

AA 2011-2012



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA TOR VERGATA
FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA
LAUREA TRIENNALE IN SCIENZE MOTORIE



Insegnamento di
BIOMECCANICA

Prof.ssa Maria Guerrisi
Dott. Pietro Picerno

Programma del corso

MODULO 1: Introduzione alla biomeccanica

MODULO 2: Misura e stima

MODULO 3: Centro di massa

MODULO 4: Analisi del salto verticale

MODULO 5: Analisi del cammino

MODULO 6: Macchine da muscolazione

Modulo 2

Misura e stima

Misura e stima

MISURA

misurare una grandezza significa determinarne il valore in rapporto ad un'altra grandezza prefissata della stessa specie, assunta come unità di misura

STIMA

stimare una grandezza significa ottenere l'informazione cercata a partire da informazioni di più semplice individuazione, utilizzando misure di altre grandezze e opportuni modelli matematici

Strumento di misura



Prendendo l'esempio del fruttivendolo, il misurando (in entrata) è il sacco di patate di cui il fruttivendolo è interessato a conoscere la massa, mentre la misura (in uscita) è il valore, in kg, della massa del sacco di patate.

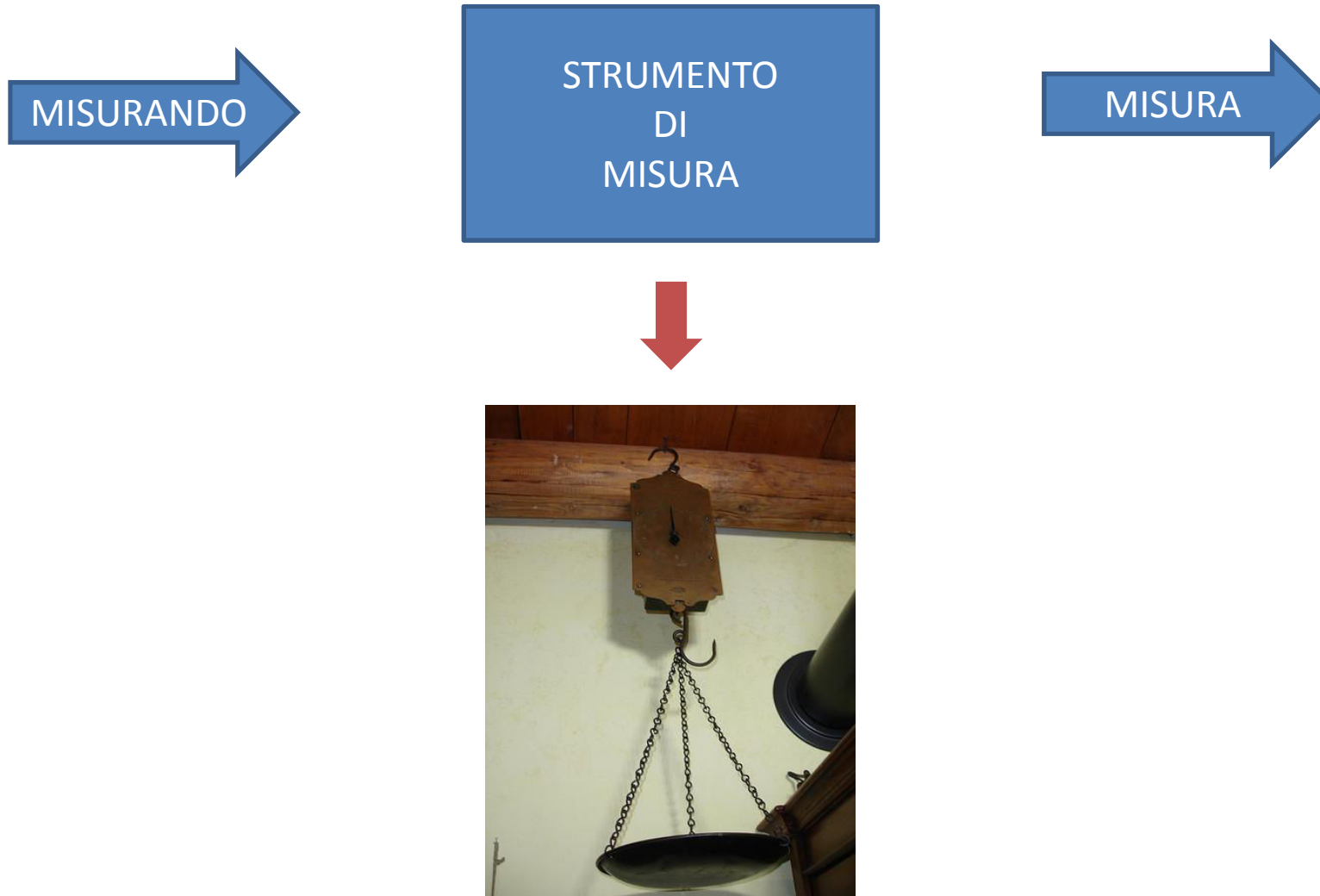
Lo strumento di misura con cui il fruttivendolo verrà a conoscenza di questa informazione è la bilancia a molla.

Domanda

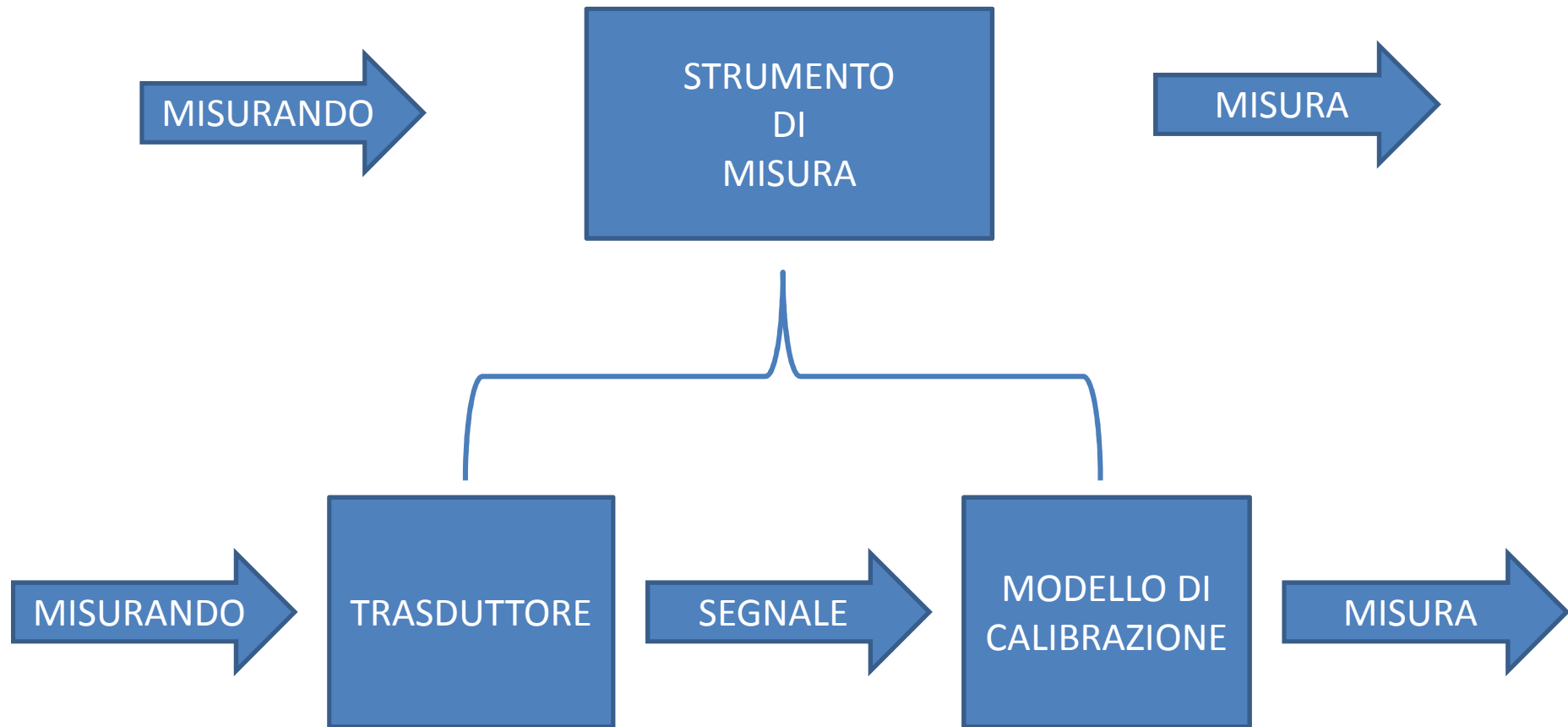
La bilancia a molla misura o stima la massa del sacco di patate?



Strumento di misura

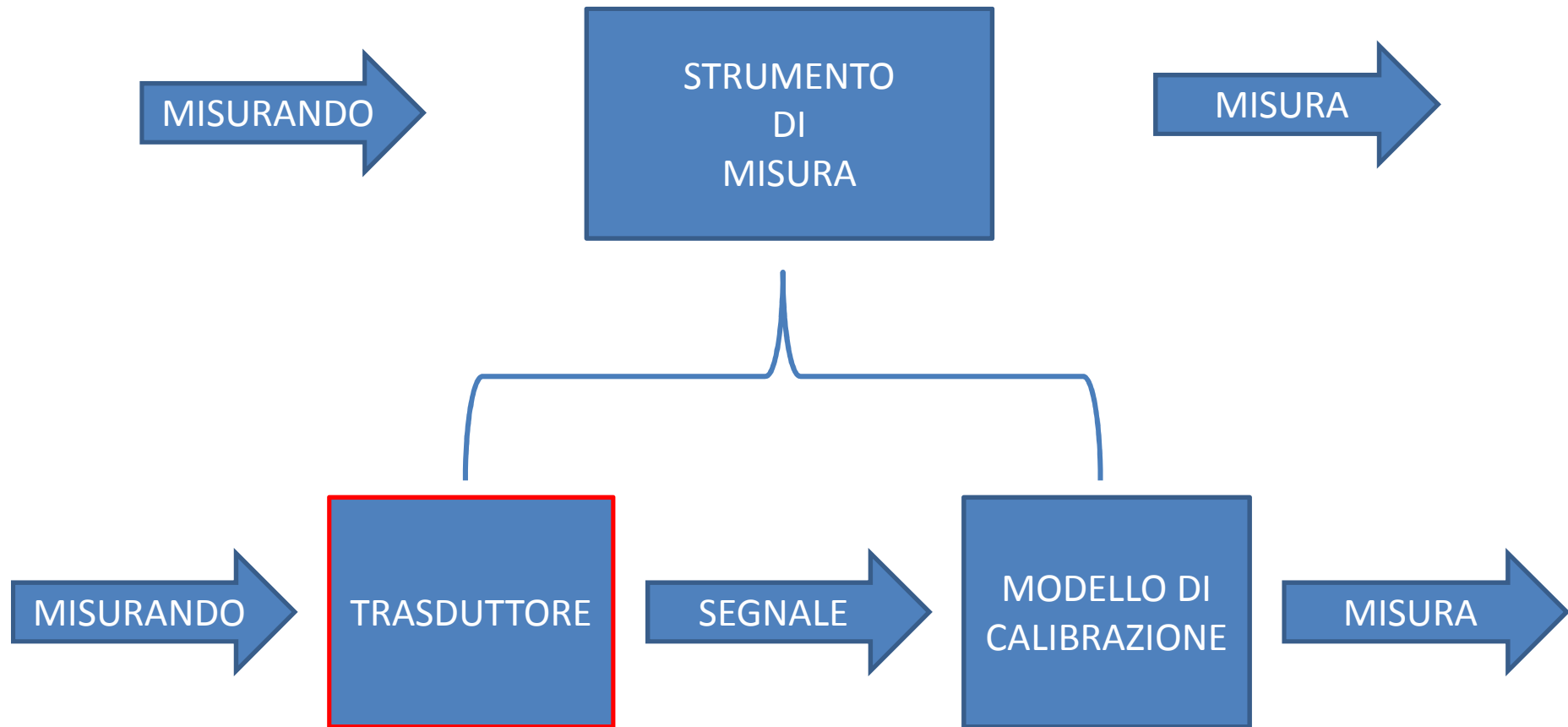


Strumento di misura

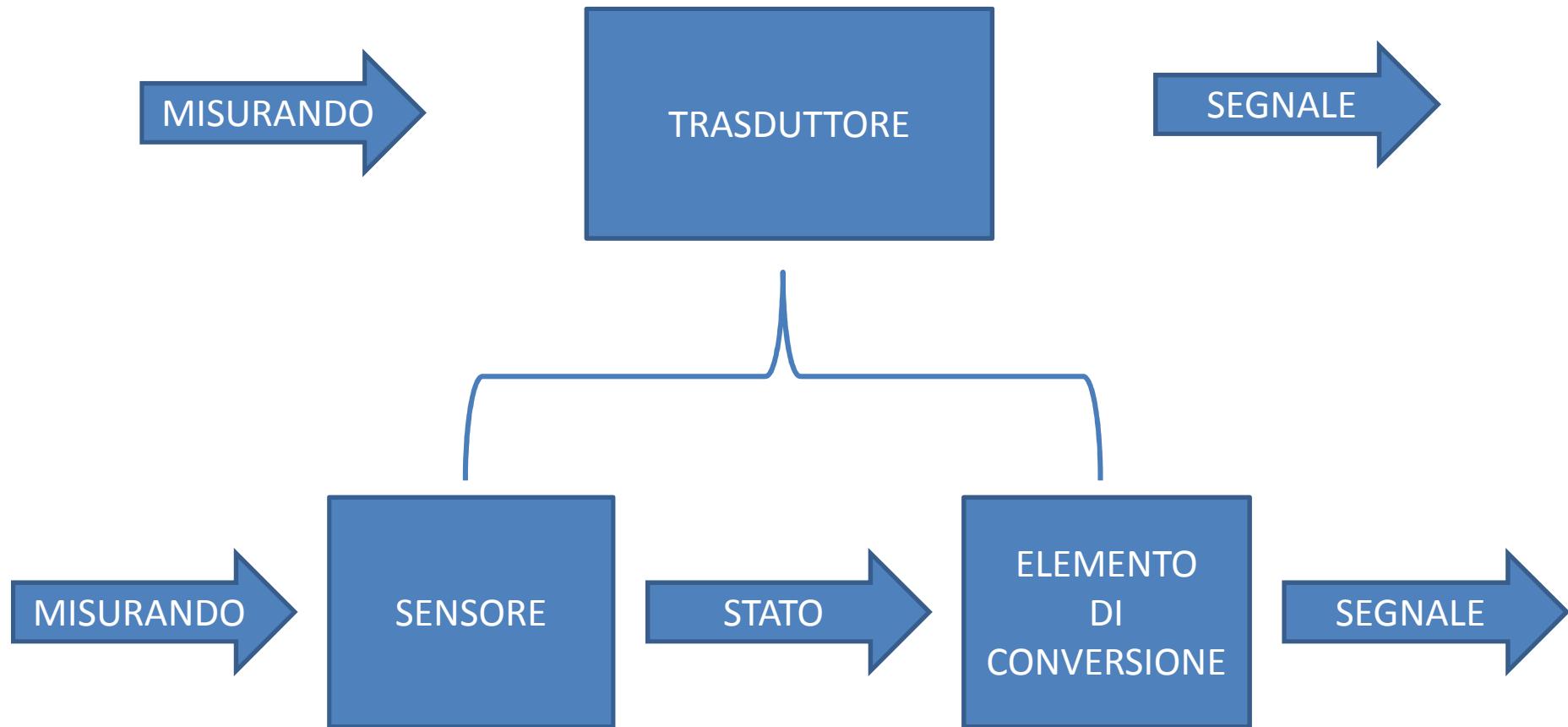


Uno strumento di misura è composto da un trasduttore e da un modello di calibrazione

Strumento di misura

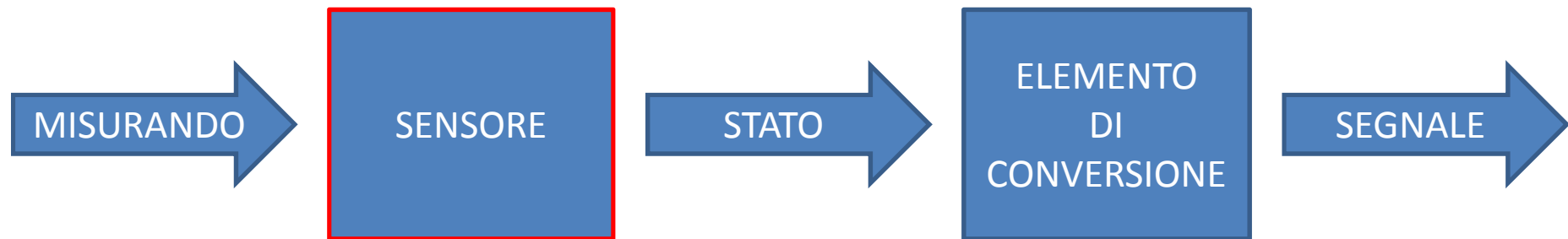


Strumento di misura



Il trasduttore è composto a sua volta da un sensore e da un elemento di conversione

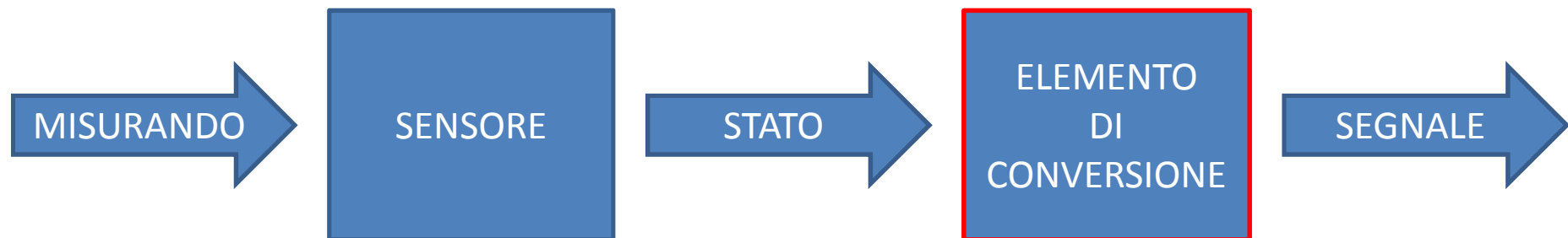
Il sensore



Il **sensore** è un sistema che reagisce alla sua esposizione al misurando subendo una variazione di stato.

Nel nostro caso, il sensore è la molla, la quale modifica il suo stato, cioè la sua lunghezza di riposo o iniziale (si deforma) quando viene esposto alla forza peso del sacco di patate.

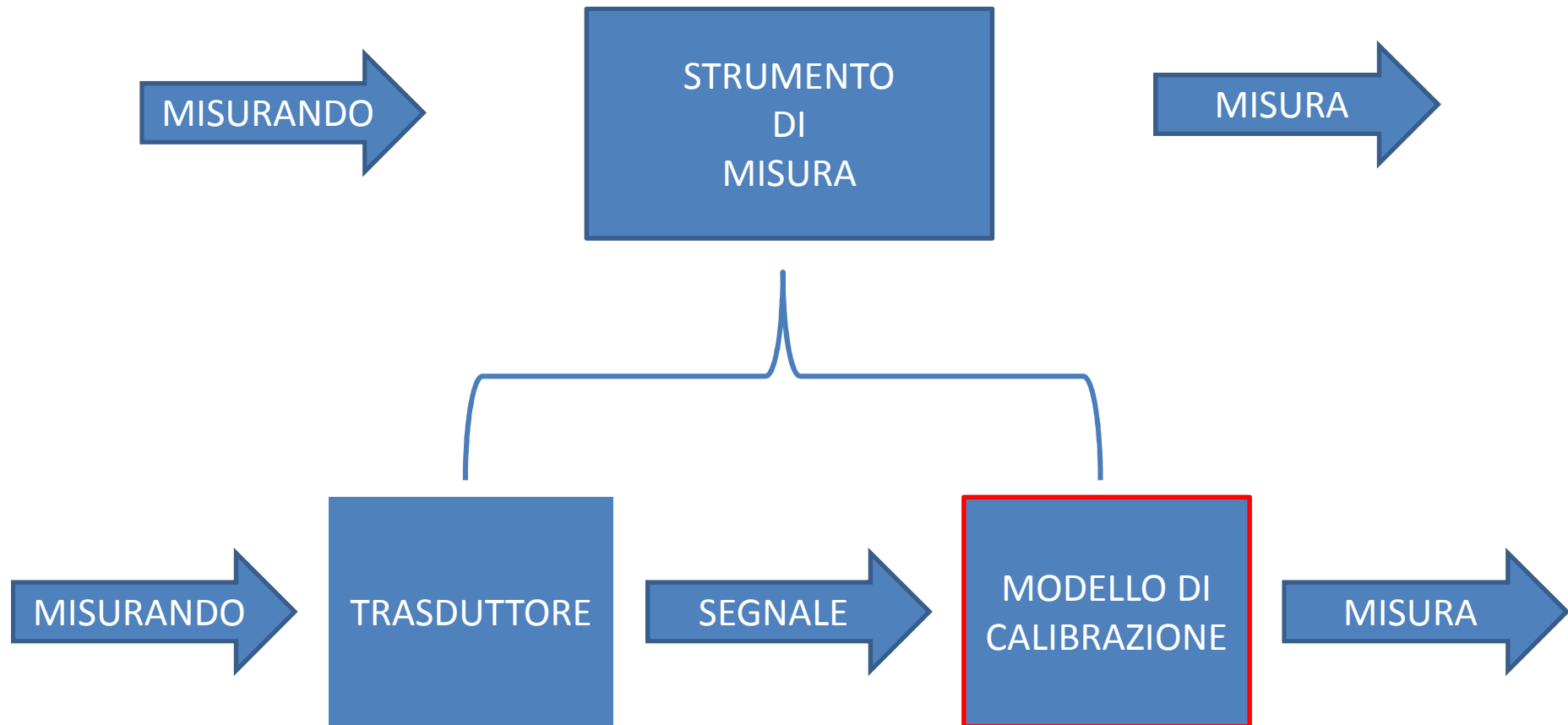
L'elemento di conversione



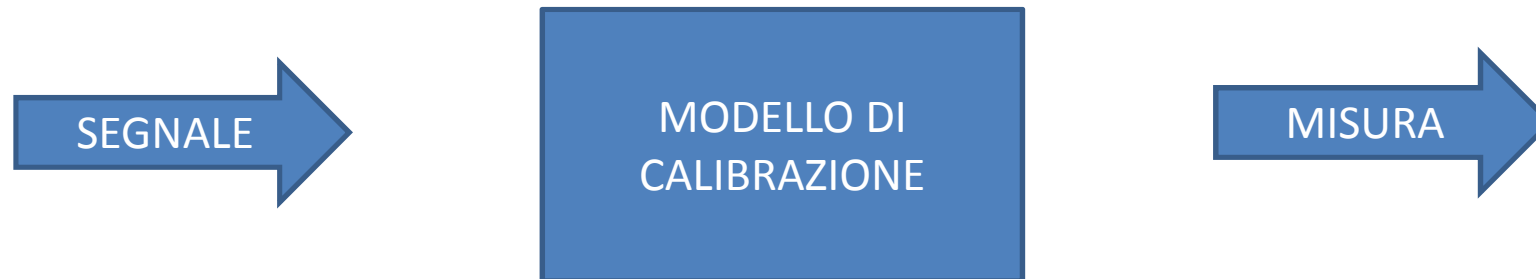
L'**elemento di conversione** è un sistema che trasforma (converte) la grandezza fisica che descrive la variazione di stato del sensore in una grandezza di cui già possediamo uno strumento di misura pratico, accurato ed economico.

Nel nostro caso, l'elemento di conversione può essere un semplice righello con cui possiamo misurare, in centimetri, la deformazione della molla sottoposta alla forza peso del sacco di patate

Strumento di misura



Modello di calibrazione

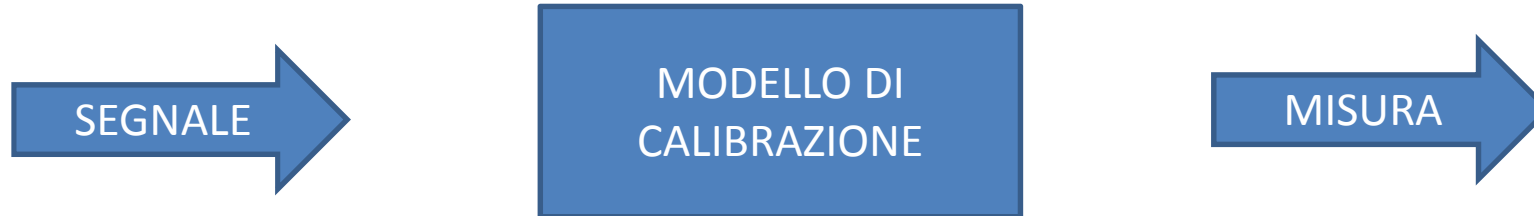


Il **modello** (matematico) **di calibrazione** è costituito da una funzione che stabilisce una relazione biunivoca fra segnale e misura.

I coefficienti di questa funzione sono detti parametri di calibrazione del modello.

La rappresentazione grafica del modello di calibrazione si dice curva di calibrazione.

Calibrazione



La calibrazione comporta la conoscenza a priori della misura.

Segnale e misura, in questa occasione, devono essere, dunque, ambedue noti.

Ciò vale a dire che, nel caso della nostra bilancia a molla, durante la calibrazione devono essere noti sia la massa che vorremmo in seguito misurare con la nostra molla (misura) che di quanto si deforma la molla in seguito alla sua esposizione a questa massa (segnale)

La calibrazione avviene solo una volta: una volta ottenuti i parametri di calibrazione, ci basterà solo l'elemento di conversione con cui ottenere il segnale, ovvero ci basterà solo misurare la deformazione della molla

Calibrazione

Si intende per calibrazione l'insieme di procedure che consentono di determinare il modello di calibrazione.

Per calibrare uno strumento di misura occorre perseguire alcuni obiettivi:

- identificare una misura nota e facilmente reperibile (in base al tipo di misurando)
- identificare un elemento di conversione (semplice e pratico) con cui poter misurare le variazioni di stato del sensore in risposta all'applicazione della misura nota
- determinare il tipo di funzione analitica che rappresenta il modello di calibrazione (curva di primo grado o retta, curva di secondo grado ecc...)
- determinare i parametri di calibrazione

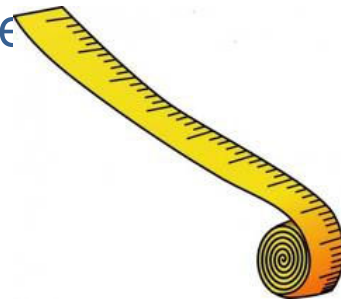
Calibrazione della bilancia a molla

- Se lo strumento di misura deve misurare la massa (misurando), allora la misura nota con cui poter calibrare la bilancia è facilmente reperibile:

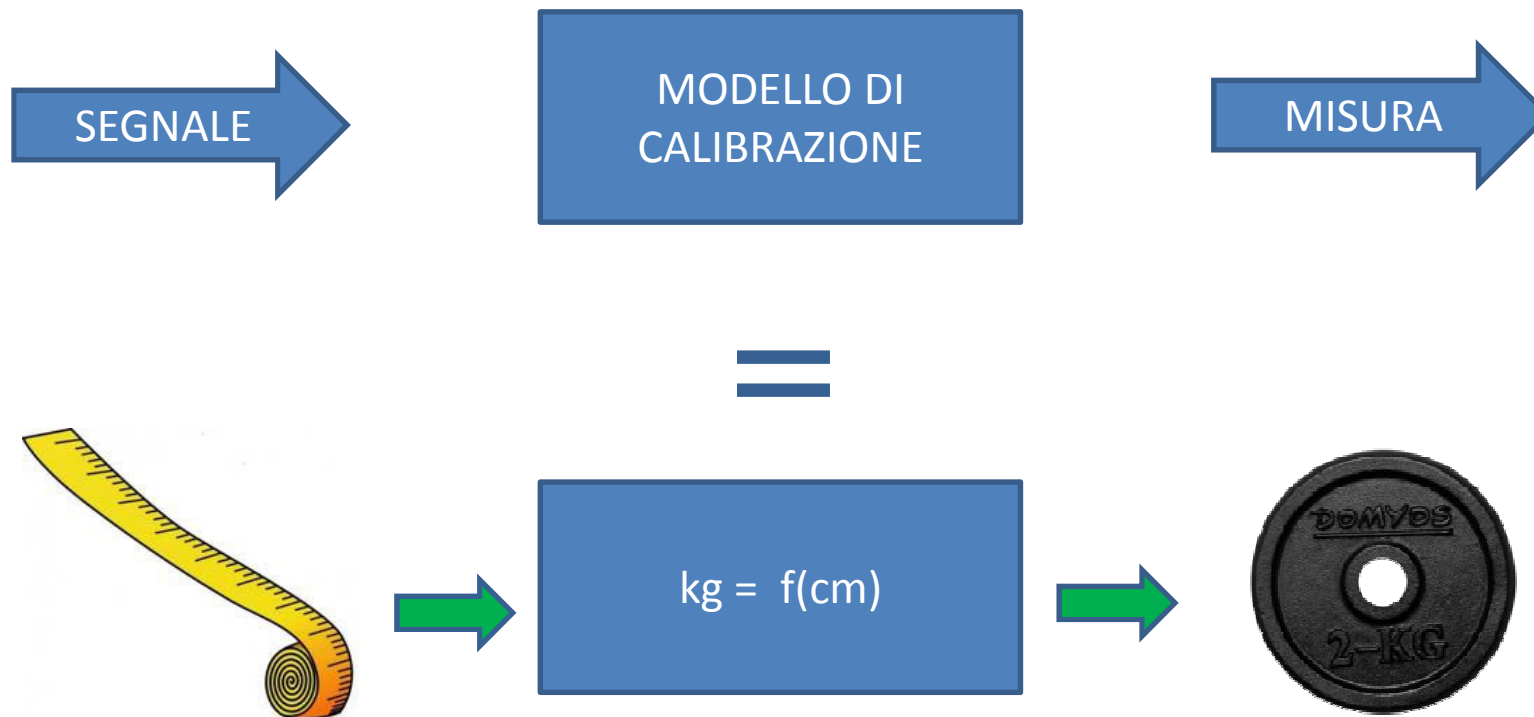


(il disco è tarato, cioè in fabbrica lo confrontano con un altro peso noto e certificano, cioè danno per sicuro, che la sua massa è, in questo caso, 2kg)

- Contemporaneamente alla conoscenza del valore della massa a cui viene esposto il nostro sensore (molla), dobbiamo ora misurare in maniera semplice il cambiamento di stato del nostro sensore, ovvero la variazione di lunghezza (deformazione) de



Calibrazione della bilancia a molla

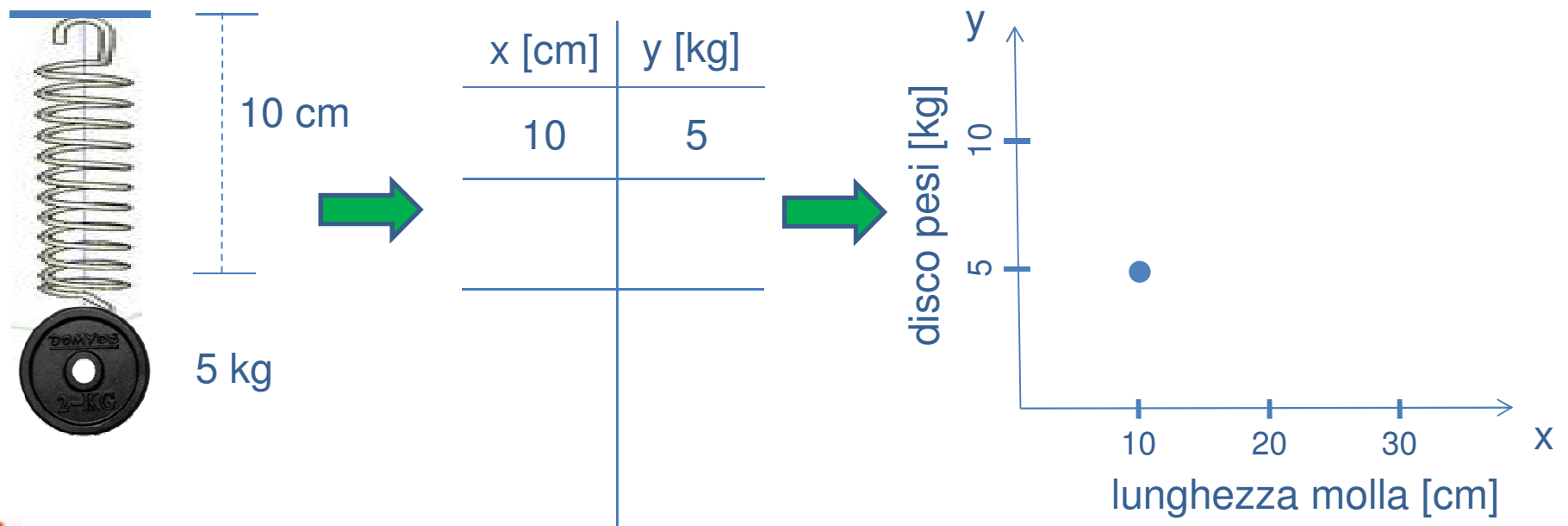


Dobbiamo determinare, mediante dati raccolti sperimentalmente, la relazione matematica (cioè la funzione) che lega la variazione della lunghezza della molla (in centimetri) al valore della massa applicata alla molla (in chilogrammi).

Calibrazione della bilancia a molla

In base alla funzione con cui decidiamo rappresentare il nostro modello di calibrazione, occorre ottenere alcuni dati sperimentali con cui andare a costruire la nostra curva di calibrazione.

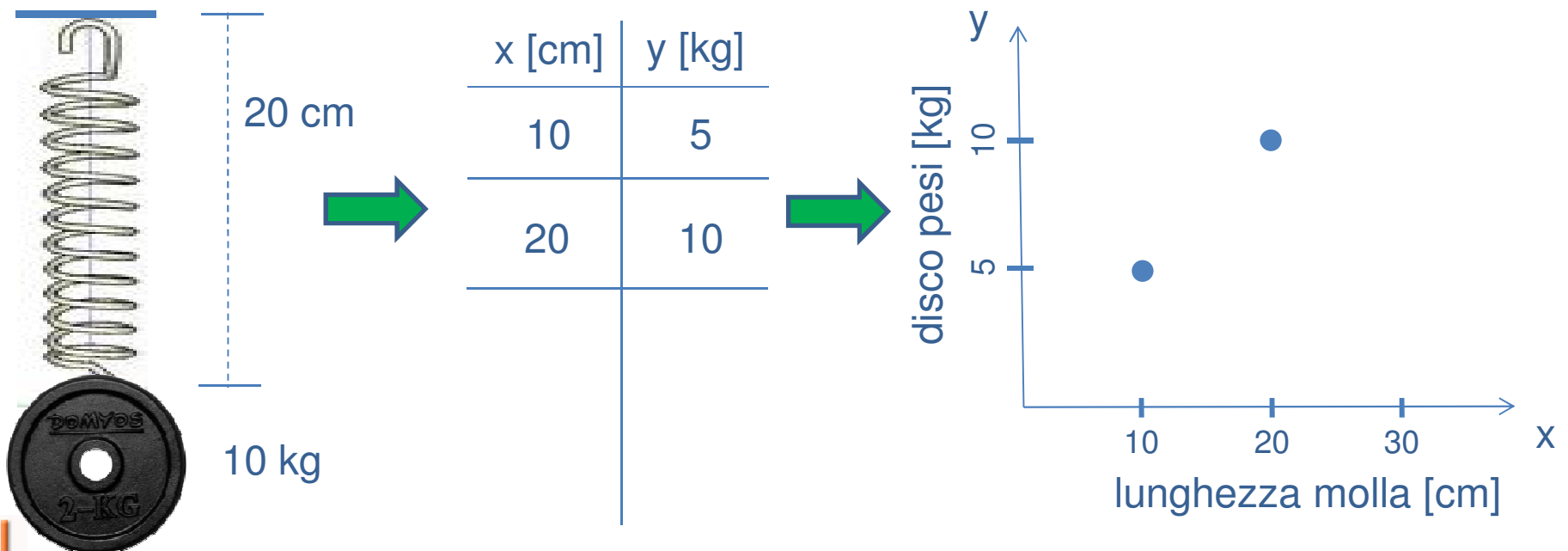
Ad esempio, se il volessimo rappresentare la relazione tra deformazione della molla (in centimetri) e massa dell'oggetto applicato (in chilogrammi) attraverso una retta, due punti (dati sperimentali) sono sufficienti:



Calibrazione della bilancia a molla

In base alla funzione con cui decidiamo rappresentare il nostro modello di calibrazione, occorre ottenere alcuni dati sperimentali con cui andare a costruire la nostra curva di calibrazione.

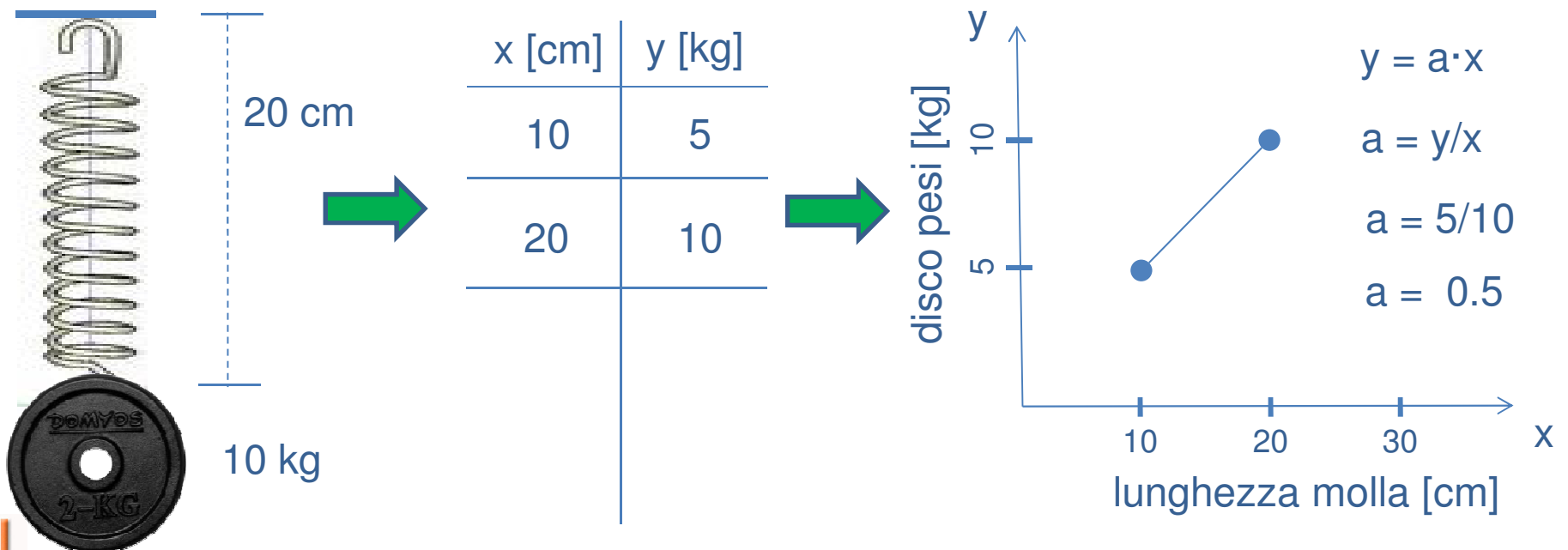
Ad esempio, se il volessimo rappresentare la relazione tra deformazione della molla (in centimetri) e massa dell'oggetto applicato (in chilogrammi) attraverso una retta, due punti (dati sperimentali) sono sufficienti:



Calibrazione della bilancia a molla

In base alla funzione con cui decidiamo rappresentare il nostro modello di calibrazione, occorre ottenere alcuni dati sperimentali con cui andare a costruire la nostra curva di calibrazione.

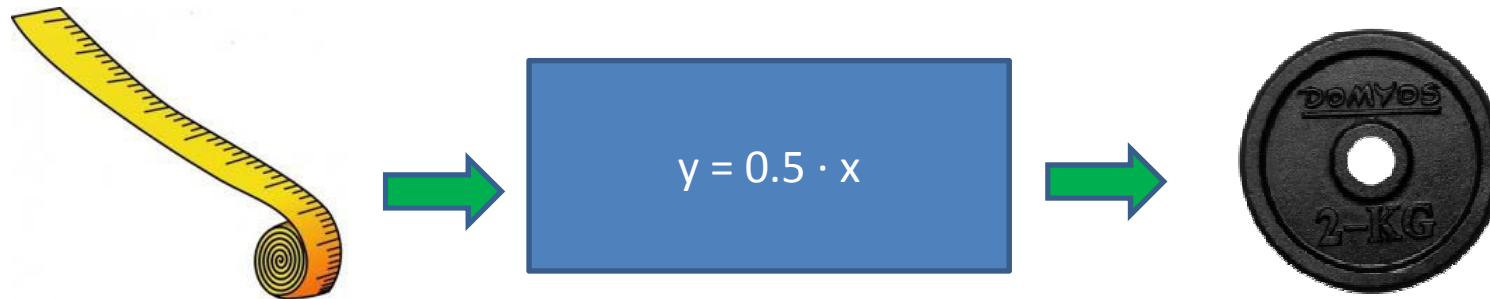
Ad esempio, se il volessimo rappresentare la relazione tra deformazione della molla (in centimetri) e massa dell'oggetto applicato (in chilogrammi) attraverso una retta, due punti (dati sperimentali) sono sufficienti:



Calibrazione della bilancia a molla

- il modello scelto è una retta (primo grado)
- “a” è il nostro parametro di calibrazione

Al nostro fruttivendolo basterà avere una fettuccia metrica per misurare la deformazione della molla e il parametro di calibrazione (conversione) “a” per trasformare i centimetri misurati in chilogrammi



Ad esempio, un sacco di patate che provocherà una deformazione della molla di 35 cm corrisponderà ad una massa di $0.5 \cdot 35 = 17 \text{ kg}$

Risposta

La bilancia a molla STIMA la massa del sacco di patate.
(la misura diretta non è la massa bensì la deformazione della molla)



Gli strumenti di misura sono generalmente venduti già calibrati.

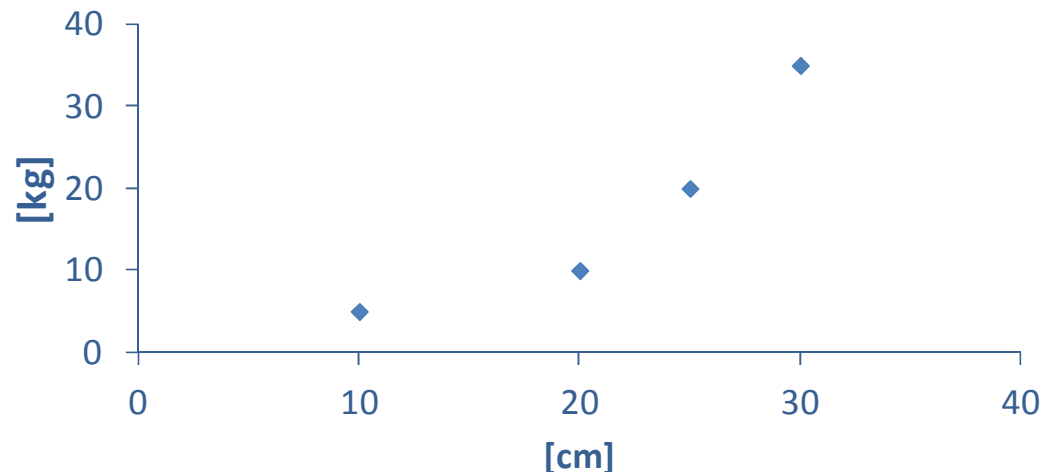
Nel nostro caso, la parte frontale della bilancia è contrassegnata da tacche che riportano i chilogrammi.

Sulla scelta del modello

La curva di calibrazione, cioè il modello o funzione, può essere di primo grado (retta) o di grado superiore a seconda del numero dei dati sperimentali acquisiti per la costruzione del grafico e dell'accuratezza che si vuole dare alla stima.

Se ad esempio mi limito ad usare solo due dati sperimentali, come ad esempio 5 e 10 kg, sono sicuro che la relazione continua ad essere valida se poi mi trovo a dover stimare oggetti superiori ai 10 kg? (range di calibrazione). E' ovvio che più dati sperimentali prendo e meglio sarà.

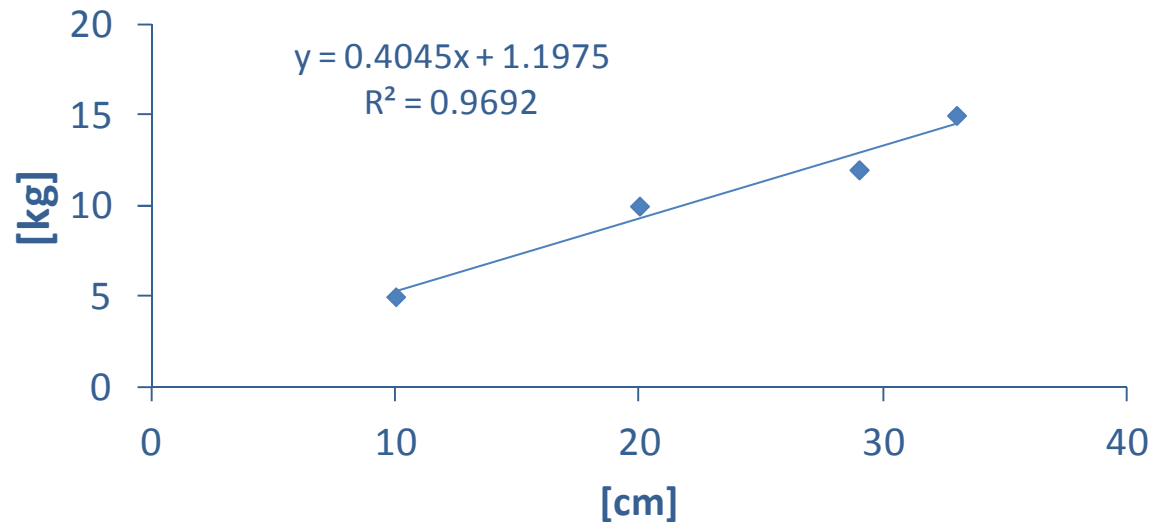
Sulla scelta del modello: una disposizione in grafico di dati sperimentali del genere siete sicuri possa essere “modellata” con una retta?



Errori intrinseci alla stima

Mettiamo il caso sia abbiamo a disposizione dati sperimentali presi in corrispondenza di 4 punti:

x [cm]	y [kg]
10	5
20	10
29	12
33	15



Usando Microsoft Excel costruiamo il grafico, inseriamo una linea di tendenza (retta) e chiediamo di esplicitare equazione della retta e coefficiente di determinazione.

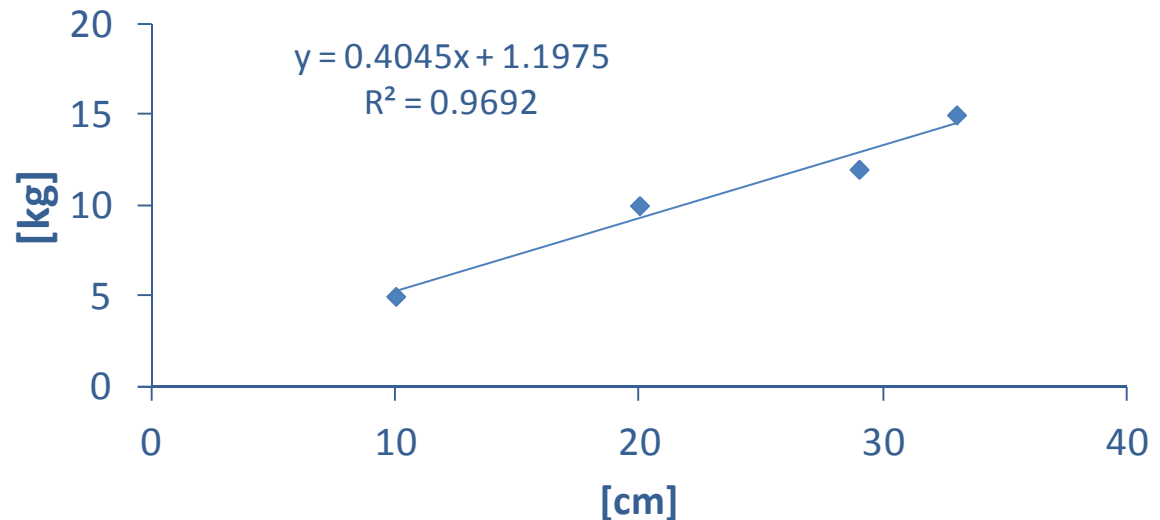
Il coefficiente di determinazione esprime la bontà della relazione tra variabile dipendente e indipendente e va da 0 (minima) a 1 (massima).

Più la distanza tra i punti e la retta è minima e più la relazione è quindi la stima sarà buona

Limiti dei modelli di calibrazione

Abbiamo calibrato la nostra bilancia molla e siamo pronti ad andare in piazza della frutta con la bilancia, una fettuccia metrica e l'equazione che sta sul grafico

x [cm]	y [kg]
10	5
20	10
29	12
33	15



Andiamo per pesare un sacco di patate e la deformazione della molla è proprio di 20cm, proprio come uno dei valori acquisiti sperimentalmente durante il processo di calibrazione. Vado comunque a svolgere l'equazione per $x = 20\text{cm}$ e ottengo:

$$y = 0.4045 \cdot 20 + 1.1975 \rightarrow y = 9.3 \text{ kg} !!$$

Cioè mi accorgo che il modello non restituisce 10 kg. Questo perché la retta cerca di passare vicino a più punti possibili, cioè minimizza la somma del quadrato delle distanze di ciascun punto dalla retta (metodo dei minimi quadrati).

Tipologie di errori

Sia la misura che la stima di una grandezza fisica comportano SEMRPE degli errori.

Errore casuale

il suo valore non è prevedibile utilizzando le leggi della fisica, è spesso considerato a valore medio nullo.

Errore sistematico

è un errore che si ripete ad ogni misura, in generale causato da imprecisioni nella calibrazione dello strumento.

Artefatti:

sono errori associati alle condizioni di misura, spesso dovuti a eventi indesiderati che si sovrappongono al fenomeno analizzato.

Un esempio di artefatti

ARTEFATTI DI PELLE

Prendiamo il caso dell'analisi del cammino, dove è fondamentale misurare la posizione di repere anatomici (corrispondenti a punti ossei palpabili e ben identificabili come ad esempio, gran trocantere, malleolo, epicondilo ecc) per poter stimare la cinematica articolare come visto nel relativo modulo.

Mettiamo il caso che la misura della posizione dei repere venga fatta con videoanalisi (fotogrammetria).

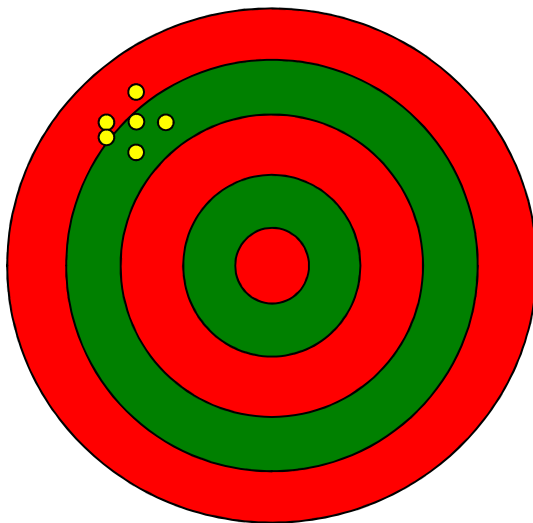
L'operatore si facilita l'identificazione in ciascun fotogramma posizionando dei marcatori attaccati sulla pelle in corrispondenza dei ciascun repere. L'identificazione avviene e la collocazione del marcatore avviene a soggetto fermo.

Durante il cammino (o corsa ancor peggio) il movimento di pelle e tessuti molli sottostanti provocano una variazione di posizione tra marcatore esterno e repere osseo sottostante: il marcatore identificato non corrisponde più al repere osseo; ne consegue un errore nella stima di cinematica articolare.

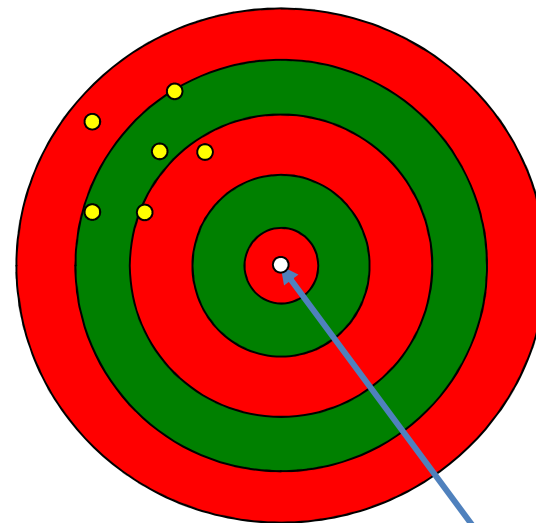
Precisione

La **precisione** è associata alla ripetibilità della misura/stima, come tale dipende essenzialmente dall'errore casuale.

più precisa



meno precisa

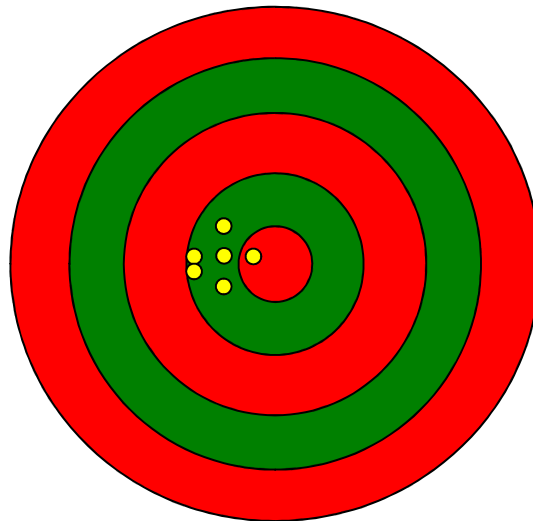


valore vero

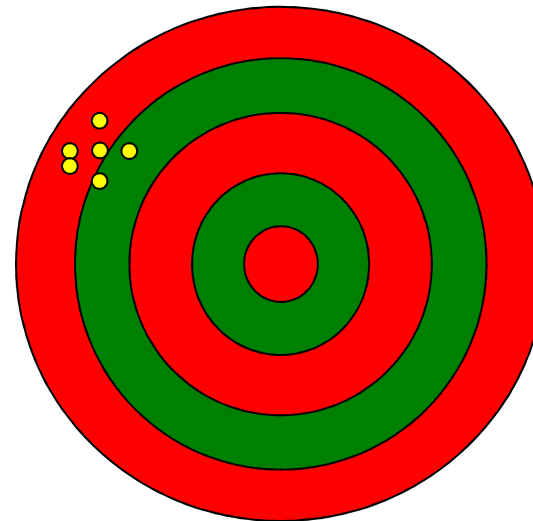
Accuratezza

L'**accuratezza** è associata alla distanza della misura dal valore vero della grandezza misurata/stimata, come tale dipende essenzialmente dall'errore sistematico.

più accurata



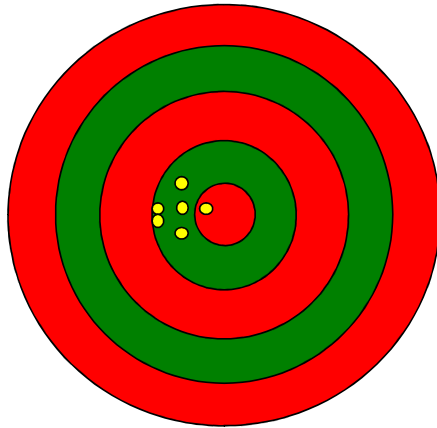
meno accurata



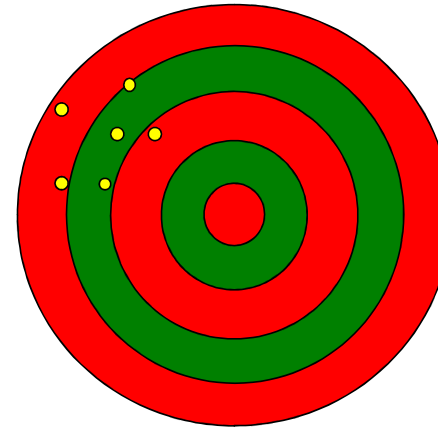
(stessa precisione)

Accuratezza e precisione

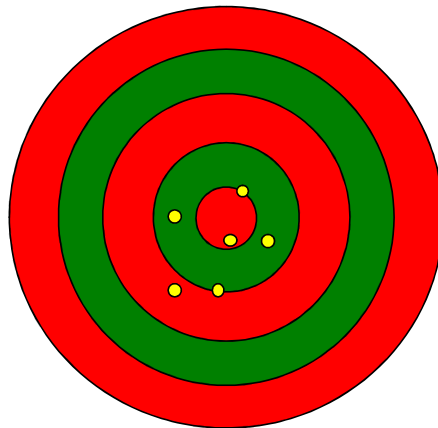
accurata e precisa



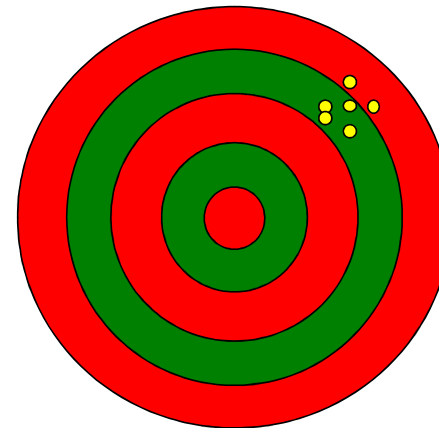
non accurata, non precisa



accurata e non precisa

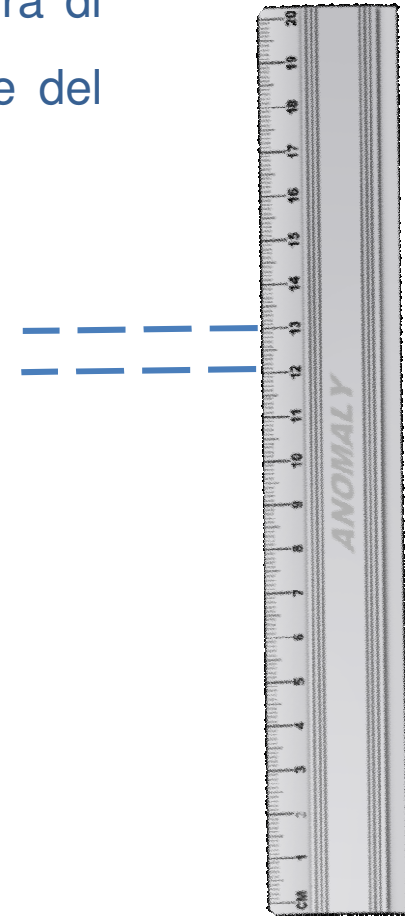


non accurata e precisa



Risoluzione

La **risoluzione** di uno strumento di misura è costituita dalla più piccola variazione del misurando (espressa nella unità di misura di quest'ultimo) in grado di generare una variazione apprezzabile del segnale.



Fondo scala

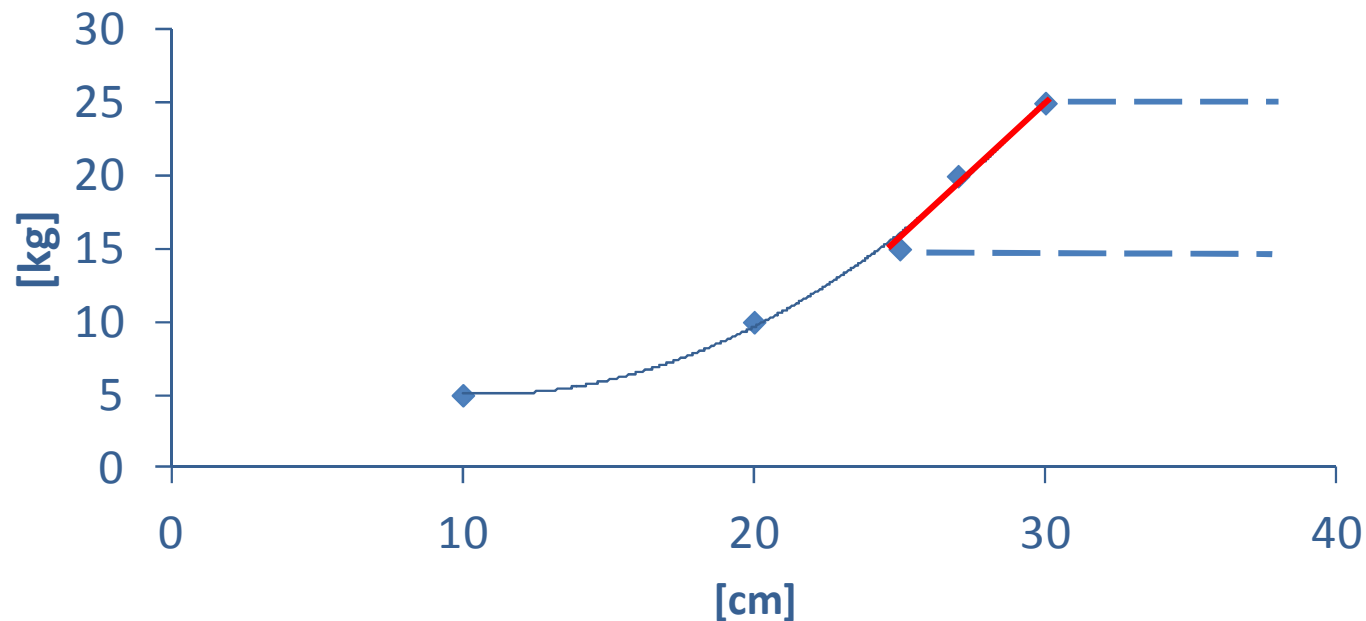
Il **fondo scala** rappresenta il limite superiore del campo di misura.



Linearità

La **linearità** di uno strumento è legata alla linearità della sua curva di calibrazione.

L'intervallo di punti all'interno del quale la curva di calibrazione (relazione tra variabile dipendente e indipendente) è lineare:



Frequenza di campionamento

La frequenza di campionamento è legata a quanti dati lo strumento è in grado di registrare nell'unità di tempo (1 secondo). Si misura in Hertz (Hz).

Ad esempio, le videocamere commerciali vanno a 25 fotogrammi al secondo, vale a dire scattano (e quindi misurano) 25 immagini al secondo. La loro frequenza di campionamento è quindi di 25 Hz. Ogni fotogramma quindi dura un venticikesimo di secondo e cioè 0.04 secondi e cioè 4 centesimi di secondo ($1/25$), che rappresenta il famoso “delta t”.

Una pedana dinamometrica che campiona a 100 Hz vuol dire che registra la forza 100 volte in un secondo.

Frequenza di campionamento

Il concetto di quantità media e istantanea (ad esempio, velocità media Vs. velocità istantanea) è strettamente legato alla frequenza di campionamento dello strumento. Più la frequenza è alta e più la grandezza misurata sarà istantanea.

Sinonimo di frequenza di campionamento è la risoluzione temporale della misura (che si affianca a quella spaziale, vedi slide precedente)

Domanda

Una pedana dinamometrica con frequenza di campionamento di 10 Hz è sufficiente per misurare le forza di reazione al suolo in un gesto come lo sprint?

No, perché con 10 Hz probabilmente perdo delle informazioni che succedono tra un campione e l'altro in quanto rapide variazioni di velocità come gli impatti avvengono in un intervallo di tempo minore.

Modulo 2: apprendimento

Dopo questa lezione dovrete conoscere:

- la differenza tra misurare e stimare una grandezza fisica
- i principali componenti (e le relative funzioni) di cui uno strumento di misura è composto
- cosa vuol dire calibrare uno strumento di misura
- quali sono i passi da compiere per calibrare uno strumento di misura
- quali sono i limiti dei modelli di calibrazione
- quali sono i tipi di errore
- quali sono le principali caratteristiche degli strumenti di misura