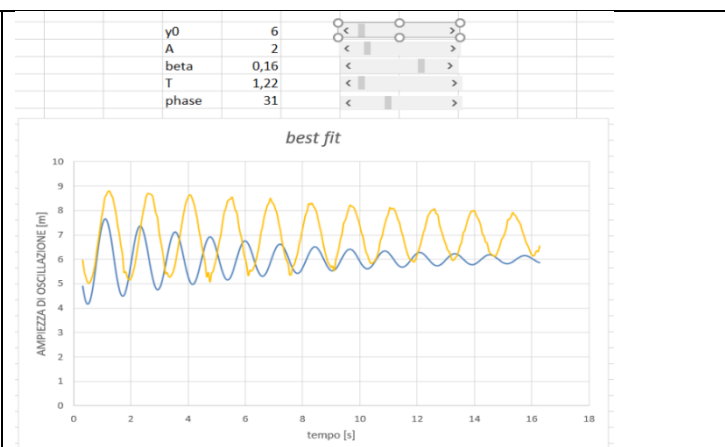
Per individuare i valori dei parametri per il set di dati sperimentali segui le istruzioni seguenti:

- vai al foglio *Define* nel file Excel *Oscillazioni_modello.xlsx*.
- incolla i valori di tempo e spazio nelle prime due colonne

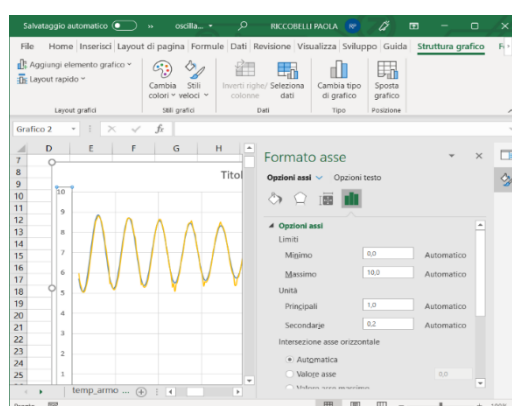
La terza colonna non va modificata perché contiene le istruzioni che permettono di visualizzare la curva teorica al variare i parametri **A**, **Φ**, **T**, **β**, **y₀** insieme ai dati sperimentali.

Modificando gli **slide** corrispondenti ai parametri **A**, **Φ**, **T**, **β**, **y₀** fai in modo tale che le due curve si sovrappongano.

Si consiglia di modificare inizialmente y_0 la posizione di equilibrio del carrello) A (Ampiezza di oscillazione) i cui valori sono facilmente estrapolabili dal grafico e successivamente: Φ è la fase T periodo.



Può succedere che nel grafico non appaiano le rappresentazioni dei dati sperimentali e dei dati teorici, in questo caso occorre modificare la scala dell'asse Y in modo automatico:

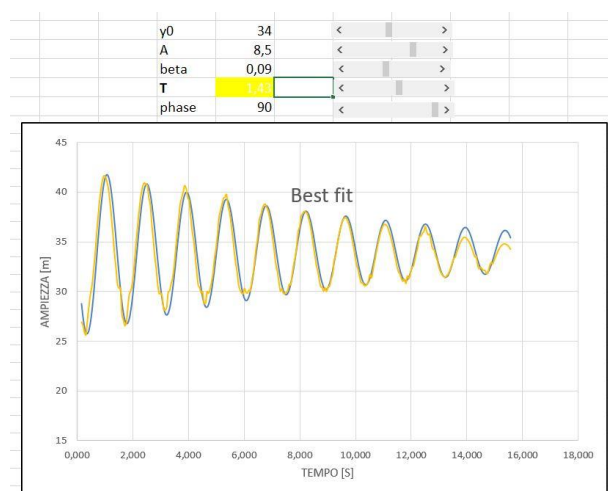


Una volta individuati i valori dei parametri di *best fit* è possibile attribuire il valore vero di T e ricavare la costante elastica equivalente delle molle invertendo la relazione:

$$\omega_0 = \sqrt{k/m}$$

e calcolare la costante elastica della molla

$$k = k_{eq} / 2$$



I parametri interessanti per questo esperimento sono ω_0 e β (beta)

Conclusioni

- Confrontare il valore di k determinato sperimentalmente con quello teorico fornito dal costruttore.