



## Esercitazione: verifica di linearità della retta di calibrazione per una cella di carico

### 1. Introduzione, descrizione generale

L'esercitazione proposta ha lo scopo di rilevare sperimentalmente la retta di calibrazione di una cella di carico sottoposta a compressione al fine di verificarne la linearità. Lo studente verrà guidato in modo da riuscire a portare a termine i seguenti compiti:

- Sviluppo di un software in ambiente NI LabView® per l'acquisizione, elaborazione e salvataggio del valore in tensione generato dalla cella di carico.
- Sviluppo di uno script in ambiente Matlab® per il calcolo e la visualizzazione della retta di calibrazione della cella di carico, a partire dai valori di tensione precedentemente salvati.

#### 1.1. Materiale fornito per l'esperienza

Il materiale a disposizione necessario per l'esperienza consiste di (Fig. 2):

- Personal computer con software di acquisizione NI LabView® e di elaborazione Matlab®
- Scheda di acquisizione e conversione analogica/digitale a 2 canali NI 9218 (in chassis cDAQ-9171, CompactDAQ, 1 slot, con connessione USB)
- Cella di carico (AEP modello TCA , con portata di 500 N) capace di lavorare a trazione e compressione
- Alimentatore regolabile da laboratorio (ISO-TECH IPS303DD, Vout 0 → 30V)
- Pesetti di vario calibro



Figura 1. (A) Cella di carico, (B) Alimentatore da laboratorio, (C) Chassis e scheda di acquisizione

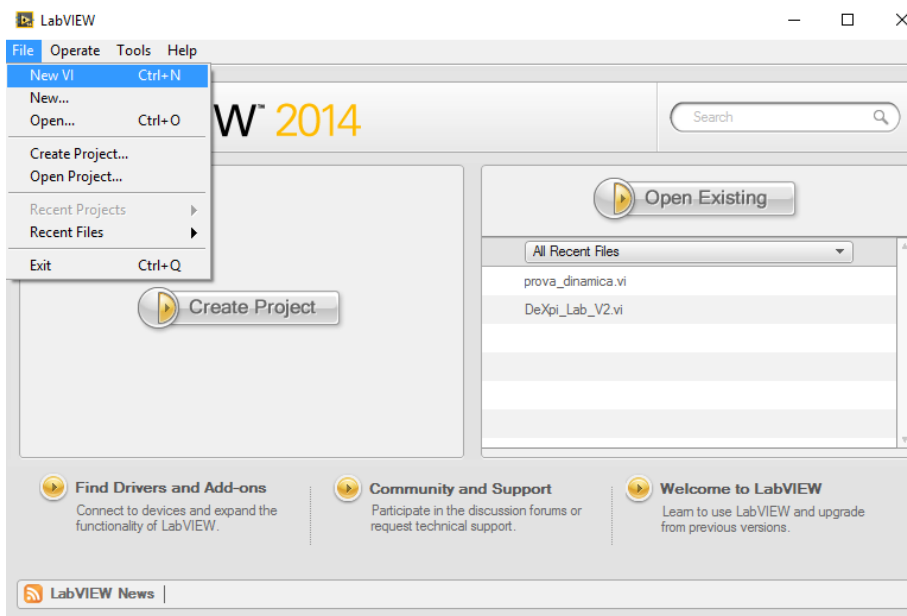
## 2. Svolgimento

Prima di tutto occorre accendere il PC e le apparecchiature elettroniche collegate. Dopo di ch  si effettuer  il login mediante nome utente/password del portale della didattica e si andr  sulla propria pagina personale del portale della didattica.

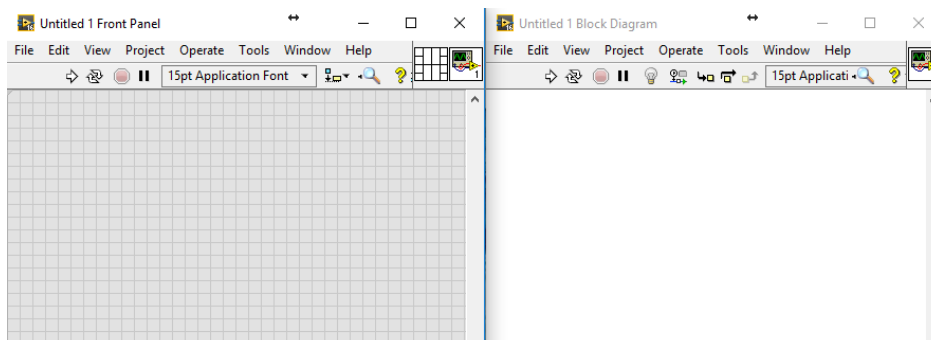
1. Accendere l'alimentatore e verificare che la tensione in uscita sia ad un valore un po' superiore a 12 V (orientativamente fra 13 V e 15 V)
2. Verificare il collegamento del sistema di acquisizione CompactDAQ al PC tramite cavo USB
3. Collegare il cavo di connessione della cella di carico alla scheda di acquisizione dati in corrispondenza dell'apposito ingresso.

### 2.1. Sviluppo del software di acquisizione

Lanciare NI LabVIEW<sup>®</sup> e dalla barra dei menu selezionare File -> New VI

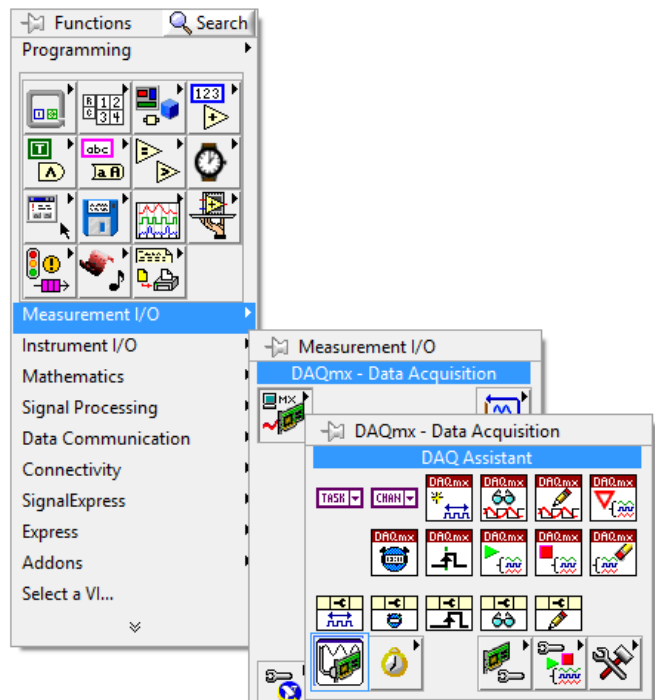


Compariranno due nuove finestre: "Front Panel" (sfondo grigio) e "Block Diagram" (sfondo bianco)



Clic con il tasto destro sul Block Diagram.  
Apparirà il riquadro che consente di scegliere le funzioni da utilizzare.

Cercare la funzione “DAQ Assistant”.  
Cliccare prima sull'icona e poi sul Block Diagram per rilasciare la funzione.

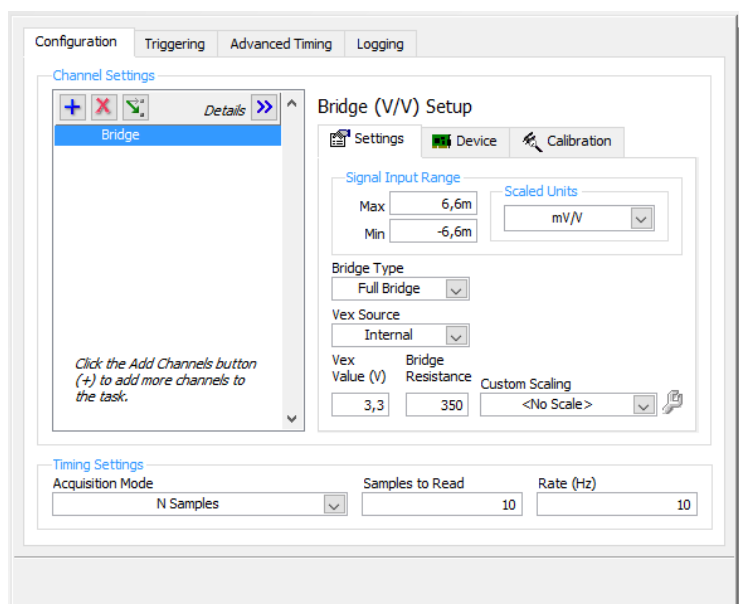


Doppio clic sull'icona del “DAQ Assistant” e seguire le indicazioni seguenti:

- Acquire Signals > Analog Input > **Bridge (V/V)**
- Supported Physical Channels > **ai0**

Nel pannello di configurazione, modificare i seguenti valori:

- Scaled Units = mV/V
- Signal Input Range = max 6.6m, min -6.6m
- Vex Value = 3,3 V
- Samples to Read = 10
- Rate = 10 Hz

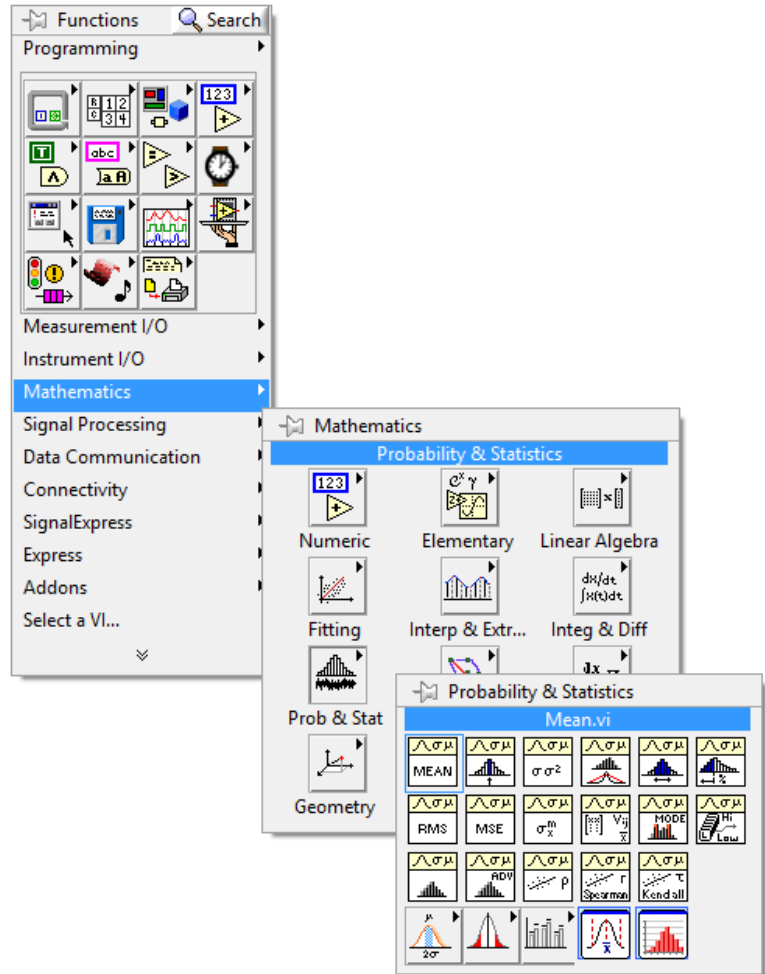


Clic con il tasto destro sul Block Diagram. Apparirà il riquadro che consente di scegliere le funzioni da utilizzare.

Cercare la funzione (sub-VI) “Mean.vi”. Cliccare prima sull’icona e poi sul Block Diagram per rilasciare la funzione.

Collegare l’uscita “data” del “DAQ Assistant” all’ingresso della funzione “Mean”.

Un opportuno elemento di conversione dei dati apparirà automaticamente. Tale elemento converte il segnale (contenente più informazioni) proveniente dalla scheda di acquisizione in un unico vettore di ampiezze del segnale.

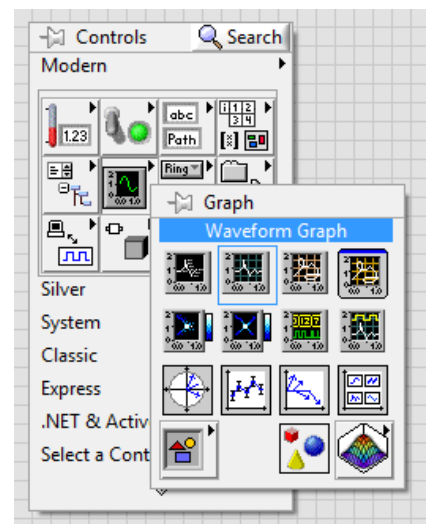


Clic con il tasto destro sul Front Panel. Apparirà il riquadro che consente di scegliere i controlli o gli indicatori da utilizzare.

Cercare l’indicatore “Waveform Graph”. Cliccare prima sull’icona e poi sul Block Diagram per rilasciare la funzione.

Sul Block Diagram comparirà automaticamente l’icona rispettiva del grafico appena inserito. Collegare l’ingresso di questa icona alla linea blue che collega il DAQ Assistant all’elemento di conversione. In questo modo il segnale viene direttamente visualizzato prima di essere convertito.

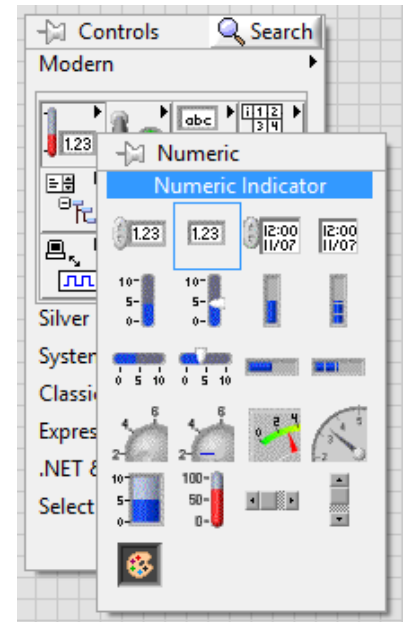
Doppio clic sul nome del grafico per cambiare la sua etichetta in “Signal”



Clic con il tasto destro sul Front Panel. Apparirà il riquadro che consente di scegliere i controlli o gli indicatori da utilizzare.

Cercare ed inserire l'indicatore numerico che consentirà di visualizzare il valore del segnale mediato. Contestualmente nel Block Diagram verrà creata un'icona corrispondente all'indicatore inserito sul Front Panel.

Doppio clic sul nome dell'indicatore per cambiare la sua etichetta in "Mean Voltage (mV)".

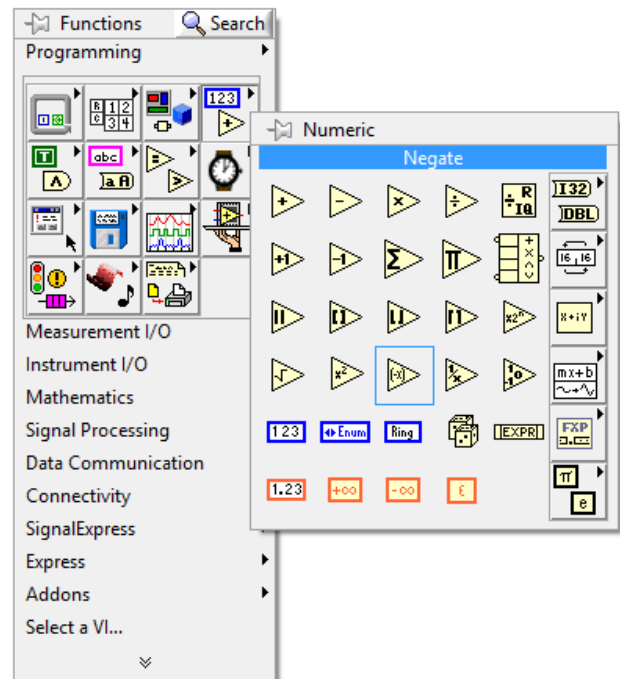


Clic con il tasto destro sul Block Diagram. Apparirà il riquadro che consente di scegliere le funzioni da utilizzare.

Cercare ed inserire la funzione "Negate".

Questa funzione consente di invertire il segno dei valori medi calcolati con la funzione "Mean". Essendo sollecitata in compressione, i valori di tensione letti dalla cella di carico risulteranno negativi. Si è scelto di renderli positivi per comodità di visualizzazione durante l'elaborazione successiva.

Collegare l'uscita della funzione "Mean" all'ingresso della funzione "Negate" e l'uscita della funzione "Negate" all'ingresso dell'indicatore numerico inserito nel passo precedente.



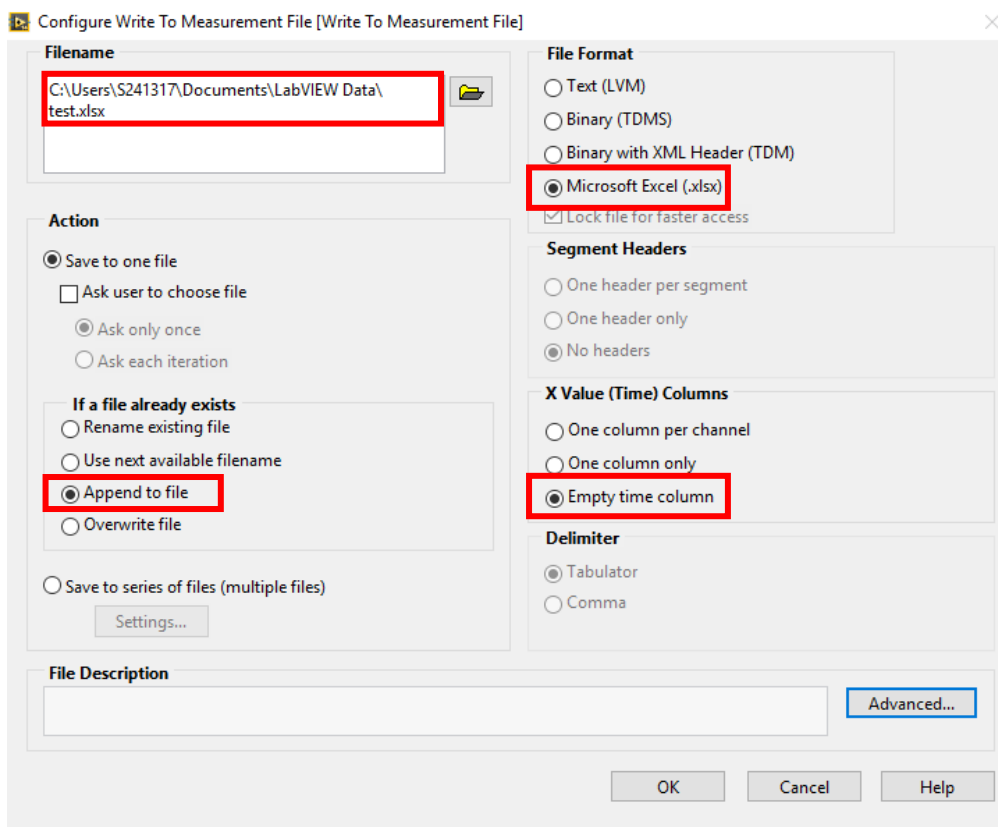
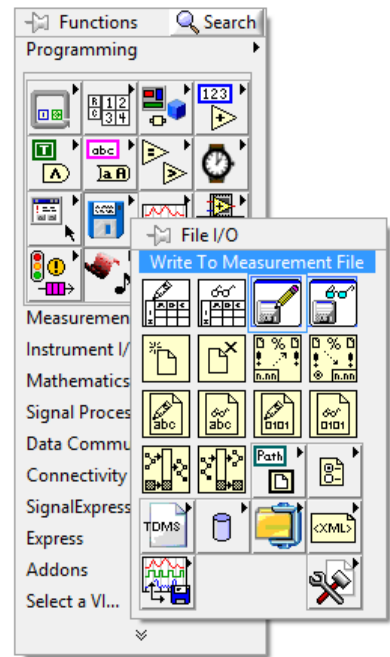
Clic con il tasto destro sul Block Diagram. Apparirà il riquadro che consente di scegliere le funzioni da utilizzare.

Cercare e inserire la funzione “Write To Measurement File”.

Una volta inserita, fare doppio clic sull'icona. Nella finestra di configurazione impostare gli stessi parametri mostrati nella figura in basso.

In tal modo, il software genererà un file Excel in cui si andranno a salvare le coppie di valori Peso – Tensione acquisiti. Il software aggiornerà il file Excel aggiungendo automaticamente le nuove coppie di valori acquisite durante la prova sperimentale.

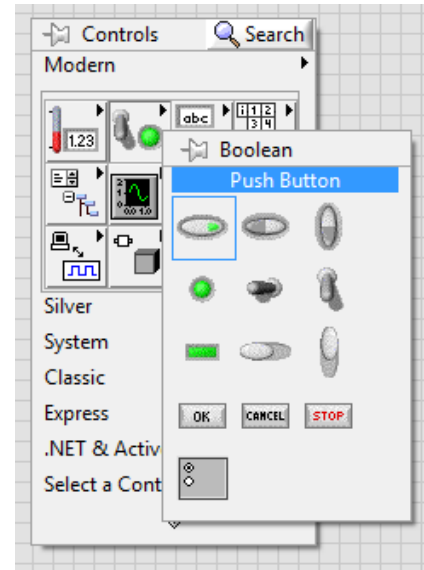
Fare attenzione al percorso di salvataggio del file in modo da andarlo a ritrovare successivamente.



Clic con il tasto destro sul Front Panel. Apparirà il riquadro che consente di scegliere i controlli o gli indicatori da utilizzare.

Cercare e inserire un "Push Button". Questo controllo consentirà di salvare i valori di tensione letti dalla cella di carico. Contestualmente nel Block Diagram verrà creata un'icona corrispondente al controllo inserito sul Front Panel.

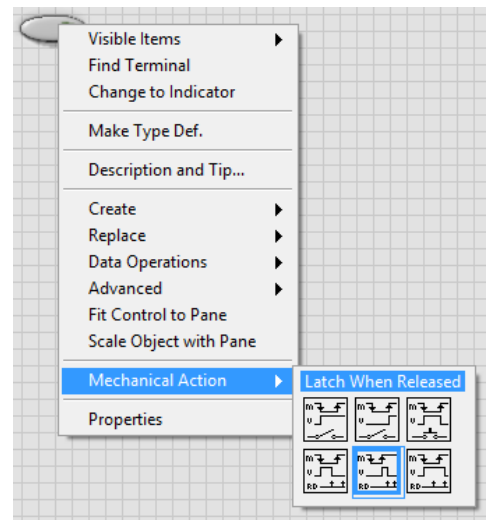
Doppio clic sul nome dell'indicatore per cambiare la sua etichetta in "SAVE".



Clic con il tasto destro sul pulsante appena inserito nel Front Panel.

Selezionare: Mechanical Action > "Latch When Release"

Questa opzione fa in modo che la richiesta di salvataggio dei valori venga recepita a partire dal momento di rilascio del pulsante. Una volta che lo stato attivo del pulsante viene rilevato e dunque l'operazione di salvataggio è stata effettuata, il pulsante tornerà nel suo stato disattivato. Questa procedura serve ad evitare il salvataggio di più coppie di valori in corrispondenza di un singola attivazione del pulsante "SAVE"

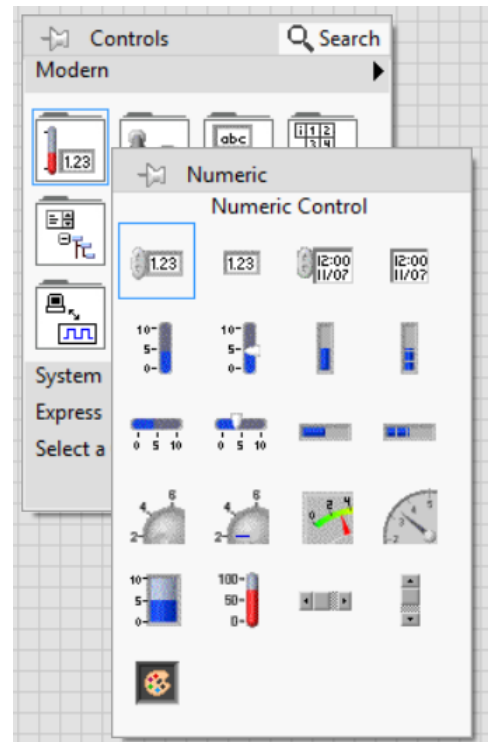


Nel Block Diagram, collegare l'uscita del pulsante "SAVE" all'ingresso "Enable" della funzione "Write To Measurement File". Passando il cursore sugli ingressi della funzione apparirà la relativa etichetta che consente di identificare il tipo di ingresso. L'ingresso "Enable" dovrebbe essere il secondo partendo dall'alto.

Clic con il tasto destro sul Front Panel. Apparirà il riquadro che consente di scegliere i controlli o gli indicatori da utilizzare.


Cercare ed inserire un "Numeric Control". Questo campo numerico servirà ad inserire il valore di peso (in grammi) del campione pesato.

Doppio clic sul nome dell'controllo per cambiare la sua etichetta in "Weight (g)".



---

Dal campo di ricerca (in alto a destra) del Block Diagram cercare la funzione "Merge Signals". Tale funzione comparirà sotto l'intestazione "palette". Puntarla con il cursore e selezionare "Drop".

Rilasciare l'icona  all'interno del Block Diagram.

Collegare un ingresso della funzione "Merge Signals" alla linea in uscita dalla funzione "Negate".

Collegare il secondo ingresso della funzione "Merge Signals" all'uscita del controllo "Weight (g)".

In fine, collegare l'uscita della funzione "Merge Signals" all'ingresso "Signal" della funzione "Write To Measurement File"

---

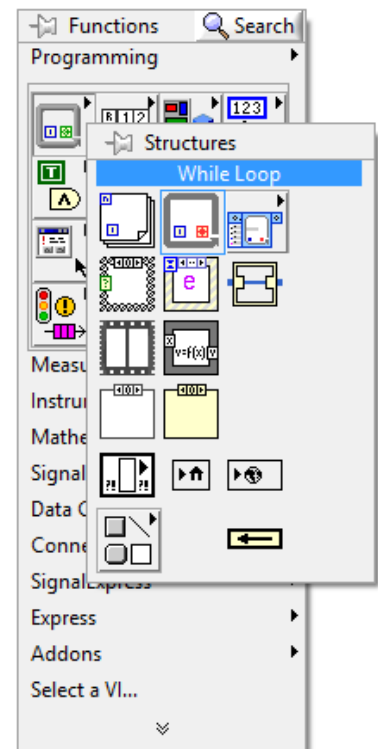


Il software costruito fino ad ora, in base alle impostazioni date, se avviato, acquisirà solo 10 campioni del segnale in tensione proveniente dalla cella di carico in un secondo, dopodiché il software si arresterà.

Per fare in modo che il software continui a campionare nel tempo è necessario fare ripetere l'operazione di acquisizione dei campioni. Questo può essere fatto racchiudendo lo schema costruito sul Block Diagram all'interno di un ciclo WHILE.

Clic con il tasto destro sul Block Diagram. Apparirà il riquadro che consente di scegliere le funzioni da utilizzare.

Cercare e selezionare la funzione "While Loop". Una volta selezionata la funzione, cliccare e trascinare il riquadro di selezione in modo da racchiudere tutto il diagramma costruito fino ad ora.




---

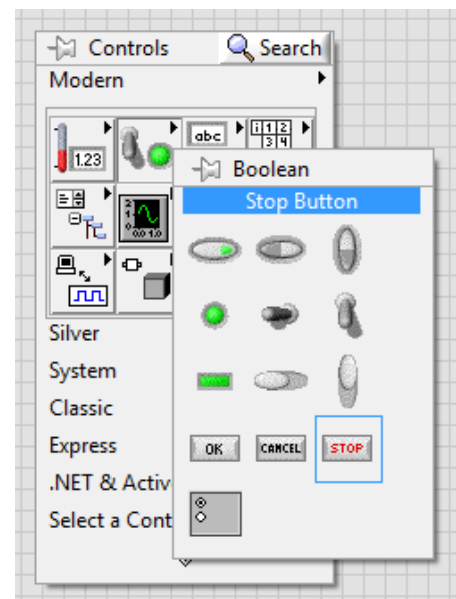
Clic con il tasto destro sul Front Panel. Apparirà il riquadro che consente di scegliere i controlli o gli indicatori da utilizzare.

Cercare e selezionare il controllo "Stop Button".

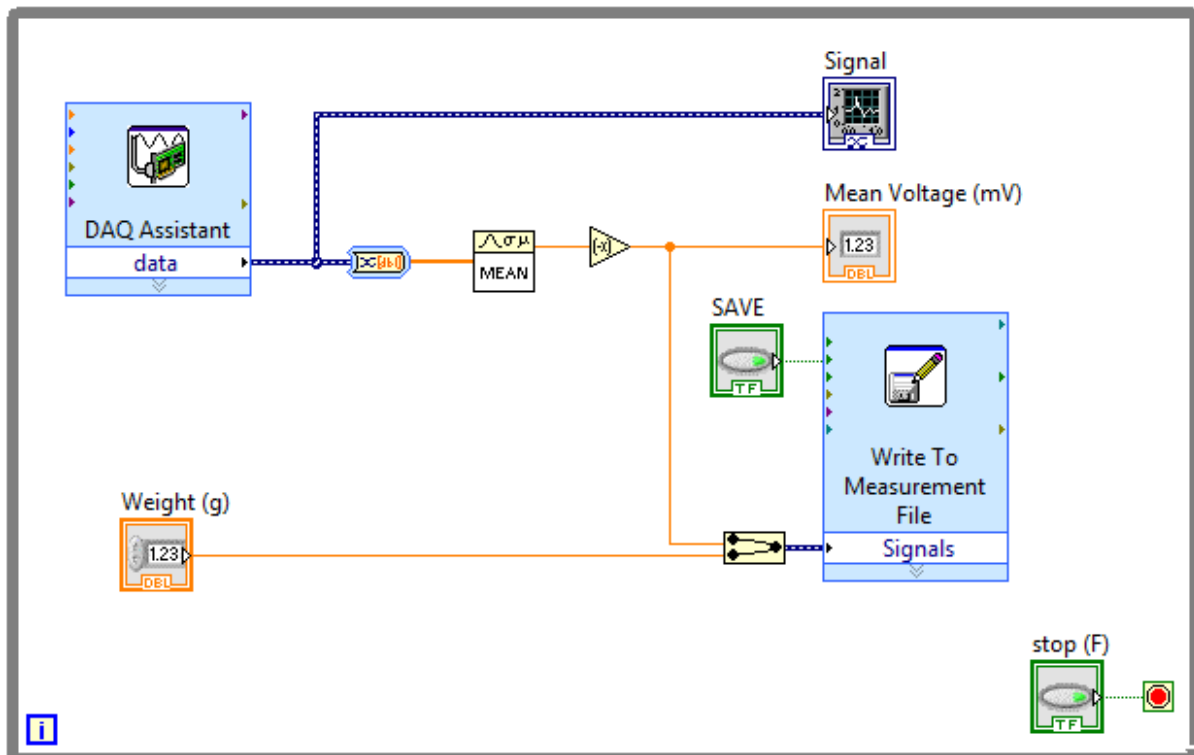
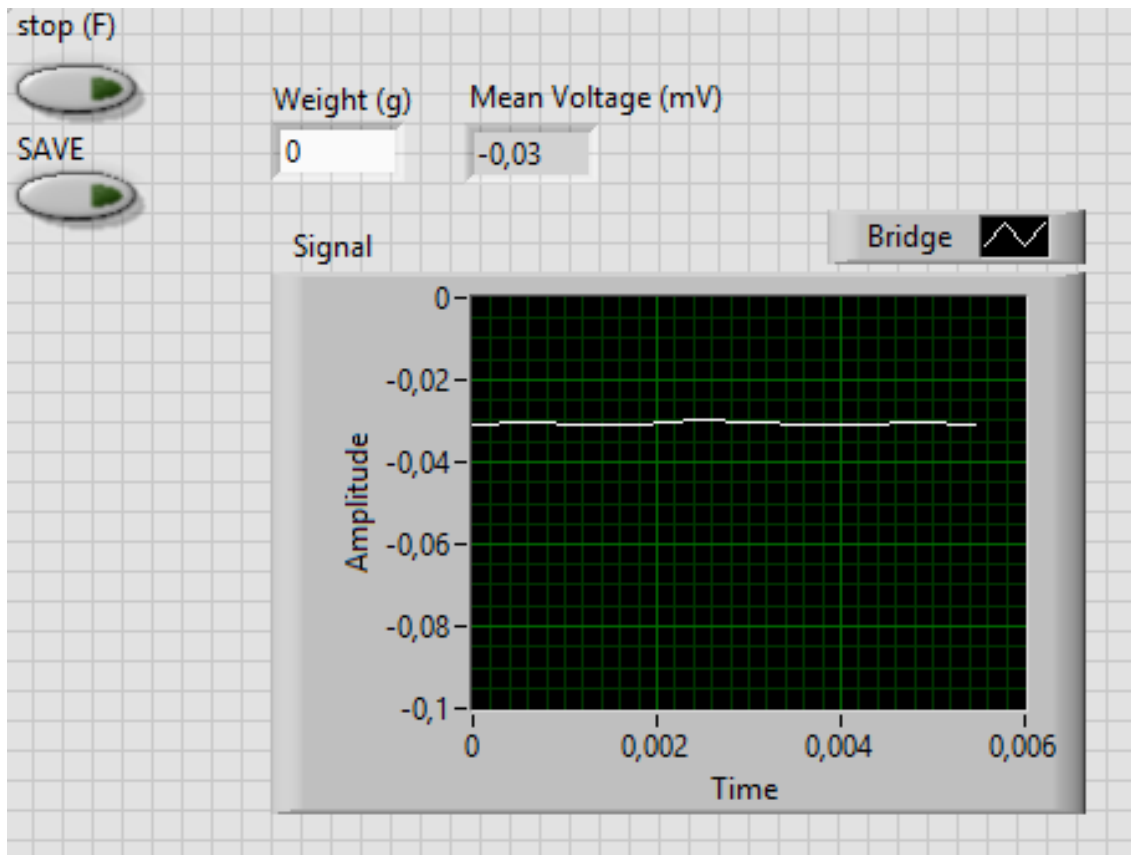
Questo controllo consentirà di arrestare il software.

Contestualmente nel Block Diagram verrà creata un'icona corrispondente al controllo inserito sul Front Panel.

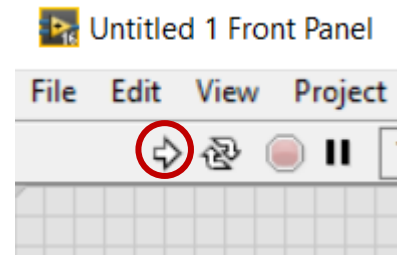
Collegare l'uscita del controllo all'ingresso dell'icona  presente in basso a destra nel "While Loop"



Di seguito sono riportati il Front Panel ed il Block Diagram del software sviluppato.



Avviare il software cliccando l'icona freccia presente in alto a sinistra nel Front Panel (o nel Block Diagram).



## 2.2. Acquisizione dei dati

Per l'acquisizione seguire la procedura riportata di seguito:

1. Acquisire il segnale di tensione senza alcun peso (perché?);
2. Posizionare il peso sulla cella di carico;
3. Osservare la variazione del segnale sul grafico nel Front Panel. Aspettare che il segnale si stabilizzi.  
 NOTA: Potrebbe essere utile ridurre la scala delle ordinate. Per fare questo, clic con il tasto destro sull'asse delle ordinate e deselezionare "Autoscale". Dopodiché, doppio clic sui valori estremi dell'asse delle ordinate e digitare il valore (con segno) opportuno per riuscire a visualizzare il segnale.
4. Cliccare il tasto SAVE.
5. Ripetere i passi 2, 3, e 4 cambiando il peso.
6. Al termine delle acquisizioni cliccare il tasto STOP per arrestare il software

## 2.3. Elaborazione dei dati

Per il calcolo delle somme rifarsi alle formule in basso. Con  $x$  si indica il valore di input del modello, con  $y$  invece la corrispondente uscita in tensione.

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \left( \sum x_i \right) \left( \sum y_i \right)}{n \sum x_i^2 - \left( \sum x_i \right)^2}$$

$$b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \left( \sum x_i \right) \left( \sum x_i y_i \right)}{n \sum x_i^2 - \left( \sum x_i \right)^2}$$

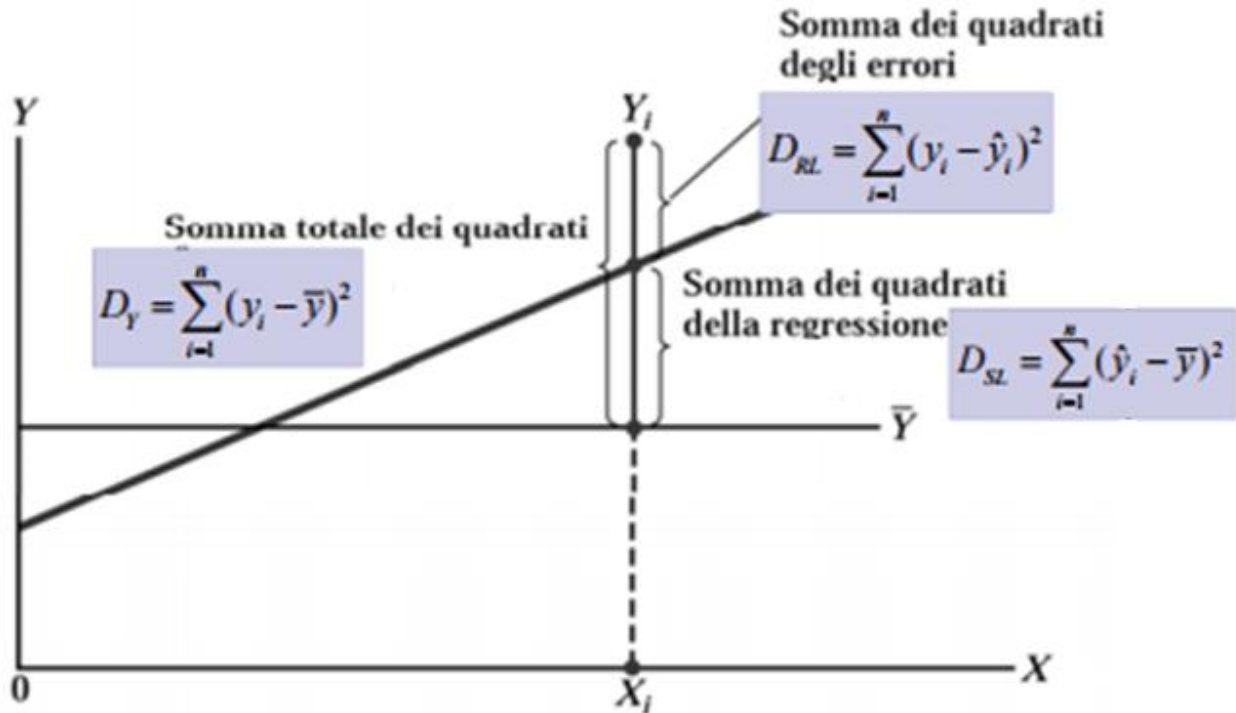
Calcolare quindi il valore di  $R^2$  come indicato nello script. Si noti che per il calcolo del parametro  $R^2$  si sfrutta la seguente relazione:

$$R^2 = 1 - \frac{SQE}{SQT}$$

Dove SQT è la somma dei quadrati totali data da:

$$SQT=SQR+SQE$$

Analizzando il grafico mostrato nell'immagine sottostante si definisce la somma dei quadrati totali come la devianza totale dal valore medio (valore medio calcolato su tutti i valori di output) del valore letto. Quindi la somma dei quadrati della regressione è la devianza del valore stimato, invece la somma dei quadrati degli errori è la devianza del valore letto dal modello.



Dopo aver individuato il valore di  $R^2$  procedere al calcolo dell'accuratezza ed esprimerlo in termini percentuali rispetto al valore di fondo scala della cella.

Lanciare Matlab® e dalla barra dei menu selezionare File ->Open

Cercare ed aprire il file "linear\_fitting.m" contenente lo script riportato di seguito:

```
clear all
close all
clc

% caricamento dati
dati=xlsread('test.xlsx');

% creazione dei vettori contenenti i valori di peso e tensione acquisiti
pesi =dati(:,2);
tensioni =dati(:,1);

% algoritmo per il calcolo dei parametri del modello lineare

n=length(pesi); % numero di campioni registrati
s1=0; % Inizializzazione delle variabili somma: tensione*peso
s2=0; % Inizializzazione delle variabili somma: peso
```

```

s3=0;      % Inizializzazione delle variabili somma: tensione
s4=0;      % Inizializzazione delle variabili somma: quadrato del peso

%calcolo delle sommatorie per stimare i parametri del modello
for i=1:n
    Calcolare le somme s1 s2 s3 s4 fare riferimento alla formula di cui sopra
end

%calcolo parametri del modello
a=(n*s1-s2*s3)/(n*s4-(s2)^2);
b=(s4*s3-s1*s2)/(n*s4-(s2)^2);

y=zeros(1,n);      %inizializzazione vettore
s=0;                %inizializzo variabile temporanea per somma
for i=1:n
    y(i)=a*pesi(i)+b; %calcolo valori del modello
    s=s+y(i);        %sommo tutti i valori ottenuti dal modello per il calcolo della media
end
sm=s/n;            %calcolo la media dei valori del modello

%calcolo del valore di R2
%calcolo i valori di errore
se=0;              %inizializzo somma dei quadrati degli errori
st=0;              %inizializzo somma totale dei quadrati
for i=1:n
    completare ricavando la somma dei quadrati degli errori e la somma totale dei quadrati,
    e quindi R2

end

Rq=                %calcolo il valore di R^2

% grafico dei valori di tensione in funzione dei valori di peso e modello
figure()
plot(pesi,tensioni,'o')
xlabel('peso')
ylabel('Tensione')
hold on
plot(pesi,y,'r');

```