



UNIVERSITÀ DI PISA

*Corso di Laurea in Scienze Motorie*

*Tecnologie e strumentazione biomedica*

## **Caratteristiche della strumentazione biomedica**

*Alberto Macerata*

**Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione**

*UNIFI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedica*

## **Strumentazione biomedica**

Per “strumentazione biomedica” intendiamo:

*dispositivi meccanici e/o elettronici da impiegare in ambito clinico, o come ausilio all'attività di ricerca nell'ambito delle scienze biologiche e fisiologiche.*

La strumentazione biomedica può essere classificata in vario modo; per esempio in base allo scopo clinico, alla zona dell'organismo interessata, al tipo di analisi effettuata o alla fonte di energia utilizzata, al campo di applicazione, ecc.

In riferimento alla prima modalità citata, l'ambito clinico, la strumentazione può essere

- *diagnostica*
- *terapeutica*
- *riabilitativa*

*UNIFI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedica*

# Strumentazione per le Scienze Motorie

In questo Corso di Laurea, noi siamo interessati a quel particolare tipo di strumentazione biomedica che viene impiegata nell'ambito delle Scienze Motorie. Anche in questo caso, in modo simile all'ambito clinico, possiamo distinguere strumentazione

- *valutativa*
- *preparatoria*
- *riabilitativa*

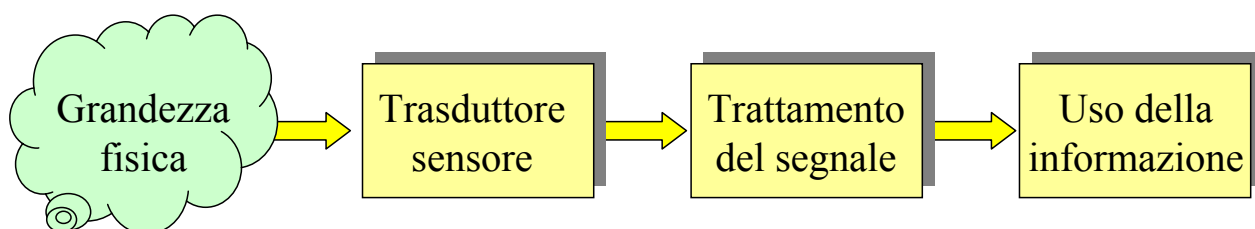
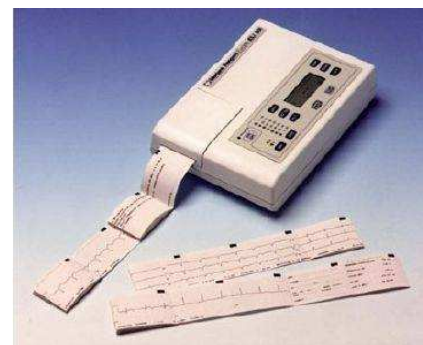
In ogni caso, anche facendo riferimento a strumentazione dedicata all'ambito "preparatorio" o "riabilitativo", la componente "valutativa" è sempre presente.

E' sempre necessario "valutare" la condizione di un soggetto prima o durante l'esecuzione di un esercizio fisico o riabilitativo. Ed è altresì necessario "valutare" i parametri strumentali coinvolti nell'esercizio.

Nel nostro caso, "valutare" significa "**misurare**" quest'insieme di parametri, del soggetto e dei dispositivi associati.

*UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

## Schema di una catena di misura



*UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

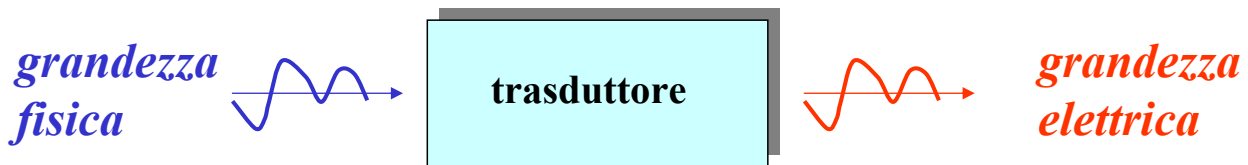
# Sensori e trasduttori

La maggior parte della strumentazione biomedica è elettronica e tratta **segnali elettrici**.

Se, per esempio, devo analizzare un biopotenziale devo avere un “qualcosa” che sia in grado di trasferire il potenziale **elettrico** dal paziente allo strumento, cioè devo usare un *sensore*, ed in particolare un *elettrodo*.

Se invece devo analizzare un segnale di pressione, o un movimento, o una accelerazione, o una forza, o una temperatura (tutti segnali **non elettrici**) devo prima convertirli mediante un sensore che agisce da trasduttore e che è in grado di fornire un segnale elettrico proporzionale allo stimolo originale.

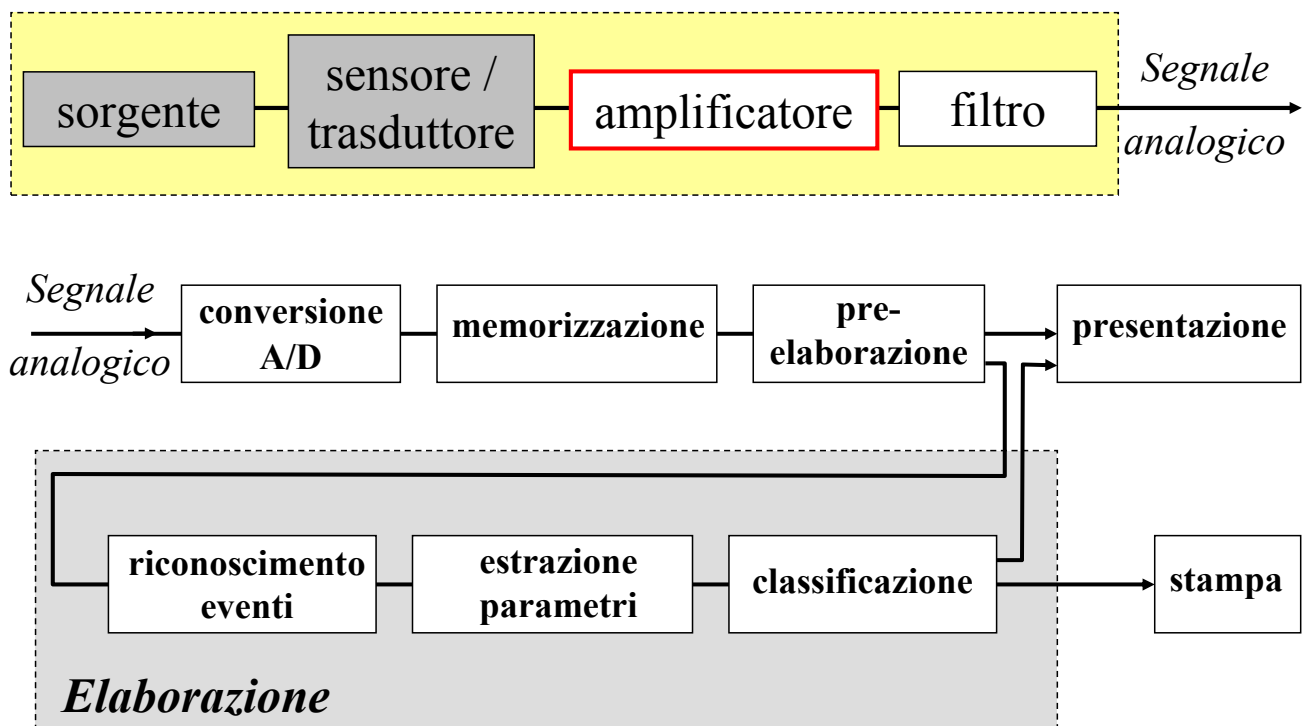
Nel nostro contesto, si definisce *trasduttore* un dispositivo che converte una qualsiasi forma di energia prodotta da uno stimolo fisico nel suo corrispondente elettrico.



UNIPI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

# Strumento di misura

## Blocchi funzionali



UNIPI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

# Caratteristiche della strumentazione

Per paragonare le caratteristiche di strumenti diversi occorre disporre di descrittori quantitativi della risposta dello strumento rispetto ad un dato segnale in ingresso.

Tali caratteristiche vengono solitamente divise in:

- *caratteristiche statiche*
- *caratteristiche dinamiche*

J.G.Webster: Medical Instrumentation, Application and Design  
Capitolo 1 Basic Concepts of Medical Instrumentation

*UNIFI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

## Caratteristiche statiche

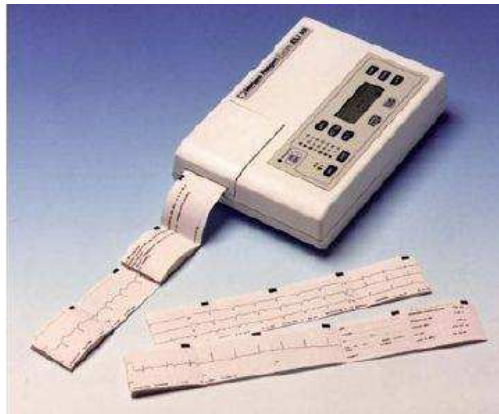
Le *caratteristiche statiche* descrivono il comportamento dello strumento di misura rispetto ad un ingresso stazionario, cioè **costante nel tempo**, o rispetto ad un ingresso che varia molto lentamente rispetto alle costanti di tempo di ingresso dello strumento.



*UNIFI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

# Caratteristiche dinamiche

Le *caratteristiche dinamiche* descrivono la risposta di un strumento di misura rispetto ad un **ingresso variabile nel tempo**, per esempio in strumenti destinati a misurare segnali (Elettroencefalografi, Elettromiografi, Elettrocardiografi, Monitor in Unità di Cura Intensiva, accelerometri, goniometri, ecc).



UNIFI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

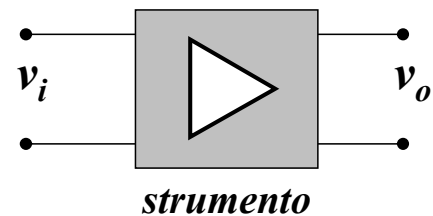
## Caratteristiche statiche: risposta dello strumento

Facciamo riferimento, per esempio, ad uno strumento generico con una tensione di ingresso  $v_i$  ed una tensione di uscita  $v_o$ .

Tale strumento è pensato per fornire una amplificazione unitaria, cioè una tensione

$$v_o = v_i$$

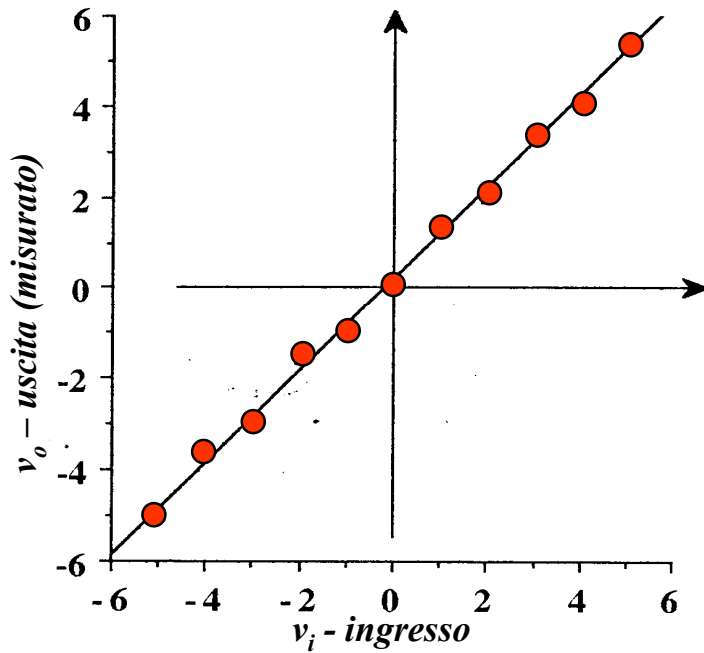
Consideriamo le seguenti letture effettuate applicando all'ingresso delle tensioni variabili da -5 a +5 volt con incrementi di 1 volt per ogni nuova misura:



$v_i$	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
$v_o$	-5.0	-3.6	-3.0	-1.6	-1.0	.2	1.4	2.0	3.4	4.0	5.4

UNIFI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

# Grafica delle misure



$v_i$	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
$v_o$	-5.0	-3.6	-3.0	-1.6	-1.0	.2	1.4	2.0	3.4	4.0	5.4

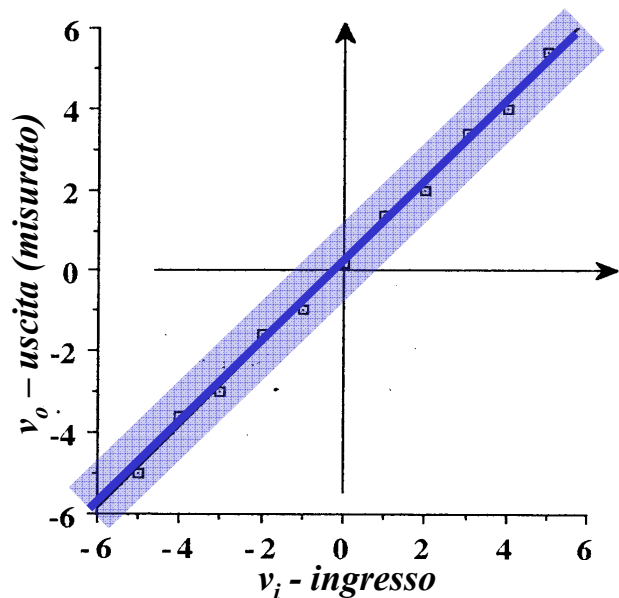
UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

# Retta di regressione

Le serie di coppie possono essere rappresentate con un grafico  $x$ - $y$ , dove sull'asse  $x$  e  $y$  sono riportati rispettivamente i valori di ingresso e quelli misurati.

Utilizzando una tecnica di interpolazione dei dati, nota come **regressione lineare**, è possibile tracciare la retta che meglio descrive i dati, cioè la retta che spiega al meglio i valori  $v_o$  rispetto ai valori  $v_i$  rendendo più piccoli possibile gli scarti fra previsione ed valore osservato.

Notiamo che, calcolando la retta di regressione, otteniamo anche lo scarto quadratico medio (SQM) che mi dice quanto i punti sono mediamente distanti dalla retta.

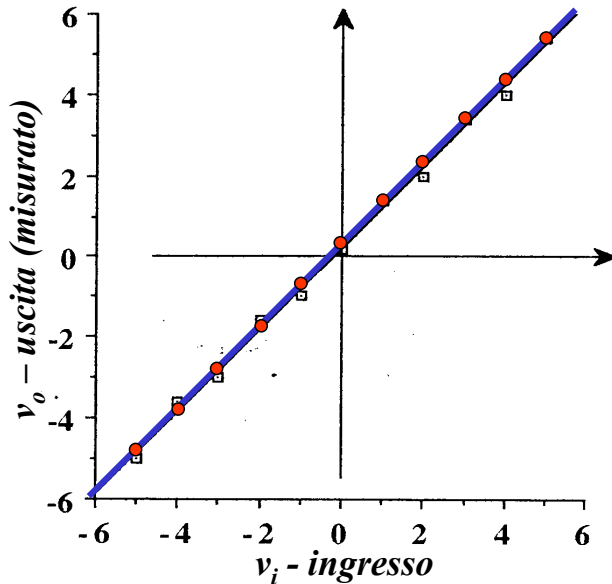


UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

# Misure stimate e retta interpolante

Sulla retta e' possibile calcolare dei nuovi punti  $u_o$  (*misure stimate*) ottenuti in corrispondenza dei valori sulla  $x$ .

$v_i$	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
$v_o$	-5.0	-3.6	-3.0	-1.6	-1.0	.2	1.4	2.0	3.4	4.0	5.4
$u_o$	-4.85	-3.84	-2.83	-1.82	-.81	.2	1.21	2.22	3.23	4.24	5.25



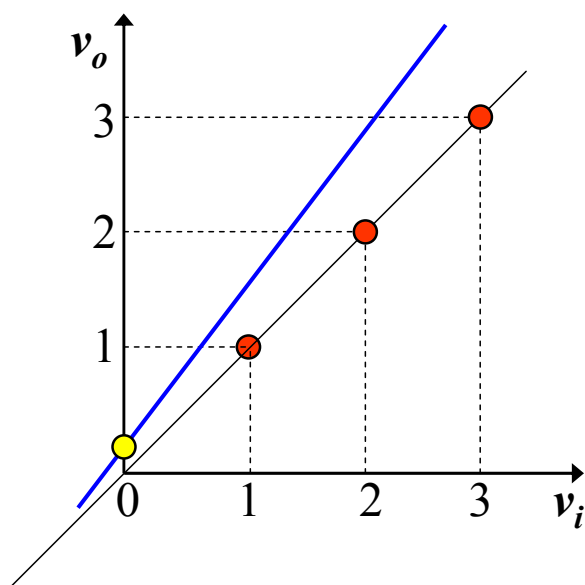
$$v_o = g v_i + k$$

$$v_o = 1.01 v_i + 0.2$$

La retta di regressione indica quindi il comportamento di quello specifico strumento nei confronti delle misure, e consente di sapere quale è il probabile valore ottenuto dallo strumento in corrispondenza di qualsiasi ingresso.

UNIFI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

# Retta di regressione: caso ideale e reale



Nel caso di uno strumento ideale l'equazione della retta di regressione

$$v_o = g v_i + k$$

dovrebbe essere

$$v_o = v_i$$

dove  $g=1$ , cioè la retta è a  $45^\circ$ , e  $k=0$ , cioè la retta passa per l'origine  $0$ .

In realtà la retta di regressione del mio strumento è

$$v_o = 1.01 v_i + 0.2$$

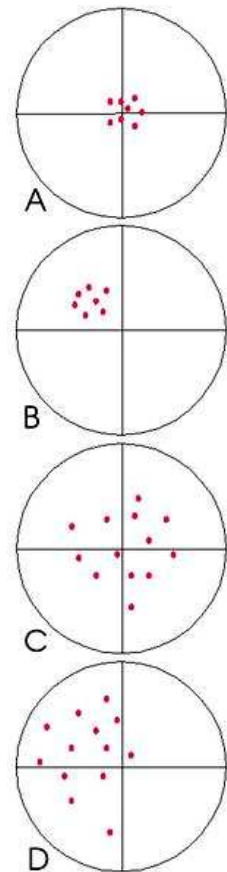
cioè ha una inclinazione  $>45^\circ$  e incontra l'asse  $v_o$  nel punto  $0.2$ .

UNIFI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

# Accuratezza e precisione

Facciamo un test chiedendo a 4 persone di lanciare un certo numero di freccette verso un bersaglio.

Supponiamo che i risultati siano quelli rappresentati nelle figure A, B, C e D.



UNIFI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

## Accuratezza

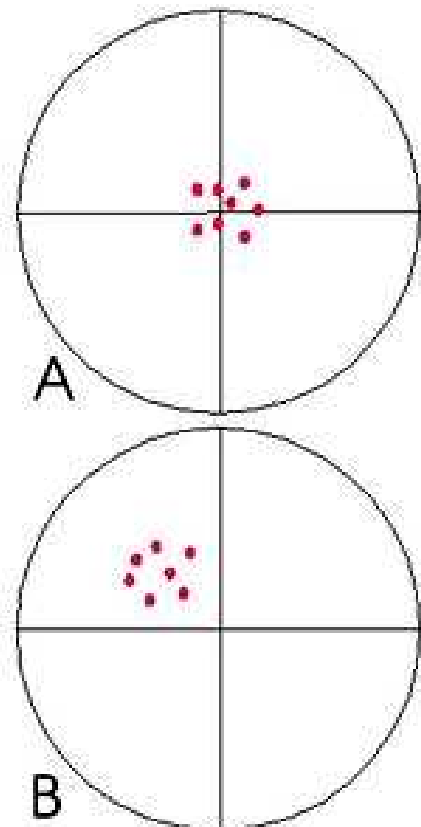
Prendiamo il caso A e B.

Nel caso A vediamo che le freccette sono attorno al centro. Nell'insieme dei nostri lanci le freccette stanno tutte attorno al centro del bersaglio, cioè attorno al **centro vero** che volevo colpire.

Nel caso B invece vediamo che nell'insieme dei nostri lanci le freccette hanno colpito il bersaglio lontano dal centro, cioè mediamente lontano dal **centro vero**.

Potremo dire che l'insieme di lanci del **caso A e' piu' accurato del caso B** intendendo che "mediamente" le freccette A stanno attorno al centro vero mentre le freccette B stanno tutte lontane dal centro.

Da notare che non ho considerato la dispersione delle freccette sul bersaglio.



UNIFI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*



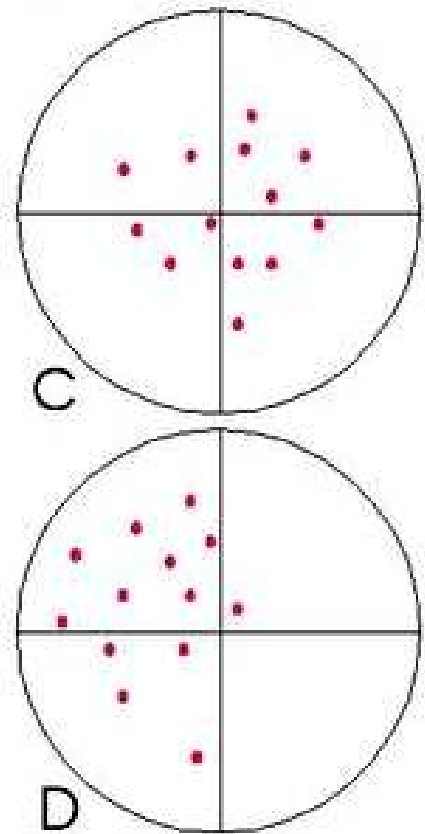
# Accuratezza

Consideriamo ora il caso C e D.

Nel caso C, come in A, le freccette cadono “mediamente” attorno al **centro vero**; questa volta però i lanci colpiscono il bersaglio con una maggiore dispersione.

Anche nel caso D, come in B, le freccette hanno colpito il bersaglio “mediamente” lontano dal **centro vero**, e anche qui con maggiore dispersione.

Facendo riferimento a dove cadono le freccette rispetto al **vero centro**, come nel caso precedente possiamo ancora dire che il **caso C è più accurato del caso D**.



UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

# Precisione

Riguardando i 4 casi si vede comunque che sono molto diversi tra di loro, anche se ho potuto dire che il giocatore A è più accurato di B, ed il giocatore C più accurato di D.

In più potrei dire che, considerando la distanza “media” dei lanci di ciascun giocatore dal centro vero, il giocatore A è accurato quanto il giocatore C, ed il giocatore B quanto D.

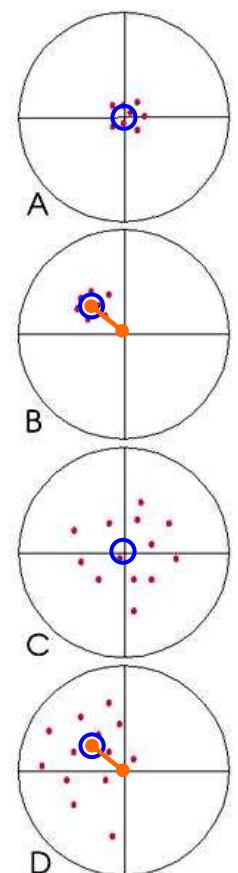
Prendiamo ora in considerazione, per ogni giocatore, la **“dispersione” dei lanci rispetto alla loro “media”**.

Con riferimento alle figure, qualitativamente si può dire che la dispersione è piccola nei casi A e B, ed è più grande nei casi C e D.

Questa **dispersione è strettamente legata al concetto di Precisione**, tanti più piccola è la dispersione tanto maggiore sarà la precisione.

Si può quindi affermare che i giocatori A e B sono più precisi dei giocatori C e D.

**Da notare che nella definizione di Precisione non viene considerato il fatto che i lanci siano più o meno vicini al centro vero.**



UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale